

UNIVERSITE DE KINSHASA
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE CHIMIE ET INDUSTRIES AGRICOLES

UNE APPROCHE PROGRAMMATIQUE
DANS LA FORMULATION DES ALIMENTS COMPLETS
POUR VOLAILLE

PAR
MALUMBA KAMBA, Paul

Mémoire présenté et défendu en vue de
l'obtention du grade d'Ingénieur Agronome
Option: Agronomie générale
Orientation : Chimie et Industries Agricoles
Directeur: Professeur MASIMANGO N.T

1999 - 2000

A Françoise Lupetu Kamba

je dédie ce travail

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé sous la direction du professeur MASIMANGO NDYANABO, qui a accepté de me guider dans cette entreprise qui ne m'était pas familière au départ. Il n'a épargné aucun effort pour me faciliter des contacts avec des praticiens du secteur avicole et avec différents laboratoires qui pouvaient m'être utiles. Devant mes nombreuses difficultés, j'ai su trouver en lui un appui ferme. Je tiens à le remercier sincèrement pour tout.

Auprès du professeur MVUNZU ZAYANA j'ai trouvé encouragement et compréhension. Je n'oublierai sans doute jamais la simplicité qui le caractérise. Le professeur ONYEMBE PENE MBUTU L. m'est resté très ouvert. A travers eux, j'exprime mes sincères remerciements à tous les membres des corps académique, scientifique et administratif de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UNIKIN.

Le laboratoire de recherche en alimentation et en nutrition (LARAN), de même celui de chimie organique et énergétique (LACOREN) de la Faculté des Sciences me sont restés très ouverts; je voudrais assurer de ma reconnaissance les responsables de ces entités.

C'est au laboratoire du Centre Médical Monkole que j'ai effectué mes analyses au photomètre à flamme. Puisse monsieur MALO trouver ma reconnaissance pour sa disponibilité.

Je garde un souvenir amical de MOHAMED SALEH, responsable du laboratoire de chimie et de microbiologie de l'Institut supérieur Agro-Vétérinaire (ISAV) de Kimwenza, qui m'est resté très ouvert.

Hugues SHONGO a apporté du sien dans l'informatisation des calculs des rations que nous avons mises au point; il a été pour moi plus qu'un collaborateur.

J'ai compté avec des apports matériels et financiers de nombreuses personnes que je ne saurai pas citer ici. Qu'elles sachent que je demeure redevable à leur égard. Sans elles, je n'aurais peut être jamais matérialisé ce travail.

L'affection que m'ont témoignée beaucoup d'autres personnes qui, par humilité, ont accepté de passer inaperçues sur cette page, m'a certainement aidé à tenir tête dans ce climat de découragement qui caractérise actuellement notre société. Je les remercie toutes et leur rends l'hommage.

Paul MALUMBA KAMBA

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA LITTERATURE.....	4
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ALIMENTS ET LEUR FORMULATION	5
<i>I.1. DEFINITION ET BUT DE L'ALIMENTATION DE VOLAILLE</i>	<i>5</i>
<i>I.2. LES BASES DE LA RATIONALISATION DE L'ALIMENTATION DE VOLAILLE.....</i>	<i>6</i>
2.1. Aspects sanitaires	6
2.2. Aspects liés au développement de la recherche scientifique.....	6
2.3. Aspect technologiques	7
2.4. Aspects économiques	7
2.5. Aspects commerciaux	7
<i>I.3. CALCULS DANS LA FORMULATION DES ALIMENTS COMPLETS</i>	<i>8</i>
<i>I.4. DEFINITION DU CONCEPT DE LA FORMULATION.....</i>	<i>8</i>
<i>I.5. TYPES D'ALIMENTS EMPLOYES EN AVICULTURE RATIONNELLE</i>	<i>9</i>
CHAPITRE II: DIFFERENTES APPROCHES DE FORMULATION	11
<i>II. 1. INTRODUCTION.....</i>	<i>11</i>
<i>II. 2. LES APPROCHES COMMUNEMENT EMPLOYEES</i>	<i>11</i>
2.1. Méthodes par tâtonnement simple	11
2.2. Méthodes de carré de Pearson	12
2.3. Méthodes algébriques simples	12
2.3.1. Principe	12
2.3.2. Critiques de l'approche algébrique précitée.....	13
<i>II. 3. PRESENTATION DE L'APPROCHE PROGRAMMATIQUE</i>	<i>14</i>
3.1. La méthode de formulation à moindre coût	14
3.2. Principe de formulation par programmation linéaire	14
3.2.1. Définition	14
3.2.2. Hypothèses préalables	15
3.2.3. Définition du programme	15
3.2.4. Résumé du programme à résoudre	17
3.3. Principe algorithmique de résolution.....	17
3.4. L'algorithme de Simplexe	17
3.4.1. Le Simplexe et la formulation des aliments.....	18
3.4.2. Recherche de l'optimum par le Simplexe.....	19
3.4.3. Avantages et limites de l'utilisation de Simplexe.....	19
3.5. Utilisation de l'outil informatique en programmation linéaire	20
DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE CAS.....	21
CHAPITRE III: ALIMENTATION DES POULETTES EN CROISSANCE	22
<i>III. 1. PRESENTATION DE LA POULETTE D'ETUDE</i>	<i>22</i>
1.1. Caractéristiques	22
1.2. Motivation du choix de la race d'étude et de l'âge	22
<i>III. 2. RECOMMANDATIONS ET APPORTS NUTRITIONNELS RETENUS.....</i>	<i>23</i>
2.1. Apports énergétiques	23
2.2. Apports en éléments plastiques majeurs	24
2.3. Apports en éléments fonctionnels mineurs	24
<i>III. 3. QUALITES REQUISES POUR LA RATION</i>	<i>25</i>
<i>III. 4. LES MATIERES PREMIERES.....</i>	<i>25</i>
4.1. Critères économiques du choix des matières premières.....	25
4.2. Matières premières sélectionnées	26
CHAPITRE IV: FORMULATION DE PROVITA 2	27
<i>IV. 1. PROBLEME.....</i>	<i>27</i>
<i>IV. 2. HYPOTHESES.....</i>	<i>27</i>
2.1. Hypothèses de base.....	27
2.2. Hypothèse du travail	27
<i>IV. 3. MISE EN EQUATION DU PROBLEME</i>	<i>28</i>
<i>IV. 4. RESOLUTION DU PROGRAMME</i>	<i>29</i>
<i>IV. 5. RESULTATS</i>	<i>30</i>
<i>IV. 6. DISCUSSION ET ANALYSE DE SENSIBILITE</i>	<i>32</i>

TROISIEME PARTIE : ANALYSE COMPAREE DE L'ALIMENT FORMULE PAR L'APPROCHE

PROGRAMMATIQUE.....	34
<i>OBJECTIFS.....</i>	35
CHAPITRE V: MATERIELS ET METHODES D'ANALYSE	35
<i>V.1. PREPARATION DU MATERIEL D'ETUDE.....</i>	35
1.1. Processus ou fabrication.....	35
1.2. Conditionnement et stockage des échantillons	36
<i>V.2. ANALYSES EFFECTUEES</i>	36
2.1. Bref aperçu	36
2.2. Analyses bromatologiques classiques.....	37
2.2.1. Détermination du pH.....	37
2.2.2. Détermination de la teneur en eau et en matières sèches (EAU et MS).....	37
2.2.3. Détermination de la teneur en protéines brutes (PB).....	38
2.2.4. Détermination de la teneur en fibres brutes de Kurschner (FB)	39
2.2.5. Détermination de la teneur en matières grasses (MG).....	40
2.2.6. Détermination de la teneur en cendres brutes (CB).....	41
2.2.7. Détermination de l'extractif non azoté (ENA)	41
2.2.8. Détermination de la valeur énergétique des aliments	41
2.3. Analyses de cendres.....	42
2.3.1. Préparation des solutions minéralisées.....	42
2.3.2. Dosage du calcium par complexométrie à l'EDTA.....	43
2.3.3. Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme	43
2.3.4. Dosage spectro-photométrique du phosphore	46
2.3.5. Dosage spectro-photométrique du fer à l'ortho-phénantroline	48
2.4. Analyses microbiologiques.....	50
2.4.1. Introduction et but des analyses	50
2.4.2. Méthodes de dénombrement de la flore aérobie mésophile totale.....	51
2.4.3. Recherche et typage de la flore fongique sur milieu de Czapeck Dox agar	52
CHAPITRE VI: RESULTATS ET DISCUSSIONS	53
<i>VI. 1. RESULTATS DES ANALYSES BROMATOLOGIQUES ET DISCUSSIONS.....</i>	53
1.1. Détermination du pH.....	53
1.2. Détermination de la teneur en eau et en matières sèches (EAU et MS).....	53
1.3. Détermination de la teneur en protéines brutes (PB).....	54
1.4. Détermination de la teneur en matières grasses (MG)	55
1.5. Détermination de la teneur en fibres brutes (FB).....	55
1.6. Détermination de la teneur en cendres brutes (CB)	56
1.7. Détermination de l'extractif non azoté (ENA)	56
1.8. Détermination de la valeur énergétique des aliments.....	56
1.9. Dosage du calcium.....	57
1.10. Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme.....	57
1.11. Dosage spectro-photométrique du phosphore.....	58
1.12. Dosage photométrique du fer à l'ortho-phénantroline	58
<i>VI. 2. RESULTATS RELATIFS AUX ANALYSES MICROBIOLOGIQUES.....</i>	59
2.1 Dénombrement des micro-organismes aérobies mésophiles.....	59
2.2. Typage de la flore fongique se développant sur milieu de Czapeck Dox Agar.....	59
<i>VI. 3. SYNTHESE DES RESULTATS ET ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES.....</i>	60
CONCLUSION.....	63
BIBLIOGRAPHIE	65
LISTE ET TITRES DES PRINCIPAUX TABLEAUX.....	67
LISTE DES GRAPHIQUES	67

INTRODUCTION

Le développement n'est pas le fruit d'une recherche spontanée mais d'une recherche volontariste. Il exige par conséquent la mise en œuvre de tous les moyens : techniques, économiques,... Plus cette quête sera poussée, plus vite les résultats seront atteints.

Si on conçoit le développement comme la quête d'une amélioration de la vie humaine, le souci d'assurer une sécurité alimentaire à l'homme doit en constituer un des préalables. La réflexion sur les voies et moyens d'y arriver fait germer bien d'initiatives qui concourent à l'éradication de la malnutrition protéino-énergétique, véritable fléau dans notre pays.

Il est évident que l'éradication de ce fléau passe par la mise à la disposition des personnes des aliments riches en protéines et en autres éléments nutritifs souvent déficitaires dans l'alimentation courante. Les aliments d'origine animale (viande, poissons, oeufs) s'avèrent les plus riches en protéines; cependant, la production animale dans notre pays est encore loin de satisfaire ces exigences pour tous.

Les statistiques nationales indiquent qu'en 1994 la République Démocratique du Congo a importé 19.316.530 Kg de viandes abattus et qu'au même moment, il disposait d'un cheptel volaille de 26.681.809 unités, soit pour une population totale de 42.455.800 habitants (S.N.S.A, 1996) une moyenne d'environ 0,62 poulet produit localement par habitant !

Bien que de nombreux pays en voie de développement ont su trouver dans l'aviculture une source rentable d'aliments riches en protéines, dans notre pays, spécialement en milieu urbain, cette activité demeure encore assujettie à certaines contraintes dont la plus importante semble être l'alimentation de volaille.

En effet, environ 70 % des coûts de production en aviculture sont occasionnés par l'alimentation du cheptel (Larbier et Leclercq, 1992; Kiatoko, N., 1998). Ceci est, en partie, dû au fait que les aliments employés en aviculture urbaine, quoique de qualité pas toujours garantie, sont achetés à des prix assez élevés alors que des rations alimentaires équilibrées peuvent être facilement formulées à coût raisonnable.

Plusieurs approches existent actuellement pour la formulation des aliments pour volaille; les plus connues sont la méthode par tâtonnement et les méthodes algébriques simples. Ces méthodes ne prennent pas souvent en compte le paramètre coût dans leurs élaborations, alors que le but de l'alimentation dans la production animale est de fournir des aliments dont les caractéristiques permettent une production assurant le bénéfice le plus élevé.

L'analyse de la problématique de la formulation des aliments montre que l'hyperspécialisation de l'alimentation exige que soient couverts à la fois le plus grand nombre de besoins de l'animal lors de la formulation de l'aliment, lequel doit être le plus complet et le plus équilibré possible, et obtenu au coût le plus bas.

L'approche développée dans ce travail vise à associer, sous forme de programme de formulation des aliments, des matières premières de façon à obtenir un mélange satisfaisant les besoins nutritionnels d'une espèce et certaines contraintes d'incorporation, dont la résolution permet de minimiser le prix de ce mélange.

L'efficacité pratique de l'approche programmatique ainsi développée sera testée en l'appliquant à la formulation d'un aliment de croissance pour une souche pondeuse. Quelques analyses de cet aliment seront effectuées, en comparaison avec les objectifs prédéfinis et avec un aliment trouvé dans le commerce (MIDEMA).

Pour mieux cerner les contours de notre travail nous l'avons structuré en trois parties :

- la première, essentiellement bibliographique, comprendra des généralités sur les aliments pour volaille et la problématique de leur formulation. Un résumé des bases de la rationalisation de l'alimentation de volaille est donné (chapitre 1), tandis que l'approche programmatique, centre de notre intérêt, fait l'objet d'un exposé plus détaillé (chapitre 2).

- la deuxième partie, qui est une étude de cas, consistera à tester l'approche programmatique développée en l'appliquant à la formulation d'un aliment de croissance (PROVITA 2) pour une souche pondeuse à oeuf blanc LOHMANN LSL (chapitre 3 et 4).

- la troisième partie sera consacrée aux analyses comparées de l'aliment mis au point et d'un aliment de commerce équivalent (chapitre 5) suivi de la présentation des résultats et de leurs discussions (chapitre 6).

Les enseignements tirés de cette étude permettent de formuler quelques conclusions

PREMIERE PARTIE :

REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES ALIMENTS ET LEUR FORMULATION

I.1. DEFINITION ET BUT DE L'ALIMENTATION DE VOLAILLE

De manière classique, on définit l'aliment comme une substance qui est consommée par un individu, et est capable de contribuer à assurer le cycle régulier de sa vie et la persistance de l'espèce à la quelle il appartient (Kiatoko, M. 1998).

Outre ce rôle de réalisation du cycle de vie et de conservation de l'espèce, les oiseaux consomment des aliments nécessaires au fonctionnement de leur organisme et des matériaux indispensables à leurs productions, viande et oeufs (I.E.M.V.T, 1991) .

Le but de l'alimentation avicole est donc de fournir aux animaux des aliments dont les caractéristiques permettent, dans les conditions d'élevage données, une production de viande ou d'oeufs assurant le bénéfice le plus élevé. (Larbier et Leclercq, 1992)

Pour arriver à cet objectif il importe de bien connaître les besoins du consommateur afin d'éviter des freintes et de lui apporter ce dont il a réellement besoin, en quantité nécessaire sous une forme adéquate et en temps voulu.

La connaissance de ces besoins spécifiques en certaines molécules et l'étude du métabolisme des consommateurs, qui fait l'objet de la science de nutrition, ne peuvent pas seules satisfaire totalement les exigences d'une industrie moderne de production d'aliments. Elles doivent être accompagnées d'une parfaite quantification des apports qui permettront de satisfaire ces besoins et des moyens pratiques de préparation de ces aliments en vue de leur réelle consommation , sans induire pour autant un surplus non efficient des coûts; c'est l'objet de l'alimentation et des techniques modernes de formulation.

C'est la connaissance de ces deux aspects, nutritionnel et alimentaire, qui conduit à une rationalisation de la formulation des aliments pour volaille.

