

TD 99-1

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES
(E.I.S.M.V)

ECOLE INTER-ETATS
DES SCIENCES ET MEDECINE
VETERINAIRES DE DAKAR
BIBLIOTHEQUE



ANNEE : 1999

N°01

**CONTRIBUTION A LA MISE AU POINT D'UN REFERENTIEL
SUR LA QUALITE DES MATIERES PREMIERES UTILISEES
EN AVICULTURE AU SENEGAL. APPLICATION A LA
FORMULATION DES RATIONS ALIMENTAIRES**

THESE

Présentée et soutenue publiquement le 08 Février 1999
Devant la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-stomatologie de Dakar
Pour l'obtention du grade de DOCTEUR VETERINAIRE
(DIPLOME D'ETAT)

par

Oswald MPOUOK

Né le 18 Juillet 1972 à Bagbezé 1 (CMEROUN)

JURY

- Président** : **Monsieur Moussa Lamine SOW**
Professeur à la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-stomatologie de Dakar
- Rapporteur** : **Monsieur Assane MOUSSA**
Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar
- Membres** : **Monsieur Germain Jérôme SAWADOGO**
Professeur à l'E.I.S.M.V. de Dakar
: **Monsieur Yalacé Yamba KABORET**
Maître de conférences agrégé à l'E.I.S.M.V. de Dakar
- Directeurs de thèse** : **Madame Maïmouna CISSE**
Docteur ès Physiologie animale, chercheur à l'I.S.R.A.
: **Monsieur Ayao MISSOHOU**
Maître-assistant à l'E.I.S.M.V. de Dakar

ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES DE DAKAR

B.P 5077 - DAKAR (Sénégal)
Tél. (221) 825 66 92 - Télécopie (221) 825 42 83 - Télex 51 403 INTERVET SG



ANNEE UNIVERSITAIRE 1998-1999

COMITE DE DIRECTION

1 LE DIRECTEUR

. Professeur François Adébayo ABIOLA

2 LE DIRECTEUR ADMINISTRATIF ET FINANCIER

. Monsieur Jean Paul LAPORTE

3 LES COORDONNATEURS

. Professeur Malang SEYDI
Coordonnateur des Etudes

. Professeur Justin Ayayi AKAKPO
Coordonnateur des Stages et Formation
Post-Universitaires

. Professeur Germain Jérôme SAWADOGO
Coordonnateur Recherches et Développement

LISTE PERSONNEL DU CORPS ENSEIGNANT

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT EISMV**

☞ **PERSONNEL VACATAIRE (PREVU)**

☞ **PERSONNEL EN MISSION (PREVU)**

☞ **PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV (PREVU)**

IV. - PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV

1 - MATHEMATIQUES

- Sada Sory THIAM

Maître-Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

. Statistiques

Ayao MISSOHO

Maître-Assistant
EISMV - DAKAR

2. - PHYSIQUE

I. YOUM

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

. Chimie Organique

Abdoulaye SAMB

Professeur
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

. Chimie Physique

Alphonse TINE

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

7. BIOLOGIE ANIMALE (T.P.)

D. PANDARE

Maître-Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

Jacques N. DIOUF

Maître-Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

9. GEOLOGIE

A. FAYE

Chargé d'Enseignement
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

R. SARR

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

10. T.P.

Ngaraïta AL-OGOUMRABE

Moniteur



. Chirurgie

- A. CAZIEUX

Professeur
ENV - TOULOUSE (France)

. Anatomie

- A. MATOUSSI

Professeur
ENMV - SIDI THABET (Tunisie)

- SAUTET

Professeur
ENV - TOULOUSE (France)

. Economie

- Henri SEEGER

Professeur
ENV - NANTES (France)

- Christian MOUCHET

Professeur
ENV - NANTES (France)

II. - PERSONNEL VACATAIRE (Prévu)

. Biophysique

Sylvie (Mme) GASSAMA SECK Maître de Conférences Agrégé
Faculté de Médecine et de Pharmacie
UCAD

. Botanique

Antoine NONGONIERMA Professeur
IFAN - UCAD

. Agro-Pédologie

Alioune DIAGNE Docteur Ingénieur
Département « Sciences des Sols »
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
(ENSA) - THIES

. Biologie Moléculaire

Mamady KONTE Docteur Vétérinaire - Docteur es Sciences
Naturelles, spécialiste en Biologie
Moléculaire et en Pathologie de la
Reproduction
Chercheur ISRA