I.2. LES BASES DE LA RATIONALISATION DE L'ALIMENTATION DE VOLAILLE

De nos jours la rationalisation de l'alimentation en élevage est devenue une démarche largement partagée (Barret, 1992). Celle-ci est justifiée par plusieurs aspects fondamentaux de l'élevage et de la formulation des aliments.

2.1. Aspects sanitaires

Aujourd'hui l'intensification de l'élevage impose une forte rationalisation de sa conduite, car les grandes densités d'animaux par unité de surface et de volume, créent de nouvelles pathologies. Par l'aliment, un certain nombre de ces troubles peut être enrayé, surtout en ce qui concerne le parasitisme.

Tobback, L (1951) signalait : « au Congo, le pâturage seul n'est pas capable de maintenir en bonne santé les animaux de races améliorées, exigeantes et à croissance rapide. L'alimentation trop pauvre résulte du manque de certaines substances nécessaires, telles que les sels minéraux, les vitamines, les acides aminés. Or il ne faut pas oublier que les carences et les épizooties sont des compagnes inséparables.»

2.2. Aspects liés au développement de la recherche scientifique

La recherche scientifique a permis de déterminer le plus précisément possible les besoins alimentaires des souches spécialisées (chair ou ponte). L'ajustement des formules alimentaires, déterminées scientifiquement, aux besoins des ces souches est parfaitement illustré avec les élevages en batteries, dans lesquels les animaux ne peuvent consommer que ce qui leur est distribué par les mangeoires et les abreuvoirs. Triebel (1983) signale par exemple que ce maintien des poules en cage empêche la coprophagie. L'ingestion de la vitamine K et des vitamines du complexe B contenues dans la fiente est donc empêchée, ce qui doit être compensé par des suppléments plus élevés .

En aviculture, plus que dans toute autre production animale, les progrès de la nutrition sont intimement liés à ceux qui apparaissent en génétique et en pathologie. La nutrition correctement établie permet aux génotypes d'extérioriser pleinement leur potentiel, favorisant ainsi la sélection.

Les progrès génétiques, en retour, relancent les recherches en nutrition puisque les animaux les plus performants sont aussi les plus exigeants (Larbier et Leclercq, 1992). La recherche de l'homogénéité et de la précision conduit très souvent à ne formuler les aliments que pour une souche déterminée. Pour notre étude de cas, par exemple, nous formulons un aliment de croissance pour la Leghorn blanche, de la souche LOHMANN LSL.

2.3. Aspect technologiques

Avant d'être consommés et transformés par les animaux, les aliments doivent pouvoir être fabriqués dans de bonnes conditions et leurs présentations doivent être satisfaisantes. Lorsque l'aliment est par exemple aggloméré, l'objectif est d'obtenir un granulé dont la durabilité soit bonne. Ainsi selon le cas, le formulateur peut être conduit à imposer certaines matières premières "liantes" comme la graisse ou l'huile de palme pour favoriser la tenue du granulé. (Bisimwa, 1998)

2.4. Aspects économiques

Il n'est plus nécessaire de rappeler que le poste de charge le plus élevé fait toujours l'objet d'une attention particulière. Jean Pierre Barret (1992) dit dans son ouvrage " Lorsque les entreprises de production animale sont fortement soumises aux contraintes de la gestion et de la compétitivité économique, le rapport coût de l'alimentation nécessaire à la production d'une unité de produit commercialisable (indice de consommation) est étroitement surveillé."

En effet, les firmes productrices d'aliments, dans une situation de parfaite concurrence, ne survivraient pas dans la compétition si les formules mises sur les marchés n'avaient pas un rapport prix/qualité concurrentiel. Cette contrainte les oblige à saisir les opportunités qui se présentent en ce qui concerne l'évolution du prix des matières premières les unes par rapport aux autres. D'où pensons-nous, l'importance de disposer de programmes souples pour des calculs et des modifications éventuelles des paramètres.

2.5. Aspects commerciaux

Les éleveurs qui sont les principaux acheteurs et utilisateurs des aliments pour volaille ont très souvent des critères empiriques, quelquefois subjectifs, sur les aliments qu'il importe de prendre en compte lors de la formulation. Kotler et Dubois (1994) affirmaient que : " D'une façon générale un client cherche parmi les produits et services offerts, celui qui lui procure le maximum

de valeur. Dans les limites de ses efforts, de son information, de sa mobilité et de son revenu, il cherche à maximiser cette valeur. Lorsque le produit acheté délivre effectivement la valeur qu'il en attendait, naît la satisfaction."

Ces différentes bases rationnelles de l'alimentation de volaille, ajoutées aux bases nutritionnelles connues, sont à l'origine des diverses contraintes fixées à la formulation. L'approche programmatique vise à satisfaire à chacune d'elles dans la mesure du possible.

I.3. CALCULS DANS LA FORMULATION DES ALIMENTS COMPLETS

La formulation d'aliments équilibrés commence par des calculs de ration, permettant d'approcher le plus précisément possible la totalité des besoins déterminés, par combinaison des caractéristiques de matières premières, définies par de nombreuses analyses chimiques.

Les calculs des rations peuvent se faire grossièrement, avec du papier et un crayon, en ne prenant en compte que 3 ou 4 éléments des besoins nutritionnels et les caractéristiques des matières premières, en supposant que si ces besoins sont optimisés les autres le sont aussi.

Depuis 1955 on a commencé à recourir à des "matrices" (fiche et tableau) et à des programmes analogiques, prenant en compte jusqu'à 9 éléments (dont le prix de matières premières). Pour exploiter au maximum les données scientifiques, la littérature indique qu'on utilise aujourd'hui des calculateurs électroniques (ordinateurs) qui permettent de prendre en compte plus d'une vingtaine d'éléments (I.E.M.V.T, 1983)

I.4. DEFINITION DU CONCEPT DE LA FORMULATION

La formulation des aliments consiste à déterminer, au moyen de calculs préalables, les différentes proportions des matières premières à intégrer dans les processus de fabrication afin de satisfaire de façon optimale aux exigences nutritionnelles du consommateur. Elle est donc un acte lourd de conséquences. En effet, l'aliment formulé devra assurer la couverture des besoins nutritionnels des animaux en vue d'assurer un niveau de production déterminé tout en présentant le coût le plus faible possible. On y parvient aujourd'hui en recourant aux techniques d'optimisation qui sont l'aboutissement d'un long travail de préparation (Bisimwa, 1998).

En pratique, la formulation réelle d'un aliment exige en plus de mettre en oeuvre un certain nombre de procédés de préparation permettant de présenter cet aliment, reconnu théoriquement performant, sous une forme telle qu'il présente dans le milieu biologique pour lequel il a été formulé, une efficacité maximale tout en restant dans les limites économiques acceptables et en limitant les effets néfastes pour l'animal, pour l'environnement et pour l'homme (Kalonji, 2000).

I.5. TYPES D'ALIMENTS EMPLOYÉS EN AVICULTURE RATIONNELLE

Les auteurs ne sont pas unanimes sur la définition de l'aviculture rationnelle. L'on peut entendre par là un élevage des poules se faisant avec une alimentation totalement rationnée. Les aliments employés dans ce cas peuvent être :

- Des aliments de base : ordinairement consommés et assurant une fraction substantielle des besoins caloriques totaux de l'animal. Ce type d'alimentation est très souvent employé si on applique à la ration journalière une supplémentation sous forme de concentré minéral et vitaminique. Il peut également être accompagné d'une alimentation supplémentaire à volonté lorsque l'élevage n'est pas parfaitement rationnel.
- Des aliments complets : ce sont très souvent des aliments dont la formule permet qu'ils soient administrés seuls, dans le but d'entretenir les animaux ou leurs productions sans exiger un autre aliment que l'eau (Kiatoko M., 1999). En fonction des objectifs de la production, de l'âge de l'animal et d'autres caractéristiques spécifiques, les aliments complets pour volaille de la spéculation ponte sont souvent catégorisés en:
 - ⇒ *aliments de premier âge* : destinés à nourrir les poussins de la naissance à 8 semaines. La plupart d'auteurs appellent ce type d'aliment A1. Distribués *ad libitum*, ils renferment traditionnellement 2800 à 2900 kcal d'énergie métabolisable par kg et 18 % de protéines brutes. Les teneurs en lysine et en acides aminés soufrés y sont de l'ordre de 0,70% à 0,85 (Larbier et Leclercq, 1992).
 - ⇒ *aliments de deuxième âge* : de 8 à 20 semaines; ils sont communément nommés A2 (aliments de deuxième âge). Ces aliments destinés à apporter aux poulettes de ponte l'ensemble des éléments nécessaires à la synthèse de leurs tissus, ainsi qu'à l'entretien de la part déjà édifiée de leur organisme.
 - ⇒ *aliment de reproduction ou de ponte* : cette catégorie d'aliment a des formulations nettement différenciées en fonction des objectifs poursuivis et de l'âge variable des poules. Ceux destinés aux pondeuses en ponte sont communément nommés A 3 ou A 4.

CHAPITRE II: DIFFERENTES APPROCHES DE FORMULATION

II. 1. INTRODUCTION

Nous présentons dans cette partie les différentes techniques réellement employées dans notre pays et celles indiquées soit dans la littérature, soit enseignées au sein des institutions de formation locales. Ces techniques sont les résultats de plusieurs entretiens avec les professionnels du secteur avicole. Nous les présentons suivant leur niveau de rationalisation croissant, en commençant par celles que nous considérons comme les plus élémentaires jusqu'à l'approche algébrique plus ou moins élaborée.

Nous tenons à signaler que, hormis les industriels, la plupart de formulateurs d'aliments emploient des formules préétablies, proposées soit par la littérature soit encore par une personne ressource. Ceci est une simple option de fabrication qui ne fera pas objet de nos discussions.

II. 2. LES APPROCHES COMMUNEMENT EMPLOYEES

2.1. Méthodes par tâtonnement simple

D'une manière générale, dans ces méthodes, on formule d'abord l'aliment en prenant en compte un élément nutritif et on vérifie ensuite si les quantités des autres éléments sont satisfaisantes . On peut, par exemple, commencer par équilibrer les protéines et voir ensuite si le niveau énergétique est satisfaisant. Au cas échéant, on fait de nouveaux apports, pour ajuster les éléments déficitaires et atténuer les apports excessifs.

Normalement les calculs sont simples quand il s'agit de quelques éléments seulement à considérer. Mais ils deviennent beaucoup plus compliqués quand il s'agit de plusieurs éléments à prendre en compte et l'on préconise dans ce cas l'emploi des méthodes algébriques

solution dans ce cas est une combinaison des différentes matières premières qui permet d'avoir exactement dans le mélange des proportions X_i les valeurs des contraintes fixées.

Pour s'y faire, on définit, pour chaque contrainte, une sommation des concentrations relatives en élément recherché sous les formes canoniques ci après :

$$\sum Y_{ij} X_i \geq Y_{mj} \quad \text{ou} \quad \sum Y_{ij} X_i \leq Y_{mj}$$

avec Y_{ij} la concentration absolue de la contrainte j dans X_i partie de matière M_i ;

Pour toutes les contraintes réunies, on aura un système d'inéquations qui doit être, avant toute résolution, simulé à un système d'équation linéaire.

2.3.2. Critiques de l'approche algébrique précitée

Quand bien même la résolution du problème de formulation par la résolution d'un système d'équation ou d'inéquation linéaire permet d'avoir une solution unique appréciable, il n'est pas non plus rare de trouver un résultat négatif, qui est tout à fait acceptable dans l'ensemble de réels. Quoique algébriquement le résultat négatif peut se concevoir, il n'a cependant aucune signification dans la pratique, d'autant plus que l'emploi d'une quantité négative d'une matière première ne saurait être compréhensible dans la formulation d'un aliment. Cette anomalie algébrique peut être levée en imposant au système des contraintes de non négativité, qui veulent que chaque matière première intervienne dans le mélange avec une quantité au moins nulle ($X_1 > 0$; $X_2 > 0$; $X_3 > 0$) (WIENER, 1978), ceci au risque de perdre le caractère carré du système.

Cette méthode présente en plus l'inconvénient de ne tenir compte des coûts dus aux matières premières que postérieurement aux calculs. Ceci ne permet pas d'affirmer avec certitude que c'est la formule proposée qui est celle qui minimise au plus les coûts.

Même si cette approche fournit une méthode de recherche d'une solution et une seule pour la formulation d'un aliment, l'on ne saurait nullement affirmer qu'il n'existe pas d'autres combinaisons faisables optimisant davantage la formulation.

La formulation de l'aliment ne vise pas des quantités statiques et limites des contraintes; elle cherche simplement à placer les nutriments dans une zone favorable. Il est ainsi aberrant de produire un aliment contenant exactement le seuil maximal toléré d'un élément, si on pouvait minimiser ce dernier étant donné son apport nutritionnel faible ou son action dépressive à des valeurs élevées ou encore son coût marginal élevé.

Les difficultés et les limites d'emploi des systèmes d'équation linéaires simples peuvent être levées en utilisant la technique de programmation linéaire, et précisément en employant une méthode algorithmique comme celle de Simplexe.

II. 3. PRESENTATION DE L'APPROCHE PROGRAMMATIQUE

3.1. La méthode de formulation à moindre coût

Puisqu'une infinité de solutions techniques sont envisageables pour associer différentes matières premières et que c'est la solution réalisable la moins coûteuse respectant plusieurs contraintes qui est recherchée, la minimisation des coûts doit tourner autour de la vérification des conditions nécessaires et suffisantes pour l'existence d'un optimum (Mukoko, 1997).

Plusieurs méthodes d'optimisation existent certes, mais la plus répandue est la programmation linéaire. C'est ainsi que nous avons opté pour celle-ci afin de calculer de manière systémique les taux d'incorporation des matières premières dans le mélange de façon à satisfaire les objectifs nutritionnels tout en minimisant le coût. Cette technique nous permet de lever la plupart des difficultés d'usage des équations algébriques simples.

3.2. Principe de formulation par programmation linéaire

3.2.1. Définition

Une programmation linéaire est une technique mathématique permettant de déterminer la meilleure solution d'un problème dont les données et les inconnues satisfont à une série d'équations et/ou inéquations linéaires (Maurin, 1967)

3.2.2. Hypothèses préalables

1° L'approche que nous présentons est basée sur l'utilisation, comme variables, des diverses quantités de matières premières ayant des teneurs précises en différents éléments des contraintes.

2° Comme objectifs, nous considérons les valeurs que doit avoir une unité d'aliment complet en différents éléments considérés comme contraignants (contraintes).

3° La fonction à rendre optimale est celle des coûts dus aux matières premières, qui devra être minimisé.

4° Toutes ces variables et contraintes peuvent en effet être combinées linéairement.

3.2.3. Définition du programme

➤ Contraintes nutritionnelles

En vue de rendre la résolution du problème commode par la technique de programmation linéaire, les contraintes doivent être définies comme les résultats des sommations des concentrations relatives en chaque principe nutritif contraignant dans chacune des matières comme pour sa résolution par l'algèbre linéaire simple. Il est en plus possible de fixer le seuil à atteindre dans un intervalle, sans avoir besoin d'écrire deux équations différentes. On définit donc:

$$\sum Y_{ij} X_i \geq Y_{mj} \quad \text{pour les contraintes devant respecter la limite supérieure } Y_{mj};$$

$$\sum Y_{ij} X_i = [Y_{mjMin}; Y_{mjMax}] \quad \text{pour des contraintes devant se placer entre deux valeurs.}$$

Les différentes valeurs Y_{ij} sont appelées coefficients techniques, et représentent les quantités de nutriments dans les divers ingrédients M_i pris à la proportion X_i ; Y_{mj} est le besoin visé exprimé très souvent en concentration du principe dans l'aliment. Ce besoin peut être soit un maximum soit un minimum à respecter. Pour des raisons de commodité nous emploierons le g/kg.

➤ Contraintes d'incorporation

Il arrive très souvent dans la formulation des aliments que l'on détermine certains seuils d'incorporation que ne doivent pas dépasser certaines matières pour des raisons de divers ordres. Ces limitations peuvent être dues à des effets de synergie macromoléculaires connus ou par son apport néfaste en certains éléments ou tout simplement par nécessité d'échelonner une substitution de matière première dans le temps. On définit dans ce cas des contraintes d'incorporation de la forme :

$$\sum X_i = [L_{iMin}; L_{iMax}] \quad L_i \text{ étant la limite d'incorporation de la matière première } M_i.$$

Lorsqu'aucune limite inférieure d'incorporation n'est connue pour un ingrédient déterminé, on prend en compte la contrainte de non négativité, citée lors de la critique de la méthode algébrique simple, en imposant comme limite inférieure acceptable la valeur nulle.

➤ Contraintes de masse

On peut aussi désirer que le mélange à formuler ne dépasse pas une masse totale donnée, on définit dans ce cas la contrainte ci-après :

$$\sum_i X_i \leq Q \quad \text{avec } Q \text{ la masse totale souhaitée}$$

➤ Fonction objectif

Si nous désignons par P_1, P_2, \dots, P_n les prix des matières premières par unité de poids, la fonction de coût du mélange qui est l'objectif à optimiser, peut se résumer par :

$$\text{Minimiser}(Cm = \sum_i P_i X_i) \quad \text{avec } Cm \text{ coût du mélange des proportions des}$$

matières premières recommandées par le programme.

3.2.4. Résumé du programme à résoudre

L'ensemble des contraintes et l'objectif ainsi définis constituent un programme linéaire à optimiser que nous pouvons résumer pour notre cas par:

$$\text{Minimiser}(Cm = \sum_i P_i X_i)$$

sous contraintes

Nutritifs

$$\sum Y_{ij} X_i = [Y_{mjMin}; Y_{mjMax}]$$

D'incorporation et d'enchaînement

$$\sum X_i = [L_{iMin}; L_{iMax}]$$

De masse

$$\sum_i X_i \leq Q$$

3.3. Principe algorithmique de résolution

Un algorithme est une méthode, un procédé, qui permet d'atteindre un résultat recherché, à partir d'une situation initiale donnée. L'idée de base est que cette situation initiale peut être quelconque et considérée comme toute première approximation du résultat.

L'algorithme introduit donc un mouvement : partir des renseignements que l'on peut posséder sur un problème et progresser vers sa solution, l'idéal étant de pouvoir s'en approcher d'aussi près que l'on veut (Hacques, 1971), en un temps raisonnable.

3.4. L'algorithme de Simplexe

Compte tenu qu'une infinité de solutions techniques est envisageable pour associer les matières premières et que c'est la solution de l'optimum économique qui est recherchée, et vu le

nombre élevé des facteurs à prendre en compte, un algorithme particulièrement important peut être exploité : c'est l'algorithme de Simplexe, développé par Dantzig (Wiener, 1978).

Cet algorithme repose sur la notion mathématique de convexité, qui dépasse le cadre de notre étude. Ainsi, nous n'en donnerons pas une théorie élaborée, mais nous nous limiterons à présenter la manière de l'appliquer pour une recherche systémique de l'optimum dans la formulation conceptuelle des aliments. L'algorithme de Simplexe est la base de la plupart de programmes informatiques d'optimisation par programmation linéaire. (Maurin, 1967)

3.4.1. Le Simplexe et la formulation des aliments

Pour appliquer la méthode de Simplexe à la formulation, il est nécessaire que les contraintes soient écrites sous forme d'égalités. On est donc amené à introduire aux contraintes de formulation exprimées sous forme d'inégalité, des variables d'écart positives ou nulles (Wiener, 1978). D'où la nouvelle écriture du programme devient :

$$\text{Minimiser}(Cm = \sum_i P_i X_i)$$

sous contraintes

Nutritives

$$\sum Y_{ij} X_i \pm E_j = [Y_{mjMin}; Y_{mjMax}]$$

D'incorporation et d'enchaînement

$$\sum X_i \pm E_i = [L_{iMin}; L_{iMax}]$$

De masse

$$\sum_i X_i + E_i = Q$$

Les variables d'écart ainsi introduites ont une importance capitale dans l'analyse de la formule. Ils permettent en effet d'apprécier le niveau de satisfaction de chaque objectif fixé et d'indiquer au formulateur les paramètres sur lesquels il peut agir pour rendre plus efficace sa formulation. Maurin (1963) signale que les coûts marginaux et les variables marginales sont

associés aux variables d'écart, puisque ce sont ces variables qui déterminent les excédents ou les insuffisances face aux seuils

3.4.2. Recherche de l'optimum par le Simplexe

L'algorithme de Simplexe procède par itération en partant d'une solution initiale acceptable, qui peut consister à ne rien faire. En pratique l'application manuelle de la méthode de Simplexe conduit très souvent à l'introduction des contraintes dits "artificiels" et à la résolution des programmes auxiliaires pour la simple obtention de la solution initiale acceptable (Maurin, 1963). En introduisant les variables artificiels le programme à résoudre devient :

$$\text{Annuler}(Cm = \sum_i P_i X_i)$$

sous contraintes

Nutritives

$$\sum Y_{ij} X_i \pm E_j + A_j = [Y_{mjMin}; Y_{mjMax}]$$

D'incorporation et d'enchaînement

$$\sum X_i \pm E_i + A_i = [L_{iMin}; L_{iMax}]$$

De masse

$$\sum_i X_i + E_i = Q$$

S'il s'avère par contre impossible d'annuler la fonction auxiliaire Z, on conclut que le problème initial de formulation n'admet aucune solution. Une fois annulée la fonction objectif auxiliaire, on améliore ensuite la fonction objectif principale sous contraintes, en la minimisant jusqu'à un résultat impossible à améliorer. C'est l'optimum recherché.

3.4.3. Avantages et limites de l'utilisation de Simplexe

La méthode de Simplexe offre les avantages notables ci-après:

- elle permet d'arriver à l'optimum après un nombre limité d'itérations;

- elle offre également l'avantage de systématiser les calculs à l'aide des tableaux de Simplexe; - en introduisant une certaine logique de calcul, elle se prête à une automatisation;

D'où son large emploi dans l'industrie et en gestion (Wiener, 1978).

Néanmoins, la mise en oeuvre manuelle de la méthode de Simplexe telle que nous l'avons décrite est fastidieuse et conduit à des erreurs dues à des approximations à plusieurs niveaux de calcul. Ainsi, pensons nous, son utilisation dans la pratique de la formulation des aliments doit reposer sur un support informatique de calcul.

L'outil informatique constitue actuellement une "boîte à outil" pour les formulateurs des aliments, devenue indispensable, qu'il importe de maîtriser.

C'est cet outil que nous avons utilisé pour formuler l'aliment de notre étude de cas.

3.5. Utilisation de l'outil informatique en programmation linéaire

Depuis plusieurs années les algorithmes de Simplexe sont programmés sur ordinateur, en utilisant des langages de programmation structurée (Kapepa, 1997) ou d'autres encore. Grâce à ces programmes, la résolution d'un problème de programmation linéaire est pratiquement réduite à la mise en équation du programme, au lancement des calculs et à l'obtention d'un signal de fin de traitement, qui est soit l'optimum recherché soit le signal de l'impossibilité de l'existence de l'optimum aux conditions fixées.

Grâce à ce concours des ordinateurs il est maintenant possible de résoudre des problèmes comportant des centaines de contraintes et de variables en un temps raisonnable. Des progrès de plus en plus notables sont en train d'être réalisés pour rendre ces programmes accessibles au grand public. Il n'est plus rare de retrouver des logiciels spécialisés pouvant résoudre un problème d'optimisation en des temps impressionnants. (Microsoft, 1998)

En plus de la recherche automatique de l'optimum et de la rapidité du traitement, cet outil fournit également des plages d'invariance de prix en fonction de la variation des taux d'incorporation des différentes matières premières, facilitant ainsi la réaction rapide du formulateur au cas où un paramètre de marché venait à changer notablement.

DEUXIEME PARTIE :

ETUDE DE CAS

CHAPITRE III: ALIMENTATION DES POULETTES EN CROISSANCE

III. 1. PRESENTATION DE LA POULETTE D'ETUDE

1.1. Caractéristiques

Avant toute formulation d'un aliment ou la détermination des besoins pour un consommateur déterminé, il s'avère important de connaître quelques unes de ses caractéristiques.

La poulette de notre étude est une femelle gallinacée de l'espèce *Gallus gallus*, de la race Leghorn blanche appartenant à la souche pondeuse LOHMANN LSL (Larousse agricole, 1981) âgée de 8 à 20 semaines.

Tableau 1 Quelques caractéristiques de la poulette d'étude en fonction de l'âge (semaines)

Age en semaines	Poids vifs en (g)			Kcal / animal / jour (EM)	Consommation d'aliments g / j	Densité énergétique de l'aliment en Kcal/ kg
	moyen	min.	max.			
8	560	532	588	123	49	2 510
10	710	675	746	143	53	2 700
12	855	812	898	162	60	2 700
14	990	941	1 040	181	67	2 700
16	1 110	1 055	1 166	200	74	2 700
18	1 230	1 169	1 292	223	81	2 750
20	1 350	1 283	1 418	242	90	2 690

SOURCE : Catalogue LOHMANN LSL, 1991

1.2. Motivation du choix de la race d'étude et de l'âge

La Leghorn blanche reste la meilleure pondeuse à oeufs blancs, la plus utilisée en Afrique tropicale (Mémento, 1993). Bien que reconnue exigeante pour l'alimentation et les soins, elle supporte néanmoins très bien le climat tropical, que ce soit la grande chaleur ou l'humidité, en couvant très rarement. De silhouette très fine, la poule Leghorn blanche ne dépasse pas 2 kg et le coq 2,5 à 2,8 kg. Sans tendance à l'engraissement, sa consommation n'est pas supérieure à 110 g

par jour, même si l'aliment est distribué à volonté (I.E.M.V.T, 1991). C'est cette dernière caractéristique qui a le plus motivé notre choix, car elle nous a semblé une excellente référence pour la formulation des aliments complets et équilibrés.

Le choix de la phase de croissance pour notre étude a été motivé par le fait que pendant cette phase on ne recherche ni un développement pondéral maximal, ni un taux de ponte déterminé, mais un entretien et un développement le moins coûteux possible, d'où la nécessité de minimiser les dépenses liées à son alimentation, tout en lui assurant un poids vif convenable à l'entrée en ponte sans modifier la maturité sexuelle ni réduire les performances ultérieures de ponte (INRA, 1992).

III. 2. RECOMMANDATIONS ET APPORTS NUTRITIONNELS RETENUS

Chez la poulette en croissance, les besoins alimentaires sont difficiles à établir dans la mesure où les conditions nutritionnelles subies au cours de la période de croissance n'ont que peu d'influence sur les performances ultérieures de ponte (Larbier et Leclercq, 1992).

Vu l'absence des apports recommandés en protéines brutes et en minéraux dans le catalogue LOHMANN à notre disposition, nous avons opté pour les apports alimentaires employés par la ferme Sangyro, qui a une bonne expérience locale dans l'élevage de la dite souche. Ceux-ci équivalent pour la plupart aux apports nutritionnels recommandés par l' INRA (1989) pour un aliment de croissance d'une densité énergétique équivalente; et à ceux repris dans le Mémento de l'agronome (1993) pour les poulettes.

2.1. Apports énergétiques

Après analyse du tableau I nous avons opté pour des densités énergétiques de l'ordre de 2700 à 2800 Kcal d'énergie métabolisable par kilogramme d'aliment à formuler, utile pour une bonne performance de la souche LOHMANN LSL. Ceci est conforme aux recommandations de l'INRA (1989). Cet ajustement énergétique nous permet, en fait, de prendre en compte l'influence de la température ambiante, généralement élevée en milieu tropical pendant une longue période de l'année, sur la consommation alimentaire en améliorant l'indice de consommation par un abaissement de la quantité ingérée (Sita, 1999).

2.2. Apports en éléments plastiques majeurs

Tableau 2 Apports alimentaires recommandés par kg d'aliment pour la LOHMANN LSL (8-20 semaines)

	APPORTS		OBSERVATION
	%	g/kg d'aliment complet	
Protéine brute (PB)	14,5	145	seuil minimal
matière grasse (MG)	6	60	seuil maximal
cellulose brute (FB)	5	50	seuil maximal
calcium (Ca)	0,8	8	seuil minimal
phosphore total (PTot)	0,7	7	seuil minimal
sodium (Na)	0,2	1,7	seuil minimal
chlore (Cl)	0,3	3	seuil maximal
lysine (Lys)	0,6	6	seuil minimal
méthionine + cystine (Mét+Cys)	0,6	6	seuil minimal
methionine (Mét)	0,32	3,2	seuil minimal

2.3. Apports en éléments fonctionnels mineurs

Tableau 3 Apports alimentaires et additions recommandées des minéraux et des vitamines chez lespondeuses en croissance

Apports optimum et limites des micro-éléments sous forme disponible. en g/kg et %			addition recommandée des vitamines pour les pondeuses en croissance	
	optimum g/kg	minimum		par Kg
K+	3	1,7	vitamine A UI	10 000
Mg+	0,42	0,4	vitamine D3 UI	2 000
Fer**	45	4	vitamine E **	10
Cuivre **	50	40	vitamine K3 **	1
Zinc **	60	45	vitamine B1 **	1,5
Manganèse **	0,35	0,1	vitamine B2 **	5
Iode **	0,35	0,1	ac. pentatonique **	15
			vitamine B6 **	3
** En ppm			vitamine B12 **	0,01

	acide folique **	0,5
--	------------------	-----

SOURCE : Compilation des recommandations de Larbier et al (1994) et du Mémento (1993)

III. 3. QUALITES REQUISES POUR LA RATION

La ration, définie comme une portion journalière d'aliment déterminé, distribuée à un animal ou à un groupe d'animaux (Kiatoko M, 1999), qu'elle soit unique ou composée doit couvrir les besoins journaliers de l'animal. Selon Soltner (1994), la ration doit au moins comprendre les huit qualités ci-après :

- 1- La ration doit fournir de l'énergie à l'organisme.
- 2- Elle doit lui apporter des matières azotées;
- 3- Elle doit contenir des matières minérales ;
- 4- Elle doit lui procurer des vitamines;
- 5- Elle doit se présenter sous un volume suffisant avec un " encombrement " correct;
- 6- Elle doit permettre l'abreuvement nécessaire avec une eau de qualité;
- 7- Elle ne doit pas contenir des substances toxiques ou celles qui pourraient le devenir du fait de leur teneur élevée;
- 8- Enfin, ayant un but productif, elle doit être économique

III. 4. LES MATIERES PREMIERES

4.1. Critères économiques du choix des matières premières

L'alimentation rationnelle des oiseaux domestiques fait appel à deux types principaux de matières premières : les céréales et des sous-produits industriels. En fait, parmi ces derniers, certains ont pris une telle place qu'ils sont devenus des matières premières dominantes et souvent indispensables; c'est le cas de tourteau de soja et de son de blé.

Bien que très souvent importés, le recours à ces produits, dans certaines conditions, s'avère économiquement plus rentable que l'usage des matières premières complètement locales. Dans la recherche de la sécurité alimentaire, il n'est plus question de chercher l'autosuffisance à n'importe quel prix.; il est plutôt question de créer les conditions qui garantissent l'accès à une alimentation

suffisante, équilibrée et régulière à toutes les couches de la population et d'exploiter les avantages comparatifs du pays (Goosens et al, 1994).

La sélection des quantités des matières premières à incorporer dans une formulation, compte tenu du coût qu'elles imputent à la formule, est l'un des atouts majeurs de l'approche de formulation à moindre coût.