. Normalisation et Assurance Qualité

Mme NDIAYE Mame Sine MBODJ Chef de la division
Agro-alimentaire de l'Institut Sénégalais
de Normalisation

. Pathologie du Bétail

Mallé FALL Docteur Vétérinaire

B.- DEPARTEMENT DE SANTE PUBLIQUE ET ENVIRONNEMENT

CHEF DE DEPARTEMENT

Professeur Louis Joseph PANGUI

S E R V I C E S

1. - HYGIENE ET INDUSTRIE DES DENREES ALIMENTAIRES D'ORIGINE ANIMALE (H I D A O A)

Malang SEYDI	Professeur
Abdoulaye NDIAYE	Moniteur
Etchri AKOLLOR	Docteur Vétérinaire Vacataire

2. - MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE-PATHOLOGIE INFECTIEUSE

Justin Ayayi AKAKPO	Professeur
Rianatou ALAMBEDJI (Mme)	Maître-Assistante
Mamadou Lamine GASSAMA	Docteur Vétérinaire Vacataire
N'Koudodoba SIMTOKENA	Moniteur

3. - PARASITOLOGIE-MALADIES PARASITAIRES ZOOLOGIE APPLIQUEE

Louis Joseph PANGUI	Professeur
Wellars HABYARIMANA	Moniteur
Rose (Mlle) NGUE MEYIFI KOMBE	Docteur Vétérinaire Vacataire

4. - PATHOLOGIE MEDICALE- ANATOMIE PATHOLOGIQUE- CLINIQUE AMBULANTE

Yalacé Yamba KABORET	Maître de Conférences Agrégé
BOURDANNE	Moniteur
Awa (Mlle) TRAORE	Monitrice

5. - PHARMACIE-TOXICOLOGIE

François Adébayo ABIOLA	Professeur
Patrick FAURE	Assistant

I.- PERSONNEL ENSEIGNANT EISMV

A. - DEPARTEMENT DE SCIENCES BIOLOGIQUES ET PRODUCTIONS ANIMALES

CHEF DU DEPARTEMENT

Professeur ASSANE MOUSSA

S E R V I C E S

1. - ANATOMIE-HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE

**Kondi Charles AGBA
Kossi ALOEYI**

**Professeur
Moniteur**

2. - CHIRURGIE-REPRODUCTION

**Papa El Hassane DIOP
Mohamadou YAYA
Fidèle BYUNGURA**

**Professeur
Moniteur
Moniteur**

3. - ECONOMIE RURALE ET GESTION

**Cheikh LY
Guy Anicet RERAMBYATH**

**Maître-Assistant
Moniteur**

4. - PHYSIOLOGIE-THERAPEUTIQUE-PHARMACODYNAMIE

**ASSANE MOUSSA
Mouhamadou CHAIBOU**

**Professeur
Docteur Vétérinaire Vacataire**

5. - PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

**Germain Jérôme SAWADOGO
Aimable NTUKANYAGWE
Toukour MAHAMAN**

**Professeur
Moniteur
Moniteur**

6. - ZOOTECHNIE-ALIMENTATION

**Gbeukoh Pafou GONGNET
Ayao MISSOHO
Grégoire AMOUGOU-MESSI**

**Maître de Conférences
Maître-Assistant
Moniteur**

TP. Chimie

Abdoulaye DIOP

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

3. BIOLOGIE VEGETALE

. Physiologie Végétale

- K. NOBA

Maître-Assistant
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

4. BIOLOGIE CELLULAIRE

5. EMBRYOLOGIE ET ZOOLOGIE

Bhen Sikina TOGUEBAYE

Professeur
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

6. PHYSIOLOGIE ET ANATOMIE COMPAREES DES VERTEBRES

ASSANE MOUSSA

Professeur
EISMV - DAKAR

Cheikh T. BA

Maître de Conférences
Faculté des Sciences et Techniques
UCAD

LE CANDIDAT

**VU
LE DIRECTEUR
DE L'ECOLE INTER-ETATS
DES SCIENCES ET MEDECINE
VETERINAIRES DE DAKAR**

**LE PROFESSEUR RESPONSABLE
DE L'ECOLE INTER-ETATS DES
DES SCIENCES ET MEDECINE
VETERINAIRES DE DAKAR**

**VU
LE DOYEN
DE LA FACULTE DE MEDECINE
ET DE PHARMACIE DE
L'UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
DE DAKAR**

LE PRESIDENT DUJURY

**VU ET PRIS D'IMPRIMER _____
DAKAR, LE _____**

**LE RECTEUR, PRESIDENT DE L'ASSEMBLEE
DE L'UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**

" Par délibération, la faculté et l'Ecole ont décidé que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner aucune approbation ni improbation."

SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1
<i>PREMIERE PARTIE: DONNEES ACTUALISEES SUR LES MATIERES PREMIERES UTILISEES EN AVICULTURE AU SENEGAL</i>	3
Introduction.....	4
CHAPITRE I LES CEREALES ET LES AUTRES PRODUITS AMYLACES	5
I. LES CEREALES	5
I-1 Présentation des cultures	5
I-1.1. Le maïs.....	5
I-1.2. Les sorghos	6
I-1.3. Les mils.....	6
I-1.4. Le riz.....	6
I-2. Structure des graines	7
I-3. Valeur nutritive et particularités d'utilisation	7
I-3.1. Le maïs.....	8
I-3.2. Le mil.....	9
I-3.2. Le sorgho	11
I-3.4. Le riz.....	12
I-4. Disponibilités et prix	13
I-4.1. Le maïs.....	13
I-4.2. Le sorgho et le mil.....	13
I-4.3. Le riz.....	14
II. LES SOUS-PRODUITS DES CEREALES	14
II-1 Technologies d'obtention	15
II-1.1. Le décorticage.....	15
II-1.2. La mouture	17
II-2. Les sous-produits obtenus	18
II-2.1. Les issues de riz	18
II-2.1.1. Le son vrai	18
II-2.1.2. Les farines basses	19
II-2.1.3. Les brisures	20
II-2.1.4. Le son grossier ou son fort	20
II-2.2. Les issues de blé.....	21
II-2.3. Les issues de mil et de sorgho	21
II-2.3.1. Les sons de mil.....	21
II-2.3.2. Le son de sorgho	22
II-2.4. Les issues de maïs	22
II-LES AUTRES PRODUITS AMYLACES ET DIVERS	24

III- 1 Présentation des cultures.....	25
III-1.1. Le manioc.....	25
III-1.2. Le niébé.....	25
III-2. Valeur nutritive et particularités d'utilisation.....	26
III-2.1 Le manioc.....	26
III-2.2. Le niébé.....	26
III-2.3. La patate douce.....	27
III-2.4. La mélasse de canne.....	27
III-3. Disponibilités et prix.....	27
<u>CHAPITRE 2 LES TOURTEAUX ET LES AUTRES SOURCES DE PROTEINES</u>	28
I. LES TOURTEAUX.....	28
I-1 Technologies d'obtention.....	28
I-1.1. Le processus artisanal.....	28
I-1.2. Le processus industriel.....	29
I-2. Le tourteau d'arachide.....	30
I-2.1. Valeur nutritive et particularités d'utilisation.....	30
I-2.2. Disponibilités et prix.....	31
I-3. Le tourteau de coton.....	31
I-3.1 Valeur nutritive et particularités d'utilisation.....	32
I-3.2. Disponibilités et prix.....	33
I-4. Les autres tourteaux.....	33
I-4.1 Le tourteau de sésame.....	33
I-4.2. Le tourteau de palmiste.....	34
II. LES AUTRES SOURCES DE PROTEINES.....	34
II-1 La farine de poisson.....	34
II-1.1 Technologies d'obtention.....	34
II-1.1.1. Le processus artisanal.....	34
II-1.1.2. Le processus industriel.....	35
II-1.2. Valeur nutritive et particularités d'utilisation.....	35
II-1.3. Disponibilités et prix.....	36
II-2 Les drèches.....	36
II-2.1 Les drèches de brasserie.....	36
II-2.2. Les drèches de tomates.....	36
<u>CHAPITRE 3 LES SOURCES DE MINERAUX ET LES ADDITIFS</u>	38
I- LES SOURCES DE MINERAUX.....	38
I-1 Les sources de calcium.....	38
I-2. Les sources de phosphore.....	39
II- LES ADDITIFS.....	40
CONCLUSION.....	41