4.2. Matières premières sélectionnées

Conduit par un certain nombre de critères, notamment la composition du produit, la disponibilité du produit dans les marchés de la place, le rapport prix/apport principal recherché dans le produit, les capacités de conservation du produit, le risque sanitaire associé à l'emploi du dit produit, nous avons retenu les denrées présentées dans le tableau 4 dont les compositions hypothétiques ont été empruntées à Larbier (1994) et à l'INRA (1989)

Tableau 4 Composition moyenne des différentes matières premières (en g/kg et en Kcal/kg pour EM)

	maïs	tourteau de soja	son de blé	concentré premix	huile de palme	Calcaire CaCO ₃	sel gemme	phosphate monocalc.	Poudre de lait	manioc	seuil
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	= 1
EB/Kg	4490	4775	4580	4500	9400	-	-	-	4340	4010	
EM/Kg	3 350	2 500	1 740	1 740	8 000	-	-	-	3 950	3 300	2700 à 2800
PB	95	480	190	111,3	-	-	-	-	367-	30,6-	145 à 150
FB	22,5	56	110	53,3	-	-	-	-	-	34,5	45 à 50
Ca	0,1	3	1,6	1,6	-	380	8	170	13,7	2,3	=8,0
Ptot	3,1	6,9	10	10	-	-	-	230	10,5	1,7	>7,0
Na	0,1	0,1	1	1	-	0,2	354	1	5,2	0,3	2 à 20
K	3,8	25	1,3	4	-	-	50	-	17,5	13	2 à 20
MG	47	20	46	46	1 000	-	-	-	8,5	8	30 à 60
Cl	0,6	0,3	0,7	0,7	-	-	545	-	7,9	0,9	<3,0
Mét.	2	6,6	2,5	23	-	-	-	-	8,9	0,4	>3,2
Mét+Cys	5	15	6,2	25	-	-	-	-	13	0,7	>6,0
Lys	3,7	30	6,5	16	-	-	-	-	29	1	>6,0
Seuil		33		35							
PRIX	18	35	3,42	17	25	20	10	40	27	18	min.

Les prix proposés dans ce tableau sont les différents prix de vente de ces produits prélevés dans divers marchés de Kinshasa et traduits en francs belges. Nous y avons ajouté un mélange des vitamines, oligo-éléments et acides aminés essentiels que nous avons dénommé concentré prémix.

CHAPITRE IV: FORMULATION DE PROVITA 2

IV. 1. PROBLEME

Soit à formuler un aliment de deuxième âge pour la souche LOHMANN LSL respectant les recommandations en apports nutritionnels sélectionnés dans les tableaux 2 et 3 par combinaison des matières premières sélectionnées dans le tableau 4, qui puisse minimiser les coûts liés aux matières premières et assurer, à terme, les diverses qualités requises pour une ration.

IV. 2. HYPOTHESES

2.1. Hypothèses de base

- La souche pour laquelle nous formulons l'aliment présente une homogénéité parfaite quant à ses besoins nutritionnels et à son rendement de production. L'apport nutritionnel étant sous la dépendance de la quantité et de la qualité de l'ingéré (Barret, 1992), la formulation théorique doit approcher, le plus, les besoins théoriques connus.

- Les caractéristiques des matières premières entrant dans la formulation sont sensées être celles que le tableau 4 nous propose ou celles indiquées sur leurs emballages d'origine;

2.2. Hypothèse du travail

1 - La composition du mélange fourni par le calcul suivant l'approche théorique proposée doit être, jusqu'à certaines limites, proche de celle de tout aliment réel formulé suivant cette approche.

2 - Toute chose restant égale, la formulation proposée par l'approche programmatique d'optimisation doit être celle qui minimise le plus le coût lié à l'achat des matières premières incorporant l'aliment.

IV. 3. MISE EN EQUATION DU PROBLEME

Si nous considérons successivement les prix des différentes matières premières (tableau 4) et les objectifs nutritionnels sélectionnés pour la poulette d'étude ainsi que les contraintes spécifiques à la mise en oeuvre de l'approche, le programme initial s'écrit :

Tableau 5 Programme complet à résoudre

Minimiser	18X1	+35X2	+3,42X3	+17X4	+25X5	+20X6	+10X7	+40X8	+27X9	+18X10	
Sous contraintes nutritionnelles											
EB/Kg	4490X1	+4775X2	+4580X3	+4500X4	+9400X5				+4340X9	+4010X10	
EM/Kg	3350 X1	+2500X2	+1740X3	+1740X4	+8000X5				+3950X9	+3300X10	= [2700;2800]
PB	95 X1	+480X2	+190 X3	+111X4					+367 X9	30,6 X10	= [145;150]
FB	22,5 X1	+56X2	+110 X3	+53,3X4	-					34,5 X10	= [45;50]
Ca	0,1X1	+3X2	+1,6 X3	+1,6X4	-	+380X6	+8X7	+170X8	+13,7X9	2,3 X10	= 8
Ptot	3,1X1	+6,9X2	+10 X3	+10X4	-	-	-	+230X8	+10,5X9	1,7 X10	>7
Na	0,1X1	+0,1X2	+1X3	+1X4	-	+0,2X6	+354X7	+1X8	+5,2X9	0,3 X10	= [2;20]
K	3,8X1	+25X2	+1,3X3	+4X4	-	-	+50X7	-	+17,5X9	13 X10	= [2;20]
MG	47X1	+20X2	+46X3	+46X4	+1000X5	-	-	-	+8,5X9	8 X10	= [30;60]
Cl	0,6X1	+0,3X2	+0,7X3	+0,7X4	-	-	+545X7	-	+7,9 X9	+0,9 X10	<3
Mét.	2X1	+6,6X2	+2,5X3	+23X4	-	-	-	-	+8,9X9	+0,4X10	>4
Mét+Cs	5X1	+15X2	+6,2X3	+25X4	-	-	-	-	+13X9	+0,7X10	>6
Lys	3,7X1	+30X2	+6,5X3	+16X4	-	-	-	-	+29X9	+1X10	>6
Sous contraintes d'incorporation et d'enchaînement											
Premix				X4							= 0,035
Huile					X5						= [0,01;0,02]
Tourt.		X2									>0,0033
Sous contrainte de non négativité											
	X1;	X2;	X3;	X4;	X5;	X6;	X7;	X8;	X9;	X10	>0
Sous contrainte de masse											
Melan.	X1	+X2	+X3	+X4	+X5	+X6	+X7	+X8	+X9	+X10	= 1

IV. 4. RESOLUTION DU PROGRAMME

La résolution manuelle de ce problème à l'aide des tableaux de Simplexe est fastidieuse et donne lieu à beaucoup d'erreurs dues aux arrondissements, raison pour laquelle nous avons recouru au tableur Excel 5.0 pour trouver la solution de notre programme d'optimisation. Après avoir écrit le programme complet ci-haut mentionné, la résolution se réduit à :

- donner des valeurs aux paramètres variables, comme les prix des matières;
- vérifier que toutes les instructions (contraintes et objectif) sont bien en place;
- lancer la recherche de l'optimum jusqu'à ce qu'il soit proposé si il existe.

Le cas échéant on analyse les contraintes en vue, soit de leur modification, soit de la définition de nouvelles restrictions. Un programme écrit comme suit, pour une catégorie d'aliment, peut servir indéfiniment, à condition d'enregistrer à chaque fois qu'on l'utilise les paramètres qui ont varié. La résolution peut néanmoins ne pas exister si la formulation est non faisable aux conditions définies.

IV. 5. RESULTATS

Tableau 6 Résultats de résolution du programme et évaluation des coûts (PROVITA 2)

	maïs	Tourt. soja	son de blé	premix	huile palme	Carbonate	Sel	phosp. monoc	Poudre de lait	manioc	seuil	objectif
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10		1
Mélange (%)	51,83	0,33	34,31	3,50	1,00	0,77	0,31	0,97	6,99	0,00		100
Proportion en gramme par kilogramme d'aliment												
proportion	518,30	3,30	343,10	35,00	10,00	7,69	3,10	9,70	69,90	0,00	1000	1000
EB/Kg (Kcal)	2325,80	15,70	1571,40	157,50	9,40	0,00	0,00	0,00	303,30	0,00	4383	
EM/Kg (Kcal)	1 736,4	8,22	596,17	32,72	80,00	0,00	0,00	0,00	276,10	0,00	2 750	2700 à - 2800
PB	49,23	1,58	65,18	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	25,64	0,00	145	145-150
CELLULOSE	11,66	0,184	34,47	1,865	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50	45 à 50
CALCIUM	0,05	0,00	0,55	1,87	0,00	2,91	0,00	1,65	0,961	0,00	8,0	=8
PHOSPHORE	1,61	0,02	0,3431	2,07	0,00	0,00	0,00	2,23	0,73	0,00	7,0	>7
SODIUM	0,05	0,01	1,16	0,04	0,00	0,01	1,10	0,01	0,36	0,00	2,74	2 à 20
POTASSIUM	1,97	0,09	0,45	0,14	0,00	0,00	0,151	0,00	1,22	0,00	4,02	> 3
LIPIDE	24,36	0,065	15,78	1,610	10,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	52,4	<60
CHLORE	0,31	0,01	0,24	0,14	0,00	0,00	1,80	0,00	0,54	0,00	3,0	<3
METHION.	1,04	0,02	0,86	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,00	3,35	> 3,2
MET + CYS	2,59	0,05	2,13	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,00	6,54	> 6
LYSINE	1,92	0,10	2,23	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	2,023	0,00	6,83	> 6
COÛT (FB)	9,33	0,115	1,173	0,59	0,25	0,15	0,031	0,388	1,88	0,00	13,91	min.
						FB/Kg	US \$/Kg		PARITE			
Prix de revient (+ 10 % de Coûts Fixes)						15,31		0,332		46 FB = 1 \$		
Prix de vente (+ 20 % de marges)						18,37		~0,4				

Avec un ordinateur doté d'un processeur de 486 MHz, le résultat ci-dessus a été trouvé, après ajustement de toutes les contraintes, en moins de 10 secondes après le lancement.

IV. 6. DISCUSSION ET ANALYSE DE SENSIBILITE

La combinaison proposée répond parfaitement à tous les objectifs fixés dans le programme. Elle permet de satisfaire théoriquement tous les besoins nutritionnels de notre race d'étude. Le coût occasionné par la matière première est assez satisfaisant.

Si on compare le prix de vente proposé avec les prix de vente de l'aliment Midema dans le circuit de gros répertoriés par Mulumba (1999), soit 0,50 \$ US/kg, on comprend la nécessité d'encourager les petites et moyennes entreprises qui s'intéressent à cette spéculation.

Remarquons que le manioc n'a pas été sélectionné dans la formule proposée et que le programme a tendance à utiliser le plus les matières premières les moins coûteuses mais apportant le plus d'éléments recherchés. Ceci démontre la volonté de minimiser le coût sous contrainte. De même l'incorporation du tourteau de soja au prix proposé est certainement la conséquence de la contrainte d'enchaînement sur cette matière première. Rien ne laisse croire que sans cette contrainte le programme l'accepterait.

L'analyse de sensibilité montre aussi que les calories métabolisables, les protéines brutes, le calcium, le phosphore et la masse unitaire sont des facteurs limitant la baisse du coût de la formulation. Une de ces contraintes à des valeurs plus élevées entraînerait des augmentations supplémentaires de coût. Par contre, la limitation d'incorporation des matières ou contraintes présentant des coûts marginaux négatifs empêche une diminution supplémentaire du coût.

Toutes ces observations traduisent la volonté du programme de respecter les contraintes nutritionnelle et d'incorporation imposées. Cette discussion est résumée dans le tableau ci-après.

Tableau 7 Analyse de sensibilité de la formulation proposée

	EM/Kg	Protéines	Cellulose	Calcium	Phosphore	Sodium	Potassium	Lipide	Chlore	Acides aminés
<i>Coût mar.</i>	positif	positif	négatif	négatif	positif	nul	nul	nul	nul	positif
<i>Saturation</i>	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	non
	Maïs	Tourteau	sonde blé	premix	carbonate	sel	phosphate	lait	manioc	Mélange
<i>Coût mar.</i>	nul	positif	négatif	positif	positif	nul	positif	positif	positif	positif
<i>Saturation</i>	non	oui	non	oui	non	non	non	non	oui	oui

TROISIEME PARTIE :

**ANALYSE COMPAREE DE L'ALIMENT FORMULE PAR L'APPROCHE
PROGRAMMATIQUE**

OBJECTIFS

Les questions principales auxquelles nous essayons de répondre dans cette partie sont celles de savoir s'il y a un accord suffisant entre les teneurs observées dans la formule réelle et celles que prévoyait la formulation conceptuelle.

Peut-on déduire de la comparaison des résultats des paramètres sur lesquels le formulateur peut tabler en vue d'améliorer sa formulation ? Nous tâcherons aussi de vérifier pour un paramètre non explicitement défini dans le programme si sa teneur respecte les normes généralement admises. Quelques analyses microbiologiques servant de base pour des études ultérieures de l'innocuité du produit ont été aussi effectuées.

CHAPITRE V: MATERIELS ET METHODES D'ANALYSE

V.1. PREPARATION DU MATERIEL D'ETUDE

1.1. Processus ou fabrication

La fabrication d'un aliment composé consiste en une série d'opérations dont le but est d'associer plusieurs matières premières simples pour obtenir un produit homogène correspondant à un objectif nutritionnel précis.

Les proportions des matières premières à mélanger étant connues par la formulation conceptuelle, nous avons, après l'acquisition des ingrédients à des prix mentionnés dans le programme, procédé à la préparation de ces matières, qui consistait essentiellement en un broyage de grains de maïs à l'aide d'un moulin à marteau jusqu'à l'obtention d'une granulométrie voulue; ensuite, à peser, grâce à une balance Mettler AE 100, les différentes quantités prescrites et à mélanger les ingrédients jusqu'à une parfaite homogénéisation.

1.2. Conditionnement et stockage des échantillons

Le produit fabriqué et réparti en lots de 1 kilogramme et de 100 grammes, est conservé dans des sachet en plastique imperméables, sertis à chaud. Le stockage se faisait à l'abri de lumière dans une ambiance sèche. Etaient également stockés, dans les mêmes conditions, les aliments de commerce achetés, dans leur emballage.

Pour comparer le produit que nous avons formulé avec les produits de commerce, nous avons analysé Provita 2, en même temps qu'un aliment commercial équivalent, produit par la MIDEMA. Ces aliments ont été retirés de leurs emballages d'origine étiquetés, chez un distributeur détenant les factures convenablement établies.

V.2. ANALYSES EFFECTUEES

2.1. Bref aperçu

Après un examen sommaire de l'aspect de l'étiquette placée sur l'emballage d'origine de l'aliment, nous procédions ensuite à la détermination du pH, de l'humidité par dessiccation dans l'étuve à 104 °C jusqu'à poids constant, à la détermination de la teneur en cendres totales par calcination au four à moufle, de la teneur en fibres brutes de Kurschner, de la matière grasse extractible au soxhelet, de la teneur en protéines par Kjeldahl. Ces analyses classiques ont été complétées par celles de quelques éléments minéraux par des méthodes spectrales.

Une numération sur gélose standard des micro-organismes aérobies mésophiles et un typage de la flore fongique se développant sur milieu de Czapek Dox agar nous ont permis de placer les bases d'une prochaine étude concernant l'innocuité du produit.

Les matériels de laboratoires et les méthodes utilisés sont mentionnés dans la description de chaque analyse.

2.2. Analyses bromatologiques classiques

2.2.1. Détermination du pH

Vu la nature farineuse des provendes, le pH a été mesuré grâce à un pH-mètre potentiométrique METTLER P601 CONSORT, dans une solution aqueuse à 10 % (10 g/100 ml).

2.2.2. Détermination de la teneur en eau et en matières sèches (EAU et MS)

➤ Principe

Les produits étant destinés à être conservés longtemps, il importait de connaître leur teneur en eau. Cette dernière est un indicateur de la capacité de conservation du produit.

La teneur en eau des nos échantillons a été déterminée par dessiccation d'une prise d'essai dans l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant. Le mode opératoire suivi était le suivant:

➤ Mode opératoire

Une prise d'essai (P) est séchée dans un creuset en platine, préalablement séché et taré (P1), dans l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Après refroidissement dans un dessiccateur, le creuset contenant la prise séchée (P2) est pesé.