Introduction	43
CHAPITRE I APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	44
I. LE REFERENTIEL SUR LES MATIERES PREMIERES.....	44
I-1 Sources de données	44
I-2. Les calculs effectués	44
II LA FORMULATION DES RATIONS ALIMENTAIRES	45
II-1. Rappels sur les besoins nutritionnels des volailles	45
II-1.1 LES BESOINS DU POULET DE CHAIR	46
II-1.1.1. Besoins énergétiques	46
II-1.1.2. Besoins protéiques.....	46
II-1.1.2.1 Besoins en protéines brutes (PB)	47
II-1.1.2.2. Besoins en acides aminés essentiels	47
II-1.1.3. Besoins phospho-calciques	47
II- 1.2.LES BESOINS DE LA POULE PONDEUSE.....	48
II-1.2.1. Besoins de la poulette en période d'élevage.....	48
II- 1.2.2. Besoins de la poule en ponte.....	49
II-2.4. Besoins en oligo-éléments, en vitamines et en pigments	51
Concentration énergétique (kcal EM/kg).....	52
2800	52
Protéines brutes	52
18,5	52
Lysine	52
0,93	52
Méthionine	52
0,41	52
Minéraux	52
Calcium.....	52
4	52
phosphore total	52
0,6	52
phosphore disponible	52
0,35	52
acide linoléique	52
1	52
xanthophilles totaux (p.p m)	52
30	52
II -2 Principes et méthodes de formulation	52
II - 2.1 Principes de formulation	53
II -2.2. Méthodes de formulation	54

II - 2. 2.1 La méthode statique	54
II - 2. 2.2. La méthode dynamique.....	55
CHAPITRE 2 TABLE DE COMPOSITION ANALYTIQUE DES MATIERES PREMIERES ET FORMULES ALIMENTAIRES.....	56
I- TABLE DE COMPOSITION ANALYTIQUE DES MATIERES PREMIERES.....	56
I-1 Céréales et autres produits amylacés	56
I-1.1. Le maïs.....	56
I-1.2. Les sous-produits du riz.....	57
I-1.3. Le mil.....	57
I-1.4. Les sorghos.....	58
I-1.5. Les issues de blé.....	58
I-1.6. Les graines de niébé.....	58
I-1.7. Le manioc.....	59
I-2. Tourteaux et autres sources de protéines	59
I-2.1. Tourteau d'arachide.....	59
I-2.2. Le tourteau de coton.....	60
I-2.3. Le tourteau palmiste.....	60
I-2.4. Les farines de poisson.....	60
I-3. Les autres matières premières et additifs.....	61
II. Formules alimentaires et utilisation des renseignements fournis par le logiciel.....	68
II-1. Formules alimentaires.....	68
II-2. Utilisation des renseignements fournis par le logiciel.....	79
Les renseignements fournis par l'ordinateur sont nombreux:.....	79
1) le coût matières de la formule.....	79
2) la composition centésimale (pourcentage des matières premières choisies) de la formule	79
3) les caractéristiques nutritionnelles de la formule (activité des différentes lignes de contraintes).	79
a) systématiquement:.....	79
b)accessoirement des analyses postoptimales:.....	79
CHAPITRE 3 LIMITES ET RECOMMANDATIONS.....	81
I- Sur les matières premières	81
I-1 Identification et nomenclature des matières premières	81
II- Sur la formulation	82
II-1 Identification et levée des contraintes de la formulation	82
CONCLUSION GENERALE	84
Bibliographie	87

INTRODUCTION GENERALE

La république du Sénégal, située entre 12°30' et 16°30' de latitude Nord et entre 11°30' et 17°30' de longitude Ouest, présente trois zones climatiques : une zone sahélienne au Nord, une zone soudanienne au Centre et une zone guinéenne au Sud. Sa superficie est de 196722 km², et la population est estimée à un peu plus de 8,5 millions d'habitants dont 38% environ vit en milieu urbain (DPS, 1997).

A l'instar de nombreux pays sahéliens, depuis les grandes sécheresses des années 70, le Sénégal tend à diversifier ses sources de protéines d'origine animale. Ainsi, l'aviculture, production hors sol bénéficiant d'avantages multiples, a connu un essor considérable.

L'importance de cet élevage sur le plan nutritionnel et socio-économique n'est plus à démontrer. En effet, dans les centres urbains, le poulet de chair sénégalais est devenu depuis 1995, la viande la moins chère sur le marché (PRODEC/CNA, 1998) d'où une nette évolution de la consommation quotidienne de cette viande tandis que l'aviculture traditionnelle participe à la satisfaction des besoins en protéines d'origine animale des populations rurales. Par ailleurs, sur le plan économique, les effectifs de volailles en zone rurale, ont été estimés en 1994 à environ 20 millions bien qu'il soit difficile d'évaluer avec certitude. Ainsi, tout en étant une activité secondaire, l'aviculture traditionnelle constitue une source de revenus non négligeable pour les familles rurales. La production nationale de viande de volaille industrielle est quant à elle plus facile à évaluer. Elle est estimée à 6737 tonnes de viande en 1997, représentant au niveau de la vente en détail, un chiffre d'affaires de l'ordre de 9,7 milliards de F CFA, tandis que la production nationale d'œufs est de 199 millions, et génère un chiffre d'affaires de 12,14 milliards de F CFA (PRODEC/CNA, 1998). Sur le plan social, la volaille intervient dans de nombreuses circonstances. Les fêtes familiales, naissances, baptêmes, mariages sont autant d'occasions de mise en valeur du poulet. Dans le monde rural, le poulet est également utilisé comme unité de troc.

Néanmoins, le développement futur de la production industrielle de volailles au Sénégal dépendra fortement de la disponibilité et de la parfaite connaissance de la valeur nutritive des matières premières dont on dispose en vue d'une valorisation optimale, eu égard à la part qu'occupe l'alimentation dans les coûts de production (50 à 70%). En

effet, seule une bonne maîtrise de la qualité des matières premières permet de les combiner, en tenant compte des impératifs physiologiques des volailles et des performances souhaitées, pour obtenir un aliment économiquement intéressant.

Le présent travail actualise, dans une première partie, les données sur la disponibilité, le coût et la qualité des matières premières utilisables en aviculture au Sénégal. Il débouche dans une deuxième partie à l'ébauche d'un référentiel qui revêt un intérêt pratique dans la formulation des rations.

PREMIERE PARTIE:
DONNEES
ACTUALISEES SUR LES
MATIERES
PREMIERES UTILISEES
EN AVICULTURE AU
SENEGAL

Introduction

Les matières premières sont définies comme étant des aliments simples constitués de produits végétaux et animaux à l'état naturel, frais ou conservé, et les dérivés de leurs transformations ainsi que les différentes substances organiques ou inorganiques, destinées telles quelles à l'alimentation animale par voie orale (ISN, 1986).

Contrairement aux pays occidentaux qui disposent de tables de composition publiques et privées alimentées par une masse considérable d'analyses, le Sénégal ne dispose à l'heure actuelle que de très peu de données relatives à la composition chimique de ses matières premières. Ainsi, pour les besoins de la formulation, les tables étrangères sont souvent utilisées avec toutes les conséquences sur l'imprécision des formules alimentaires et les performances zootechniques.

Dans cette partie, nous passerons en revue les sources d'énergie, de protéines et de minéraux disponibles au Sénégal.

CHAPITRE 1 **LES CEREALES ET LES AUTRES PRODUITS AMYLACES**

Ce groupe de matières premières constitue essentiellement une source d'énergie.

I. LES CEREALES

Les céréales peuvent représenter jusqu'à 60 à 70% des rations, d'où leur importance dans la formulation des aliments pour volailles. Au Sénégal, leur utilisation se heurte à deux contraintes majeures: d'une part la production locale est trop faible pour satisfaire le marché d'où la nécessité de les importer; d'autre part, la concurrence avec la consommation humaine est telle que les prix ne cessent d'augmenter.

I-1. Présentation des cultures

Au Sénégal, la culture céréalière se fait selon trois modes essentiels: la culture hivernale, la culture de contre-saison, et la culture de décrue. En 1997, les superficies réservées à ces cultures ont d'une manière générale augmenté par rapport à l'année précédente (DISA/DA, 1997).

I-1.1. Le maïs

Après le blé et le riz, le maïs (*Zea mays*) est la céréale la plus répandue dans le monde, et la céréale de choix pour l'alimentation aviaire.

Le maïs, de la famille des graminées, est une haute plante annuelle au système racinaire fibreux abondant (FAO, 1993). Dans les régions à saison de pluies monomodale, la durée du cycle végétatif est adaptée à la longueur de l'hivernage (90 jours), tandis qu'en zone soudano-guinéenne, ce cycle varie de 110 à 120 jours (Mémento de l'agronome, 1984).

Au Sénégal, le maïs est cultivé au Sud du bassin arachidier (Tambacounda) et en Casamance, zone soudano-guinéenne (FALL et al., 1989) et assez récemment dans la partie Nord du pays. Les variétés locales ZM10 à grains blancs et ZM19 à grains jaunes

ont servi de matériel de base pour les travaux de sélection qui ont conduit entre autres aux hybrides complexes; Jaune de Séfa et Blanc de Séfa qui ont été vulgarisés (**Mémento de l'agronome, 1984**). D'autres variétés cultivées figurent au tableau 1. Les résultats de la campagne agricole 1996/97 montrent que les aires réservées à la culture du maïs ont diminué de 13% par rapport à l'année précédente (**DISA/DA, 1997**).