Le calcul classique du taux d'humidité se fait en éliminant le poids du creuset et de la perte en masse de la prise suivant la formule classique de détermination du taux d'humidité.

$$\% EAU = \frac{(P_1 + P) - P_2}{P} \times 100$$

La teneur en matières sèches est déduite de la teneur en eau par la formule:

$$\% MS = 100 - \% EAU$$

2.2.3. Détermination de la teneur en protéines brutes (PB)

La teneur en protéines des échantillons a été déterminée par la méthode de KJELDAHL .

➤ Principe

Toute matière organique contenue dans la prise d'essai d'un échantillon peut être détruite par oxydation sous l'effet combiné de l'acide sulfurique et d'un catalyseur. Dans ces conditions, l'azote qui se trouve dans l'échantillon est transformé en sel d'ammonium (Mpuza, 1999).

Le sulfate d'ammoniaque formé est déplacé par une solution de soude caustique 33 %, pour ensuite être entraîné par la vapeur d'eau. Un volume connu de la solution ammoniacale est ensuite recueilli avant d'être titré en présence de l'indicateur mixte par un acide fort de titre connu.

Ce titrage permet en effet de connaître la quantité de l'azote qui a réagi et se trouvant initialement dans la prise d'essai. De cette détermination, et connaissant le facteur de proportionnalité azote/protéine correspondant, pour le produit analysé, on déduit la teneur en protéines de l'échantillon.

➤ Mode opératoire

Les matières azotées brutes totales ont été déterminées en suivant les trois étapes ci-dessous (Bemba et Remacle, 1992):

1. Minéralisation : 20 ml d'acide sulfurique concentré sont mélangés avec la prise d'essai dans un ballon Kjeldahl. Le ballon est chauffé fortement avec son contenu sous une hotte jusqu'à l'obtention d'une liqueur verdâtre limpide. La destruction est réalisée en présence du réactif au sélénium.

2. Déplacement et Distillation : après refroidissement, 300 ml d'eau, une pincée de pierre ponce et quelques gouttes de phenolphthaléine sont ajoutés dans le ballon. Le sulfate d'ammonium est déplacé par une solution d'hydroxyde de sodium 40 % jusqu'au virage de l'indicateur de l'incolore au rouge. Le ballon Kjeldahl est alors rapidement relié au distillateur. Le distillat est recueilli dans une fiole de 300 ml contenant exactement 25 ml d'une solution d'acide borique 5 % et quelques gouttes d'indicateur mixte. On arrête la distillation lorsque environ 200 ml du distillat sont recueillis.

3. Titration : elle est faite avec du HCl 0,1 N jusqu'au virage de l'indicateur du vert au violet gris. Un essai à blanc a été effectué pour rendre les calculs plus fiables.

➤ Calcul et expression des résultats

Le titrage en retour effectué ci-dessus permet de connaître la teneur en azote de l'échantillon après calcul suivant la formule ci-après:

$$\% \text{ Azote} = \frac{(V_a - V_b) \times 0,014008}{P}$$

avec V_a : volume d'acide 0,1 N en ml
 V_b : volume de HCl 0,1 à blanc
 p : prise d'essai en gramme

Pour obtenir la teneur en protéines brutes de l'échantillon on multiplie la teneur en azote par le facteur de conversion 6,25.

$$\% PB = \% \text{ azote} \times 6,25$$

2.2.4. *Détermination de la teneur en fibres brutes de Kurschner (FB)*

La méthodes de Kurschner utilisée, a l'avantage d'être rapide et d'exiger moins de manipulations que certaines autres méthodes.

➤ Principe

La détermination de la teneur en fibres brutes repose sur l'attaque sous réfrigérant à reflux de la prise d'essai, par un mélange d'acide acétique glacial (88 % v/v), d'acide trichloroacétique concentré (3 %) et d'acide nitrique concentré (9 % v/v).

Le résidu de filtration obtenu sera lavé à l'eau chaude, à l'alcool chaud puis avec un peu d'éther de pétrole. Ce résidu est séché à l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant et ensuite pesé. La différence de poids donne la teneur en cellulose Kurschner, que l'on ramène en pourcentage.

➤ Mode opératoire

Une prise (P) de l'échantillon, d'environ 0,5 g, est placée dans un ballon surmonté d'un réfrigérant à rodage normalisé, placé sur une plaque chauffante. Après digestion de 30 minutes par

la solution d'attaque et refroidissement, la solution de digestion est filtrée sur un papier filtre préalablement taré (P2) placé dans un Büchner. Le résidu et le papier filtre sont lavés abondamment à l'eau bouillante, à l'éther de pétrole et à l'éthanol, et ensuite séchés à l'étuve jusqu'au poids constant (P3) pour en déduire la teneur en fibres (Pf).

➤ Calcul

$$\% FB = \frac{P_f}{P} \times 100 \quad \text{avec} \quad P_f = (P + P_2) - P_3$$

2.2.5. Détermination de la teneur en matières grasses (MG)

➤ Principe

Plusieurs méthodes sont proposées pour l'extraction de la matière grasse. La méthode de Soxhlet et celle de l'extraction à froid sont les plus utilisées (Bemba et Remacle, 1992). Dans le cadre de ce travail, l'extraction direct a été faite directement au Soxhlet avec de l'éther de pétrole (fraction de 40 à 60 °C).

➤ Mode opératoire

Un ballon parfaitement lavé, séché à l'étuve est taré (P1). Avant l'extraction proprement dite, une prise (P) d'environ 3 g de l'échantillon pulvérisé au Moulinex est placée dans une cartouche en papier Wattman délipidé. La cartouche est bouchée par de l'ouate. Ensuite, environ 150 ml d'éther de pétrole sont introduits par l'extracteur dans le ballon. Ce dernier est surmonté d'un réfrigérant et le tout est placé sur une calotte chauffante. Après 10 heures d'extraction, le solvant contenu dans le ballon est évaporé. Le ballon contenant la matière grasse extraite est ensuite placé à l'étuve et pesé jusqu'à poids constant (P2).

➤ Calcul et expression des résultats

La différence de poids entre le ballon contenant la matière grasse et le ballon vide permet de calculer la teneur en matières grasses suivant la formule:

$$\% MG = \frac{P_2 - P_1}{P} \times 100$$

2.2.6. Détermination de la teneur en cendres brutes (CB)

➤ Principe

On appelle conventionnellement "matière minérale" ou "cendres" d'un produit destiné à l'alimentation humaine ou animale, le résidu de ce produit après incinération au four à moufle à la température de 550 °C. (Vervack, 1982)

➤ Mode opératoire

Pour chacun des aliments, une prise d'essai (P) d'environ 2 g a été incinérée dans un four à moufle programmable à 580 °C pendant 10 heures, dans un creuset en porcelaine taré, jusqu'à l'obtention des cendres blanches ou grises. La capsule et la prise calcinée refroidies dans un dessiccateur sont ensuite pesées.

➤ Calcul et expression des résultats

La différence des poids du creuset contenant les cendres (P2) et du creuset vide (P1) permet de déduire le poids des cendres. Le pourcentage en cendres est donné par:

$$\% CB = \frac{P_2 - P_1}{p} \times 100$$

2.2.7. Détermination de l'extractif non azoté (ENA)

L'ENA contient, en grande partie, les hydrates de carbone simples ou complexes, qui sont porteurs d'une fraction non négligeable de l'énergie métabolisable de l'aliment. Sa teneur a été déterminée par différence, suivant la formule:

$$EB = \% MS - (\% PB + \% MG + \% FB + \% CB)$$

2.2.8. Détermination de la valeur énergétique des aliments

Faute de pouvoir mesurer directement la valeur énergétique d'un aliment, ou de pouvoir la calculer à partir de la formule de composition en matières premières, on peut en avoir une estimation grâce à diverses équations proposées dans la littérature (Larbier et Leclercq, 1992) à partir d'autres paramètres chimiques.

Plusieurs équations ont été proposées pour sa détermination. Nous avons quant à nous, utilisé celle proposée par Schieman et al (1971) cité par Larbier et Leclercq (1992) et présentée ici:

$$EB = 57,2\% PB + 95,0\% MG + 47,9\% FB + 41,7\% ENA + dI$$

où EB est l'énergie brute (Kcal/kg), PB; MG; FB; ENA sont exprimés en pourcentage

Des modèles ont été également proposés pour déterminer la valeur des énergies métabolisables corrigées, en tenant compte du bilan azoté. Pour un but comparatif, nous avons utilisé le même facteur de conversion de l'énergie brute en énergie métabolisable employé par Kashama (1997) dans l'évaluation de l'énergie métabolisable de la ration Cren-K I, soit 0,64 en partant de l'énergie brute de Schiemann.

Cette démarche est conforme à celle que propose Barret (1992) qui spécifie qu'on peut déduire la valeur de l'énergie métabolisable, connaissant le rendement de transformation de l'énergie métabolisable par la formule :

$$EM = q \times EB \quad \text{avec } q \text{ rendement de transformation.}$$

2.3. Analyses de cendres

Après une mise en solution des cendres obtenues à la calcination des aliments, les teneurs en différents éléments minéraux ont été déterminées.

2.3.1. Préparation des solutions minéralisées

Les cendres obtenues à la calcination sont reprises, avec le moins d'eau distillée possible, environ 30 ml, et transférées dans un ballon Kjeldahl de 100 ml. On ajoute alors 3 ml d'acide nitrique concentré pur. On laisse digérer pendant 30 minutes sur une calotte chauffante. Il faut veiller à ce que le volume soit d'environ 30 ml, pendant le chauffage, dans le ballon de Kjeldahl

La mise en solution étant terminée, on transvase en filtrant, dans un ballon jaugé de 50 ml de capacité. On lave copieusement le filtre et le ballon d'attaque avec environ 20 ml d'eau distillée,

jusqu'à porter au trait de jauge la solution. Cette solution servira à la détermination des composants minéraux de l'aliment.

2.3.2. Dosage du calcium par complexométrie à l'EDTA

➤ Principe

Le calcium a été dosé par complexométrie à l'aide d'une solution aqueuse de l'éthylène di-amino-tetra acétate de sodium (EDTA) ($(\text{NaOOCCH}_2)_2\text{N-CH}_2\text{-CH}_2\text{-N}(\text{CH}_2\text{COONa})_2$). L'EDTA est l'unique ligand qui forme avec tous les cations des complexes 1:1 indépendamment de la charge ionique et du nombre de coordination du cation (Ayres, 1974). C'est ainsi qu'on l'emploie en volumétrie. La méthode doit néanmoins être rendue sélective en ajoutant dans le milieu soit un tapon soit un produit masquant les cations autres que celui à doser.

➤ Mode opératoire

Pipetter dans un erlenmeyer de 100 ml, 5 ml de la solution minéralisée. Pour rendre le titrage sélectif au calcium, ajuster le pH à 12 au moyen de NaOH 30 % et ajouter 1 ml de KCN 0,1N. L'adjonction dans le milieu de 3 gouttes de murexide a permis de mettre en évidence le point équivalent lors du titrage avec la solution standard de l'EDTA 0,1N. A ce point la solution virait du rouge orange au violet.

➤ Calcul

Tenant compte des facteurs de dilution de l'échantillon, de la prise d'essai de la solution minéralisée et de l'équivalent gramme du calcium pour une solution décimale de l'EDTA, la concentration en calcium des échantillons est calculée selon la formule :

$$\% Ca = \frac{V_{EDTA} \times 4,008}{p}$$

2.3.3. Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme

➤ Principe

La photométrie de flamme est une méthode spectroscopique d'émission dans laquelle une flamme est utilisée comme source d'excitation et un photodétecteur électrique comme système de mesure. C'est l'une des méthodes les plus précises pour la détermination des métaux alcalins et alcalino-terreux. (Mvunzu, 2001).

La méthode est basée sur le fait que le spectre d'émission d'une substance introduite dans une flamme comporte une série de raies caractéristiques des éléments constitutifs provenant des transitions électroniques dans les atomes ou les ions excités produits. Ces raies caractéristiques, sélectionnées par un monochromateur, peuvent être détectées et amplifiées par un photomultiplicateur dont l'intensité peut être lue à l'écran. Cette intensité émise par un élément est souvent proportionnelle à sa concentration C dans la solution analysée.

En analyse quantitative, il est nécessaire d'établir une courbe d'étalonnage en portant en graphique l'intensité de l'émission en fonction de la concentration. Généralement les courbes d'étalonnage ne sont droites que dans un domaine étroit des concentrations. Dans la plupart des cas elles se courbent aux concentrations élevées (Mvunzu, 2001).

➤ Mode opératoire

A partir des solutions standards pour photométrie de flamme de chacun des éléments à doser, trois étalons ci-après sont préparés :

Tableau 8 Etalons préparés pour la photométrie de flamme et leurs intensités d'émission

	SOLUTION MERE	0		1		2		3	
		ppm	I	ppm	I	ppm	I	ppm	I
SODIUM	Sodium Jenway standard 1000 ppm	0	104	50	220	100	298	150	322
POTASSIUM	Potassio Panreac 31319 1000 ppm	0	64	50	198	100	309	150	403
CALCIUM	Calcium Panreac 313176 1000 ppm	0	121	100	198	200	289	300	395

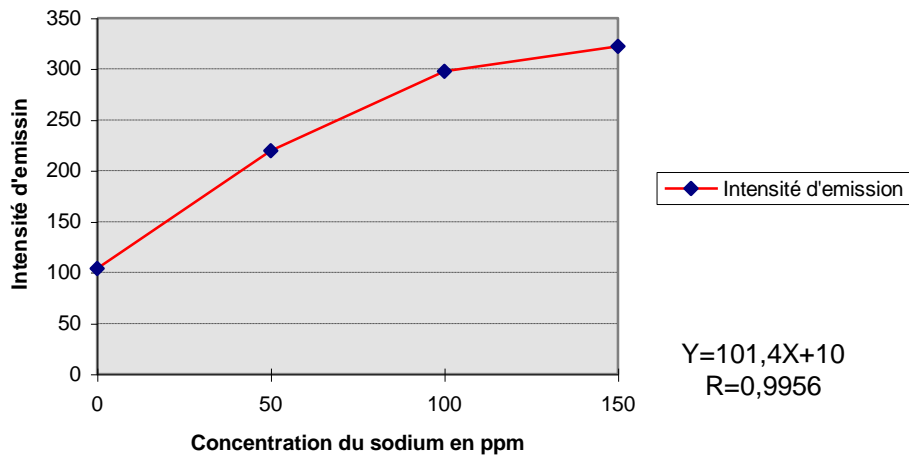
Après avoir mis sous tension, allumé la flamme du photomètre JENWAY CLINICAL PFP 7 et stabilisé cette flamme à une coloration bleue, à chaque répétition, il a été procédé à :

- la sélection du filtre de l'élément à analyser;
- l'étalonnage de l'appareil par les solutions étalons;
- l'aspiration de la solution à analyser par le brûleur à consommation totale;
- la lecture des intensités, après stabilisation de la valeur de l'émission à l'écran.

Après avoir tracé les courbes d'étalonnage et obtenu les équations des droites de calibrage ci-après, la lecture des concentrations des solutions soumises à l'analyse a été effectuée.

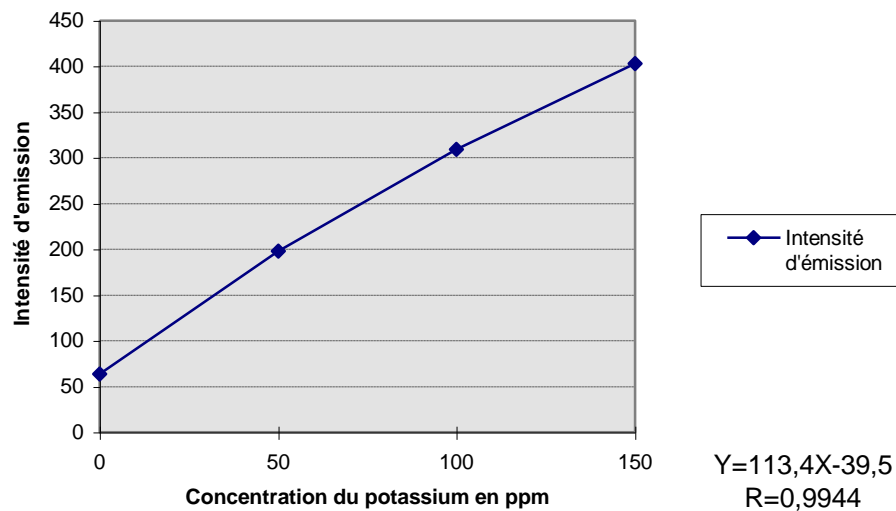
Graphique 1

Etalonnage de la concentration en Sodium



Graphique 2

Etalonnage de la concentration en Potassium



Vu les fortes émissions constatées lors de l'analyse du potassium dans les solutions minéralisées de départ, celles-ci ont été diluées à moitié pour permettre leur dosage.

Tenant compte des facteurs de dilution, et des prises les concentrations en ces éléments dans nos échantillons ont été déduites en utilisant les formules :

$$\% Na = \frac{ppm \times 50}{p \times 10^4} \quad \text{et} \quad \% K = \frac{ppm \times 100}{p \times 10^4}$$

2.3.4. Dosage spectro-photométrique du phosphore

➤ Principe

En milieu acide en présence des ions V^{+5} et Mo^{+6} , le phosphore donne un complexe phosphovanadomolybdique jaune dont la densité optique est mesurée au spectrophotomètre à 468 nm ou à 610 nm (Bougerra, 1988). Pour cela, il est important de préparer d'abord diverses solutions standard en jouant sur la concentration connue de phosphore.

➤ Mode opératoire

Avant tout, une solution nitrovanadomolybdique a été préparée comme suit :

(1) - préparer 100 ml de vanadate d'ammonium en mélangeant 0,25 g de NH_4VO_3 dans 50 ml d'eau distillée, auxquels ont été ajoutés 2 ml d'acide nitrique concentré ($d = 1,33$), que l'on ramène au tiret dans un ballon de 100 ml.

(2) - préparer 100 ml de molybdate d'ammonium $(NH_4)_8Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ en dissolvant 5 g de ce produit dans 100 ml de solution à l'aide de l'eau distillée.

En mélangeant les solutions (1) et (2) avec 67 ml d'acide nitrique concentré, dans un ballon de 500 ml que l'on ramène au tiret avec de l'eau distillée, on obtient la solution mère nitrovanadomolybdique.

Ensuite, à l'aide de l'hydrogenophosphate de potassium, quatre étalons titrant 2 ppm, 4 ppm, 8 ppm, 10 ppm de phosphore et un blanc sont préparés. Ces préparations sont faites en dissolvant 5,70266 g de K_2HPO_4 à 99 %, soit 1 g de phosphore dans un litre d'eau distillée et procédant aux différentes dilutions, toujours avec de l'eau distillée.

5 ml de chacun de ces étalons mélangés à 5 ml de la solution mère nitrovanadomolybdique, reposée pendant une heure ont permis de vérifier la validité de la courbe d'étalonnage de l'appareil à 468 nm, après fixation du blanc à zéro .

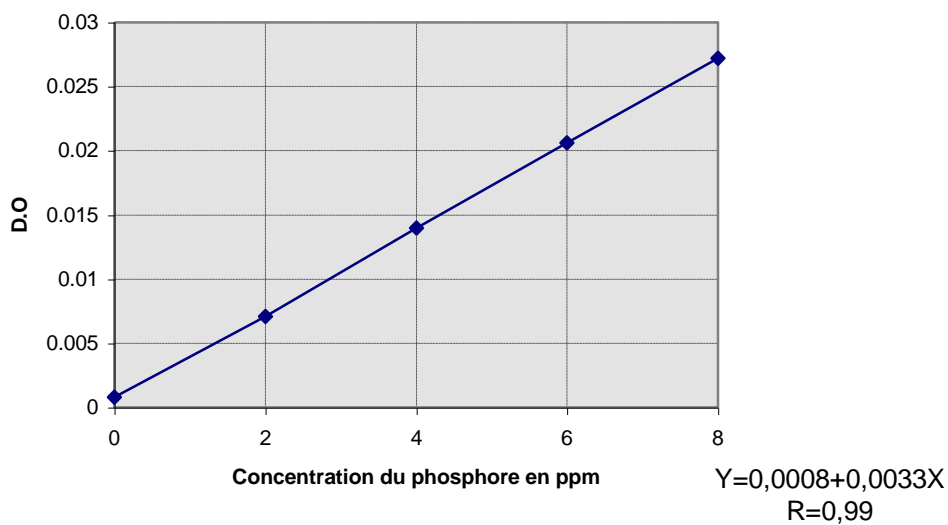
➤ Lecture et calculs

Pour la lecture de nos échantillons, 5 ml de chacune des solutions minéralisées sont dilués dans 25 ml d'eau, avant de prélever pour chaque dilution 5 ml de solution à mélanger avec 5 ml de la solution nitrovanadomolybdique. Les lectures ont été faites une heure plus tard à 468 nm.

Après lecture de la densité optique la concentration (ppm) a été déduite grâce à la droite de calibrage ci-après:

Graphique 3

Courbe d'étalonnage du phosphore à 468 nm



Tenant compte des facteurs de dilution et de la droite de calibrage, les concentrations de nos échantillons sont déduites suivant la formule :

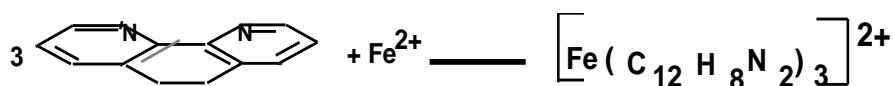
$$\% P = \frac{ppm \times 50 \times 25}{p \times 10^4}$$

2.3.5. Dosage spectro-photométrique du fer à l'ortho-phénantroline

Le but poursuivi en analysant cet élément est de vérifier si la teneur en un élément non explicitement prévu dans le programme, mais fixé par l'imposition d'une quantité bien déterminée de Premix d'oligo-éléments, vitamines et acides aminés essentiels peut répondre aux normes.

➤ Principe

L'ortho-phénantroline forme avec les ions Fe^{2+} un complexe de coordination poly-denté intensément rouge, nommé couramment " Ferroïne" (Ayes, 1974) stable, soluble, se prêtant à un dosage colorimétrique ou spectro-photométrique (Bemba et Remacle, 1992), suivant l'équation :



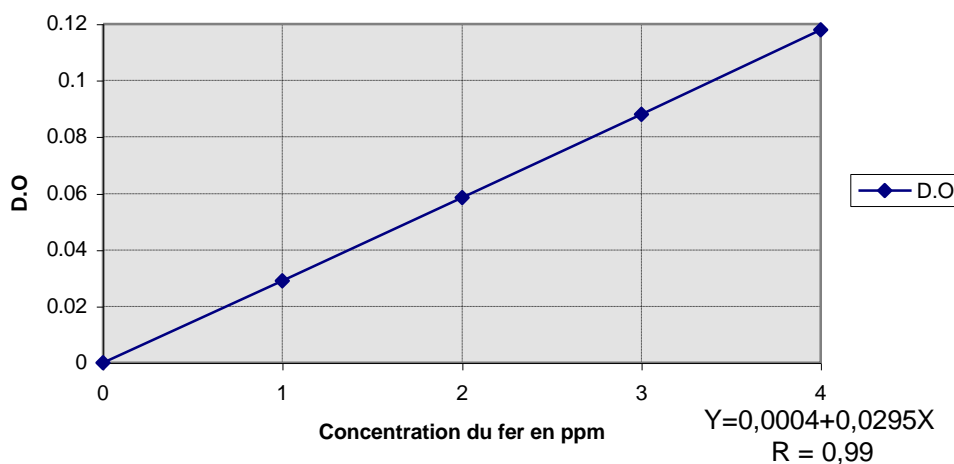
Pour être bien dosés, les ions Fe^{3+} doivent être réduits au préalable par un réducteur tel que l'acide ascorbique (Vervack, 1982). Dans ce dosage les facteurs à prendre en considération sont : l'ordre d'addition des réactifs, le temps de réaction, la température et le pH (de préférence 3,5)

➤ Mode opératoire

A partir de la solution étalon de fer (100 ppm) provenant d'une solution aqueuse de $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, des solutions standards de 0 à 8 ppm sont préparées dans des ballons de 50 ml. Après prélèvement de 5 ml de chacune de ces solutions dans des tubes à essai, 25 mg (une pincée) d'acide ascorbique et 0,2 ml de réactif colorant (ortho-phénantroline) y sont ajoutées. Laisser reposer pendant 30 minutes les mélanges avant de lire leurs densités optiques à 505 nm grâce au spectrophotomètre UV-Visible PRIM. La courbe d'étalonnage est ainsi obtenue.

Graphique 4

Courbe d'étalonnage pour le dosage du fer à 505 nm en présence de l'orthophénantroline



Les lectures de nos solutions minéralisées et d'un blanc ont été effectuées suivant le même mode opératoire que pour les étalons.

➤ Lecture et calculs

Les concentrations de nos préparations ont été lues directement sur la droite de calibration. Connaissant la prise et les facteurs de dilution, les concentrations de chacun des échantillons sont calculées par:

$$\% Fe = \frac{Xppm \times 50}{p \times 10^4}$$

2.4. Analyses microbiologiques

2.4.1. Introduction et but des analyses

Les aliments pour volaille, souvent conservés secs, peuvent garder leurs propriétés physico-chimique plus ou moins longtemps et voire au delà de leur délai de péremption. Ils peuvent néanmoins être sujets à des développements des microbes pouvant dégrader les constituants du mélange ou induire la synthèse de certaines substances toxiques pour l'animal ou pour le consommateur des produits d'origine animale.

C'est ainsi qu'il n'est pas rare dans la littérature que l'on parle par exemple des aflatoxines B1 synthétisées par l'*Aspergillus flavus* (Masimango, 1999) et de l'action dépressive qu'elles sont capables d'induire chez la volaille ou chez l'homme; des diarrhées aviaires provoquées par des bactéries de type *Escherichia coli* ou *Campylobacter jejuni* ainsi que les salmonelles ont également été signalées.

Nous avons effectué, dans ce travail, un simple dénombrement des unités formant colonies (UFC) de la flore aérobie mésophile et un typage de la flore fongique se trouvant dans ces aliments et pouvant se développer sur le milieu de Czapek Dox Agar. Ceci servira de base pour des études postérieures sur l'état d'innocuité des aliments. Suite aux difficultés d'ordre matériel, nous n'avons pas pu continuer nos analyses jusqu'au stade de description microscopique.

2.4.2. Méthodes de dénombrement de la flore aérobie mésophile totale

La méthode par dilution et ensemencement en milieu liquide solidifiable a été appliquée sur milieu non sélectif, en l'occurrence la gélose de soja triptyque, servant de milieu universel.

➤ Composition du gelose de soja triptyque (DIFCO) en g/l

- Tryptone peptone (digestion pancréatique de caséine)	15,0
- Soytone peptone (digestion papainique de farine de soja)	5,0
- Chlorure de sodium	5,0
- Gélose	15,0
- pH 7,3 ± 0,2	

Pour préparer le milieu, 10 g de poudre sont mis en suspension dans 250 ml d'eau distillée, et ensuite bien mélangés. Le mélange est chauffé sous agitation continue jusqu'à obtenir une ébullition d'une minute et une dissolution complète de la poudre. Après stérilisation à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes, le milieu est refroidi à 40 C avant d'ensemencer des dilutions décimales 10-1, 10-2 et 10-3 de nos échantillons.

➤ Ensemencement, incubation et lecture

A l'aide de micropipettes neuves, 1 ml de chaque dilution décimale de l'échantillon a été déposé dans une boîte de Pétri stérile portant sur son couvercle le facteur de dilution, la date d'ensemencement, la température d'incubation et le nom de l'aliment d'origine.

Par la suite, environ 15 ml de milieu gélosé, préalablement préparé ont été coulés aseptiquement dans chacune des boîtes ensemencées. Après homogénéisation de l'inoculum dans le milieu encore liquide, les boîtes sont laissées refroidir et solidifier avant d'incuber à 32°C.

Le comptage des colonies s'est effectué après 48 heures d'incubation à l'oeil nu en ne considérant que les boîtes contenant 30 à 300 unités formant colonies. A 72 heures, les lectures devenaient déjà impossibles suite à l'envahissement des boîtes par des colonies moisissuriennes.

2.4.3. Recherche et typage de la flore fongique sur milieu de Czapeck Dox agar

Le choix porté sur ce milieu tient au fait qu'il est un milieu électif des *Aspergillus* sp .

➤ Composition et préparation du Czapeck Dox agar en g/l

- Saccharose	30,0
- nitrate de sodium	3,0
- sulfate de magnésium	0,5
- Chlorure de potassium	0,5
- Sulfate de fer (II)	0,01
- Dihydrogenophosphate de potassium	1,0
- Agar-agar	1,0
- pH 7,3 ± 0,1	

Pour préparer ce milieu, 12 g de poudre du milieu commercial ont été mis en suspension dans 250 ml d'eau distillée. Le mélange a été chauffé sous agitation continue jusqu'à obtenir une ébullition d'une minute et une dissolution complète de la poudre. Après stérilisation à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes, le milieu est refroidi à 40°C avant d'ensemencer la dilution 10-1 de chacun des échantillons.

➤ Ensemencement, incubation et description

L'ensemencement a été réalisé avec 1 ml de la dilution 10-1 de chaque échantillon déposé dans une boîte de Pétri stérile portant sur son couvercle les indications de l'aliment d'origine. Ensuite 15 ml de milieu gélosé préalablement préparé ont été coulés aseptiquement dans la boîte.. Après homogénéisation de l'inoculum dans le milieu encore liquide, les plaques sont laissées refroidir et solidifier avant d'incuber à température ambiante.

La lecture a consisté, dans ce cas, à décrire macroscopiquement les colonies fongiques isolées et à compter les types de colonies se différenciant macroscopiquement.

CHAPITRE VI: RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre sont présentés, pour chacune des analyses effectuées, les résultats sous forme de tableau, suivis immédiatement de discussions. Les valeurs mentionnées sont les moyennes de deux essais. Un tableau récapitulatif des résultats des analyses est présenté à la fin, suivi de deux graphiques d'illustration.

VI. 1. RESULTATS DES ANALYSES BROMATOLOGIQUES ET DISCUSSIONS

1.1. Détermination du pH

Tableau 9 Valeurs moyennes du pH mesuré des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA	MIDEMA	NORME
pH	5,6	5,7	

La fraction directement soluble des aliments analysés est caractérisée par des pH légèrement acides, de l'ordre de 5,6 à 5,7. Ces valeurs sont conformes aux normes pour farines alimentaires.

1.2. Détermination de la teneur en eau et en matières sèches (EAU et MS)

Tableau 10 Teneurs moyennes en humidité et en matières sèches dans les aliments analysés

ANALYSE	PROVITA 2	MIDEMA A2	NORMES
HUMIDITE en %	9,62	8,64	max. 14
MATIERES SECHES en %	90,38	91,36	min. 86

Les teneurs en matières sèches des deux aliments analysés respectent les normes généralement admises pour les farines destinées à la consommation des poules. Ces aliments peuvent être classés parmi les aliments très secs. Cette état de siccité est favorable à la conservation de ces produits, car en effet, dans les produits déshydratés ou fortement séchés, l'activité de l'eau atteint des valeurs suffisamment basses pour interdire le développement d'une forte proportion de micro-organismes (Leyral et Vrieling, 1997). Seules les spores et quelques

formes végétatives peuvent persister. La stabilité et la sécurité de ces produits sont donc notablement garanties.

1.3. Détermination de la teneur en protéines brutes

Tableau 11 Teneurs moyennes en protéines brutes des aliments analysés en %

ANALYSE	PROVITA 2		MIDEMA A2		NORME
	ANALYSEE	PREVISION	ANALYSEE	DECLAREE	%
PB en %	14,56	14,5	16,3	min. 15	10-20%

Au regard des résultats du tableau ci-dessus, le Provita 2 présente une teneur moyenne en protéines brutes de l'ordre de 14,56 % et l'aliment Midema équivalent présente une teneur moyenne de l'ordre de 16,3 %. Ces résultats sont tous conformes aux normes. En outre la teneur trouvée pour Provita 2 approche de manière satisfaisante la prévision faite par le programme. De même la teneur trouvée pour l'aliment Midema répond à la valeur déclarée.

Plusieurs auteurs indiquent que l'alimentation trop riche et surtout abondante des matières azotées chez les animaux peut déclencher une véritable intoxication (Tobback, 1951). L'INRA (1989) recommande d'employer une teneur de 14,5 % pour des régimes de croissance distribués en quantité limitée, ayant une concentration énergétique d'au plus 2990 Kcal d'EM/kg.

Il ressort de l'analyse de sensibilité de notre formule, qui concorde avec la plupart des observations (Barret, 1992) que les matières azotées présentent un coût marginal positif. Vu la dépendance des élevages de notre pays des sources d'approvisionnement extérieures en protéines, il semble important de limiter son emploi au strict nécessaire.

Du point de vue physiologique, l'excès en protéines peut induire une fatigue du foie et des reins, générer l'apparition de déchets toxiques dans l'intestin et le sang.

Sur le plan écologique cet excès présente de nombreux inconvénients dont l'augmentation de la teneur en azote dans les fèces avec les conséquences que cela entraîne vis-à-vis de la concentration en nitrate des eaux souterraines et de surface, des émanations d'ammoniac susceptibles de libérer des protons contribuant à l'acidification des pluies (Barret, 1992).

1.4. Détermination de la teneur en matières grasses (MG)

Tableau 12 Teneur moyenne en matières grasses (Lipides) des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA 2		MIDEMA		NORME
	ANALYSEE	PREVISION	ANALYSEE	DECLAREE	%
MG %	5,40	5,24	4	min. 3	6

La teneur en matières grasses trouvée en analysant Provita 2, approche de manière satisfaisante la prévision du programme. Cette valeur s'avère aussi supérieure à celle trouvée chez son homologue de la Midema.

1.5. Détermination de la teneur en fibres brutes (FB)

Tableau 13 Teneur moyenne en fibres brutes des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA 2		MIDEMA		NORME
	ANALYSEE	PREVISION	ANALYSEE	DECLAREE	%
FB	6,38	5	6,58	max. 5,5	6

Il ressort de l'analyse de ce tableau que les teneurs en fibres brutes de Kurschner dépasse les teneurs en cellulose brute prévues aussi bien par notre programme, pour Provita 2, que par les garanties fournies par Midema, pour son aliment de croissance.

Ceci peut être dû soit à une variabilité des teneurs en cet élément dans les matières premières employées, soit encore à une variabilité au niveau des méthodes d'analyses mises en oeuvre.

En effet, la cellulose brute dosée dans un échantillon quelconque est le résultat des méthodes arbitraires d'analyses. Elle ne représente pas une mesure définie d'une substance ou d'un groupe spécifique (Vervack, 1980).

Toutefois, ces valeurs ne sont pas trop éloignées de la norme et sont comparables aux valeurs trouvées pour la ration homologue proposée par Cren-K I (6,3 %). (Kashama, 1997)

1.6. Détermination de la teneur en cendres brutes (CB)

Tableau 14 Teneurs moyennes en cendres brutes des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA	MIDEMA	NORME
CENDRE BRUTE %	4,80	4,51	

De la comparaison des résultats d'analyse obtenus, Provita 2 semble avoir une teneur totale moyenne en éléments minéraux de 4,8 % contre 4,51 pour l'aliment Midema. Ces valeurs semblent comparables, mais ne donnent pas encore une indication concrète sur la valeur de ces minéraux.

1.7. Détermination de l'extractif non azoté (ENA)

Tableau 15 Valeurs calculées des extractifs non azotés des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA	MIDEMA	NORME
ENA %	64,64	63,97	

Ces valeurs calculées donnent une indication de la teneur en composés glucidiques et en leur polymères extractibles. Les résultats obtenus montrent que les deux aliments ont des teneurs comparables en extractif non azoté de l'ordre de 64 à 65 %. Ces valeurs sont nettement supérieures à celle trouvée dans la ration Cren-K I (43,96 %) (Kashama, 1997).

1.8. Détermination de la valeur énergétique des aliments

Tableau 16 Valeurs énergétiques moyennes des aliments analysés en Kcal/kg et en %

ANALYSE	PROVITA		MIDEMA		NORMES
	Kcal	%	Kcal	%	
PB	832,82	19,16	932,36	21,7	
MG	513	11,8	380	8,9	
ENA	2 695,48	62	2667,55	62,1	
FB	305,6	7	315,8	7,34	
EB TOTAL	4 347	100	4 295	100	
EM/kg	2 782		2 748		2600 à 3000

Il ressort des résultats du tableau 16 que les deux aliments présentent une valeur énergétique qui répond aux normes.

Les résultats théoriques peuvent être considérés comme satisfaisants, sous réserve de validité du facteur d'efficacité de transformation de l'énergie brute en l'énergie métabolisable. Les pourcentages calculés donnent une estimation de l'origine des différentes fractions d'énergie.

1.9. Dosage du calcium

Tableau 17 Résultats de la détermination des teneurs en calcium des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA				MIDEMA			NORME
	V _{EDTA} (ml)	Prise (g)	%	Prévision	V _{EDTA} (ml)	prise (g)	%	%
CALCIUM	0,4	2,00	0,801	0,8	0,2	2,06	0,39	0,68 à 1,2

Le tableau précédent indique que la teneur moyenne en calcium dans la Provita 2 et dans l'aliment Midema commercialisé est respectivement de l'ordre de 0,801 % et 0,39 %. Ces valeurs sont nettement différentes et placent Provita 2 à une place de choix.

En effet, le calcium qui est le minéral le plus abondant au sein de l'organisme est l'un des éléments essentiels dans la fabrication du squelette de l'animal encore en croissance. Bien qu'en pratique une déficience modérée en calcium n'affecte de façon sensible la croissance que chez le très jeune animal, chez l'animal plus âgé la déficience ne ralentit guère la croissance mais diminue la minéralisation des os, surtout ceux qui sont en phase de croissance intense au moment où survient la déficience (Larbier et Leclercq, 1992).

Les résultats d'analyse montrent une approche très satisfaisante de Provita 2 à la prévision du programme (8 g/kg) pour cet élément.

1.10. Dosage du sodium et du potassium par photométrie de flamme

Tableau 18 Résultats de la détermination des teneurs en potassium et en sodium des aliments analysés

ANALYSE	PROVITA			MIDEMA			NORME
	prise (g)	I	%	prise	I	%	%
SODIUM	2,00	352	0,3	2,06	342	0,270	0,1 à 1
POTASSIUM	2,00	300	0,5	2,06	290	0,43	0,19 à 2

Les deux aliments présentent des teneurs satisfaisantes en sodium et potassium. Ces deux minéraux essentiels pour la régulation osmotique admettent en effet des marges assez larges de tolérance, grâce à la capacité de régulation des organismes (Larbier et Leclercq, 1992).

1.11. Dosage spectro-photométrique du phosphore

Tableau 19 Résultats de la détermination des teneurs en phosphore

ANALYSE	PROVITA				MIDEMA			NORME
	prise (g)	D.O	%	Prévision	prise	D.O	%	%
PHOSPHORE	2,00	0,050	0,931	0,7	2,06	0,014	0,252	0,4 à 1,1

La teneur moyenne en phosphore total dans Provita 2 et dans l'aliment Midema sont respectivement de 0,93 % et de 0,25 %. Ces valeurs sont nettement différentes et placent Provita 2 à une place de choix.

Bien que les teneurs observées pour Provita 2 soient nettement supérieures à la prévision du programme, cet aliment répond néanmoins aux normes généralement admises. Cet excès n'est pas trop à craindre, car lorsque le besoin en phosphore est couvert, les variations du rapport Ca /P n'exercent pas d'effets sur la croissance et la minéralisation, dans la mesure où le besoin en calcium est couvert lui aussi. (Larbier et Leclercq, 1992).

Par contre la carence en phosphore se traduit par une perte d'appétit, un ralentissement de la croissance, des troubles locomoteurs graves et de la mortalité.

1.12. Dosage photométrique du fer à l'ortho-phénantroline

Tableau 20 Résultats de la détermination des teneurs en fer dans les aliments analysés

ANALYSE	PROVITA			MIDEMA			NORME
	prise (g)	D.O	%	prise	I	%	%
FER	2,01	0,05	0,0042	2,07	0,046	0,0036	0,0004 à 0,0255

Bien que n'ayant pas été prévu explicitement dans le programme, la teneur en fer dans Provita 2, comme dans Midema, répondent parfaitement bien aux normes. La valeur trouvée pour

Provita 2 approche même l'optimum recommandé par Larbier et Leclercq (1992) pour les poulettes en croissance, soit 0,0045 %.

VI. 2. RESULTATS RELATIFS AUX ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

2.1 Dénombrement des micro-organismes aérobies mésophiles

Tableau 21 Le nombre d'unités formant colonies rencontré dans les aliments analysés

ANALYSE	PROVITA	MIDEMA	NORME
UFC/g	2840	3360	3.10 ⁵
TFF	3	3	

Il ressort de ce tableau qu'en moyenne la Provita 2 tel que préparé et conditionné renferme 2840 germes aérobies mésophiles par gramme d'aliment complet, contre 3360 germes pour l'aliment Midema tel que commercialisé sous emballage de détail. Comparées à la réglementation sur la flore microbienne des pâtisseries, ces valeurs des unités formant colonies (UFC) ne semblent pas inquiétantes à priori

2.2. Typage de la flore fongique se développant sur milieu de Czapeck Dox Agar

Trois types de flore fongiques (TFF) se différenciant par leurs caractéristiques morphologiques macroscopiques ont été décelés dans ces deux aliments. Le tableau 22 en donne quelques descriptions.

Tableau 22 Description des principales colonies isolées sur Czapeck Dox Agar

	SURFACE	FORME	CONSISTANCE	DIAMETRE	COLORATION
TYPE 1	mycellienne	irrégulière	sèche	> 6 mm	blanchâtre à excroissance noire
TYPE 2	mucoïde	arrondie	mucoïde	< 6 mm	Jaunâtre
TYPE 3	mycellienne	irrégulière	sèche	> 6 mm	Blanchâtre à fond vert
COUVERTURE DE LA PLAQUE			PROVITA		70 %
			MIDEMA		90 %

L'analyse simple de ce tableau ne permet pas d'établir un diagnostic de présomption fiable quant au genre de ces différents germes. Néanmoins les caractéristiques macroscopiques décrites pour les types 1 et 2 n'excluent pas d'établir une présomption sur la présence des *Aspergillus sp.* ou des *Penicillium sp.* Des analyses microscopiques et biochimiques s'avèrent nécessaires pour identifier avec certitude cette flore.

Par ailleurs la présence des mêmes types de colonies laisse croire aussi qu'il peut s'agir de champignons microscopiques banaux.

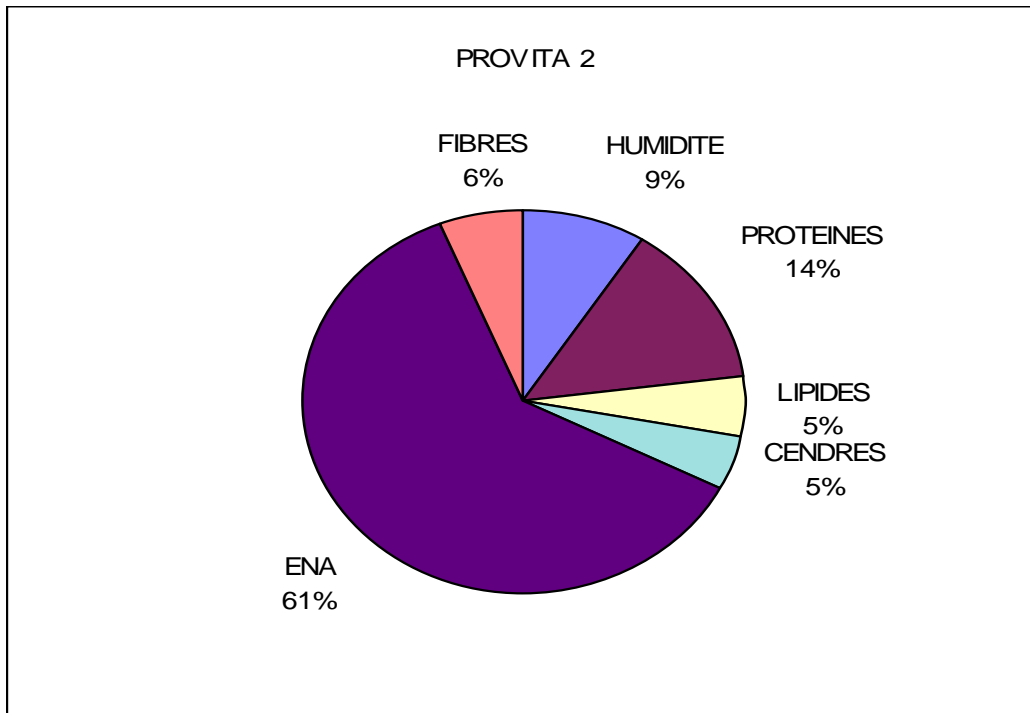
VI. 3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES

Tableau 23 Récapitulatif des résultats des analyses (par Kg)

PRODUIT	PROVITA		MIDEMA		NORMES
	ANALYSEE	PREVISION	ANALYSE	DECLAREE	
HUMIDITE	9,62		8,64	max. 14	max. 14
MATIERES SECHES	90,38		91,36		min. 86
PROTEINES BRUTES	14,56	14,5	16,3	min. 15	10 à 20
MATIERES GRASSES	5,4	5,24	4,0	min. 3	
CENDRES BRUTES	4,8		4,51		
EXTRACTIFS NON AZOTES	64,64		63,97		
FIBRES BRUTES	6,38	5	6,58	max. 5,5	
ENERGIE BRUTE	4 347	4384	4 295		
ENERGIE METABOLISABLE	2 782	2 750	2 748		2600 à 3000
PHOSPHORE TOTAL	9,31	7	2,52		4 à 11
CALCIUM	8,02	8	2,52		6,8 à 12
SODIUM	3,0	2,7	2,7		1 à 20
POTASSIUM	5	4	6,01		1,9 à 20
METHIONINE		3,35			min. 3,2
METHIONINE + CYSTINE		6,54			min 6
LYSINE		6,83			min. 6
FER	0,042		0,036		0,004 à 0,250
UFC/g	2 840		3 360		
TFF	3		3		

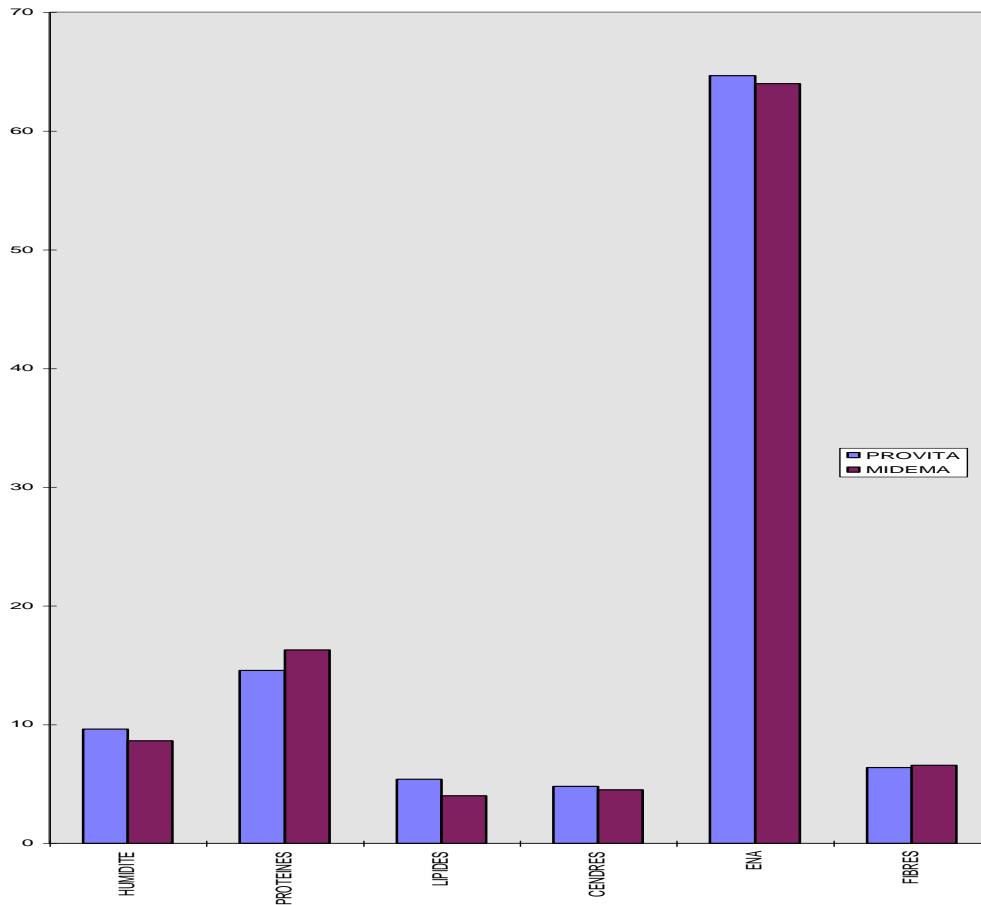
pH	5,6		5,7		
-----------	-----	--	-----	--	--

Graphique 5 Aperçu graphique de la composition de PROVITA 2



Graphique 6 Vision comparée de PROVITA 2 et de MIDEMA A2

VISION COMPAREE DE LA COMPOSITION DES ALIMENTS ANALYSES



CONCLUSION

L'aviculture est susceptible de garantir un apport en protéines dans l'alimentation, par la fourniture des oeufs et de la chair. Une bonne conduite de ce type d'élevage bute cependant à une difficulté majeure : non seulement l'approvisionnement en aliments pour volaille est onéreux mais encore les types d'aliments généralement disponibles sur le marché ne répondent pas toujours aux normes quant à leur composition en divers éléments nutritifs.

Disposer des aliments dont la composition est équilibrée et complète est une bonne chose, mais disposer de ces aliments complets et équilibrés aux coûts les moins élevés est encore mieux.

Une des approches de formulation des aliments complets et équilibrés pour volaille intégrant dans son développement l'objectif de minimisation des coûts est l'approche programmatique. Nous avons, dans ce travail, développé cette approche en fournissant un exposé plus ou moins détaillé de ses bases de calcul et de ses possibilités d'utilisation.

L'approche développée a été appliquée à un cas pratique : celui de la formulation d'un aliment de croissance (8 à 20 semaines) pour la souche pondeuse LOHMANN LSL que nous avons dénommé PROVITA 2. Les caractéristiques analytiques de l'aliment réellement mis au point ont été comparées aux caractéristiques bromatologiques théoriques indiquées à la résolution du programme, et aux caractéristiques analytiques d'un aliment composé pour poulette de ponte de 9 à 20 semaines, commercialisé par MIDEMA.

Il ressort de ce travail ce qui suit:

1. l'approche programmatique développée donne une solution satisfaisante au problème de la formulation des aliments complets pour volaille; elle est à même de proposer la combinaison faisable, la moins coûteuse, des matières premières respectant toutes les contraintes préfixées;
2. cette approche théorique a répondu positivement lorsqu'elle a été appliquée à un cas concret de formulation des aliments pour volaille.

En effet, l'analyse bromatologique de l'aliment concret formulé suivant le modèle proposé a permis de constater un rapprochement satisfaisant des résultats d'analyses et des paramètres envisagés; cela pour la plupart des contraintes dont: protéines brutes, matières grasses, calcium, sodium, ainsi que les valeurs énergétiques estimées. Quant aux contraintes d'incorporation, toutes ont été satisfaites de manière rigoureuse;

Quelques écarts, attribuables à la variabilité dans la composition des matières premières employées et aux techniques d'analyses ont été observés, cas du phosphore et de la cellulose brute.

3. l'approche programmatique a permis en outre de montrer que, toutes choses restant égales, l'utilisation de certaines matières premières dans la formulation des aliments complets et équilibré peut être non efficiente, cas du manioc.
4. toutes les contraintes n'ont pas influencé de la même façon la minimisation du coût lié aux matières premières. L'analyse de sensibilité indique que certaines contraintes sont saturées et présentent des coûts marginaux positifs, cas des protéines brutes, énergie métabolisable, calcium, phosphore et masse; d'autres par contre ont présenté un coût marginal négatif.
5. il existe une similitude entre PROVITA 2 et MIDEMA quant à la plupart des paramètres analysés; quelques différences prévisibles ont été remarquées pour les protéines brutes. Toutefois, il semble important que la confirmation de l'efficacité de l'approche soit étendue à des expériences sur un cheptel vif.

Ce travail n'est pas l'oeuvre d'un informaticien professionnel, ni d'un mathématicien, ni encore d'un étudiant d'orientation zootechnique ou économiste agricole; tous ceux-ci diront que «cela se voit!».

Nous avons voulu présenter un outil de travail au service de la recherche et d'une certaine catégorie des praticiens de l'aviculture. Apporter notre modeste contribution à la solution du problème de la sécurité alimentaire dans notre pays est le mobile qui nous a inspiré ce travail. La tâche, loin d'être achevée, en appelle à l'engagement d'un chacun.

BIBLIOGRAPHIE

1. AIRAULT, P. 1999. Les productions animales en Afrique. *Afrique agriculture*, 267: 22-30;
2. AYRES, G.H. 1974. Analisis quimico cuantitativo. éd. Del CASTELLO, S.A. 740 pp
3. BARRET, J.P. 1992. Zootechnie générale. éd. TEC&DOC, Paris. 113 pp.
4. BEMBA, F.T et REMACLE, J.1992. Inventaire et composition chimique des aliments et denrées alimentaires traditionnels du Kwango-Kwilu au Zaïre. PUN 80 pp.
5. BISIMWA, B.C.1998. Aspects pratiques de la formulation des aliments. *in* : Extrait du colloque national sur la production animale.R.D.C. 17 pp
6. BOUGERRA, M.L. 1988. Chimie et développement. ACCT, Paris. 308 pp.
7. CHALOUB, Y. Guide pratique d'alimentation des monogastriques : porcs-lapin-poules. CRAF. reproduction réalisée par CTA. 40 pp.
8. GOOSSENS, F., MINTEN, B., TOLLENS, E. 1994. Nourrir Kinshasa : L'approvisionnement local d'une métropole africaine, KU LEUVEN, HARMATTAN, p 20 , 351pp
9. HACQUES, G. 1971. Mathématiques pour l'informatique: Algorithmique numérique. p 209
- 10.I.E.M.V.T (institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux), 1991. Manuel d'aviculture en zone tropicale, 2e. éd. aris. 186pp.
11. INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volaille. Paris 2e. éd. pp. 90-120
12. KAPEPA, D. 1997. Programmation linéaire par la méthode de Simplexe en langage C++. TFC inédit, Faculté des Sciences (mathématique), UNIKIN.
13. KALONJI, M. 2000. Cours inédit de phytopharmacie dispensé en grade. UNIKIN FACAGRO
14. KASHAMA, K. 1997. Essai d'introduction des déchets agro-industriels locaux dans la formulation des rations alimentaires pour volaille: cas de caille de chair et de ponte. Mémoire de fin d'études, Laboratoire de radio-agronomie, CREN-K, 50 pp.
15. KIATOKO, M.1999. Cours inédit de bromatologie dispensé en grade zootechnie. FACAGRO
16. KIATOKO, N.1997. Etude de la valeur nutritive et des effets de traitements technologiques sur quelques principes antinutritionnels et toxiques des graines de trois lignées de Mucuna pruriens var utilis. Mémoire. UNIKIN FACAGRO, 66 pp
17. KOTLER, P et DUBOIS, B. 1994. Marketing Management, 8e. éd.PUBLI-UNION, 742 pp
- 18.LARBIER, M et LECLERCQ, B.1992. Nutrition et alimentation des volailles. INRA , 329 pp
- 19.LAROUSSE, 1981. Larousse agricole. éd. LAROUSSE, pp.898-901

20. LEYRAL, G et VRIELLING, E. 1997. Microbiologie et toxicologie des aliments : Hygiène et sécurité alimentaires. 2 éd. DOIN, pp.81-162.
21. LOHMANN, 1991. Catalogue LOHMANN LSL. pp 10-17
22. MASIMANGO, N.T. 1998. Microbiologie appliquée; cours inédit dispensé en premier grade Chimie et Industries Agricoles; FACAGRO UNIKIN.
23. MASIMANGO, N.T. 2001. Microbiologie des aliments; cours inédit dispensé en deuxième grade Chimie et Industries Agricoles; FACAGRO UNIKIN.
24. MAURIN, H .1967.Programmation linéaire appliquée, éd. TECHNIP, 374 pp.
25. MEMENTO DE L'AGRONOME.1994. 4 éd. Col. "Technique Rurale en Afrique". pp. 1010-1100.
26. MICROSOFT, 1998. Guide de l'utilisateur du Microsoft-Excel. volume I, p.207
27. MUKOKO, S. 1997. Syllabus du cours de méthodes quantitatives de l'économie. Faculté des Sciences économiques, UNIKIN
28. MULUMBA, T. 1999. Etude zoo-économique de l'élevage familial des poules à Kinshasa : cas de la commune de Lemba. TFC, FACAGRO, UNIKIN.
29. MVUNZU, Z. 2001. Cours inédit de méthodes spéciales d'analyses, dispensé en grade CIA, FACAGRO UNIKIN.
30. O.C.C, 1998. NORME 052/ 4-1 Rélatif au contrôle des aliments dérivés des farines.
31. PAGOT, J. 1985. L'élevage en pays tropicaux. éd. Maisonneuve et ACCT. 526 pp.
- 32.PUNZA, K. 1999. Cours inédit de chimie organique analytique, FACAGRO, UNIKIN
33. SITA, L. 1999. Cours inédit de nutrition animale dispensé en grade zootechnie,FACAGRO, UNIKIN
34. S.N.S.A. 1996.L'agriculture zaïroise en quelques chiffres. 15pp
35. SOLTNER, D. 1994. Alimentation des animaux domestiques; Tome I, principes d'alimentation de toutes les espèces, Collection SCIENCES et TECHNIQUES. 20^e éd. mise à jour
- 36.TRIEBEL, D.1983, The supply of vitamines to laying hens. Une adaptation française faite par HOFFMANN-LA ROCHE, Bâles. 31pp
- 37.TOBBACK, L. 1951. Les maladies du bétail du Congo Belge, 2 éd. 515pp
- 38.VERVACK,W. 1982. Guide de laboratoire de biochimie de la nutrition: analyse des aliments. LOUVAIN LANEUVE. pp.10-40.
- 39.WAHL, J. 1983. Le pétrole vert français. Flammarion, 245pp.
- 40.WIENER, D. 1978. Initiation à la programmation linéaire, I.E.D.E.S Paris. 191 pp.

LISTE ET TITRES DES PRINCIPAUX TABLEAUX

TABLEAU 1 QUELQUES CARACTERISTIQUES DE LA POULETTE D'ETUDE EN FONCTION DE L'AGE (SEMAINES).....	22
TABLEAU 2 APPORTS ALIMENTAIRES RECOMMANDES PAR KG D'ALIMENT POUR LA LOHMANN LSL (8-20 SEMAINES)	24
TABLEAU 3 APPORTS ALIMENTAIRES ET ADDITIONS RECOMMANDEES DES MINERAUX ET DES VITAMINES CHEZ LES PONDEUSES EN CROISSANCE	24
TABLEAU 4 COMPOSITION MOYENNE DES DIFFERENTES MATIERES PREMIERES (EN G/KG ET EN K CAL/KG POUR EM)	26
TABLEAU 5 PROGRAMME COMPLET A RESOUDRE	28
TABLEAU 6 RESULTATS DE RESOLUTION DU PROGRAMME ET EVALUATION DES COUTS (PROVITA 2)	30
TABLEAU 7 ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA FORMULATION PROPOSEE	33
TABLEAU 8 ETALONS PREPARES POUR LA PHOTOMETRIE DE FLAMME ET LEURS INTENSITES D'EMISSION.....	44
TABLEAU 9 VALEURS MOYENNES DU PH MESURE DES ALIMENTS ANALYSES	53
TABLEAU 10 TENEURS MOYENNES EN HUMIDITE ET EN MATIERES SECHES DANS LES ALIMENTS ANALYSES	53
TABLEAU 11 TENEURS MOYENNES EN PROTEINES BRUTES DES ALIMENTS ANALYSES EN %	54
TABLEAU 12 TENEUR MOYENNE EN MATIERES GRASSES (LIPIDES) DES ALIMENTS ANALYSES	55
TABLEAU 13 TENEUR MOYENNE EN FIBRES BRUTES DES ALIMENTS ANALYSES	55
TABLEAU 14 TENEURS MOYENNES EN CENDRES BRUTES DES ALIMENTS ANALYSES	56
TABLEAU 15 VALEURS CALCULEES DES EXTRACTIFS NON AZOTES DES ALIMENTS ANALYSES	56
TABLEAU 16 VALEURS ENERGETIQUES MOYENNES DES ALIMENTS ANALYSES EN K CAL/KG ET EN %	56
TABLEAU 17 RESULTATS DE LA DETERMINATION DES TENEURS EN CALCIUM DES ALIMENTS ANALYSES	57
TABLEAU 18 RESULTATS DE LA DETERMINATION DES TENEURS EN POTASSIUM ET EN SODIUM DES ALIMENTS ANALYSES	57
TABLEAU 19 RESULTATS DE LA DETERMINATION DES TENEURS EN PHOSPHORE.....	58
TABLEAU 20 RESULTATS DE LA DETERMINATION DES TENEURS EN FER DANS LES ALIMENTS ANALYSES	58
TABLEAU 21 LE NOMBRE D'UNITES FORMANT COLONIES RENCONTRE DANS LES ALIMENTS ANALYSES.....	59
TABLEAU 22 DESCRIPTION DES PRINCIPALES COLONIES ISOLEES SUR CZAPECK DOX AGAR.....	59
TABLEAU 23 RECAPITULATIF DES RESULTATS DES ANALYSES (PAR KG).....	60

LISTE DES GRAPHIQUES

GRAPHIQUE 1 ETALONNAGE DU PHOTOMETRE A FLAMME POUR ANALYSE DU SODIUM.....	45
GRAPHIQUE 2 ETALONNAGE DU PHOTOMETRE A FLAMME POUR ANALYSE DU POTASSIUM	45
GRAPHIQUE 3 ETALONNAGE DU SPECTRO-PHOTOMETRE POUR ANALYSE DU PHOSPHORE.....	47
GRAPHIQUE 4 ETALONNAGE DU SPECTRO-PHOTOMETRE POUR ANALYSE DEU FER	49
GRAPHIQUE 5 APERÇU GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION DE PROVITA 2	62
GRAPHIQUE 6 VISION COMPAREE DE PROVITA 2 ET DE MIDEMA A2.....	62