I.1.2. Les sorghos

Les sorghos appartiennent à la famille des Poacées, tribu des *Andropogoneae*, genre *Sorghum*. La classification de Harlan et De Wet, reprise par **Chantereau et Nicou (1991)**, distingue cinq races principales: *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir* et *durra*.

Les principales variétés cultivées au Sénégal, décrites au tableau 3, sont produites en hivernage, en contre-saison froide ou en décrue. L'année 1996/97 a connu une hausse des aires de culture du sorgho de 2% par rapport à l'année précédente (**DISA/DA, 1997**).

I-1.3. Les mils

Les mils (mil, petit mil, mil à chandelle...), *Pennisetum sp* sont des graminées majeures de la culture alimentaire en zone soudano-sahélienne et soudanienne (**FALL et al., 1989**). Au Sénégal, ils sont cultivés sur l'ensemble du pays, mais restent étroitement subordonnés aux conditions climatiques (production hivernale uniquement). Les variétés présentes sont décrites au tableau 2. Notons qu'une ligne Thiès-Diourbel délimite l'aire de répartition des mils précoces (souna) au Nord et celle des mils tardifs (sanio) au Sud (**DORSEMAINE, 1968**). Selon la **DISA/DA (1997)**, les aires de culture du mil ont augmenté de 10% par rapport à l'année 1995/96.

I-1.4. Le riz

Le riz, *Oryza sativa*, est la céréale la plus cultivée dans le monde. Elle est surtout destinée à l'alimentation humaine. Au Sénégal, la production rizicole est assurée à 80% dans la vallée du fleuve et à 20% dans la région naturelle de Casamance

(FALL, 1989). Le tableau 4 regroupe les différentes variétés cultivées. Parmi celles-ci, les variétés JAYA et IKP sont les deux principales (LLORCA, 1995). Les variétés de riz sont souvent classées en riz précoces (jusqu'à 120 jours de cycle), riz de saison (aux environs de 160 jours) et riz tardifs (au delà de 170 jours) (Mémento de l'agronome, 1989). On y distingue une récolte hivernale (Novembre-Décembre) et une récolte de contre-saison chaude (Juillet-Août). Comme pour la plupart des céréales, en 1996/97 les aires de culture du riz ont connu une augmentation de 16% par rapport à l'année précédente (DA/DISA, 1997).

I-2. Structure des graines

Pour les botanistes, la graine de céréale est un caryopse; un grain unique contient à la fois le tégument séminal et la semence (figures 1). Ces figures font également ressortir les trois structures physiques principales du grain:

le péricarpe ou enveloppe dont l'épaisseur joue un rôle dans le décortilage des grains;

- le germe ou embryon;
- l'albumen ou endosperme qui comprend la couche de cellules à aleurone ou assise protéique riche également en sels minéraux, en vitamines du complexe B, et en matières grasses, et l'albumen proprement dit, composé de la couche sub-aleurone et de la substance interne amylacée. Dans la graine de sorgho, il peut exister entre le péricarpe et l'albumen la couche brune encore appelée testa. Sa présence ou son absence constitue une caractéristique variétale. Riche en composés tanniques, la testa paraît conférer des qualités de résistance aux moisissures aux graines qui en sont pourvues. Par contre, elle diminue leur digestibilité (FAO, 1993).

I-3. Valeur nutritive et particularités d'utilisation

Les données contenues dans ce paragraphe proviennent aussi bien des études portant sur les matières premières courantes d'origine sénégalaise ou autre

I-3.1. Le maïs

Au Sénégal, comme dans le monde en général, le maïs est la céréale de choix pour l'alimentation avicole. En effet, du fait de sa forte teneur en amidon (72 à 77% de MS) il est très digestible chez les volailles, et riche en énergie métabolisante (3700 à 3800 kcal/kg MS). En outre, il est peu cellulosique et bien apprécié. **ANSELME (1987), DETHIER (1987)** et **VLAS (1994)** indiquent que le maïs sénégalais contient peu de protéines (8 à 12% MS), et ses protéines présentent un profil en acides aminés très déséquilibré: déficience en lysine et en tryptophane, excès de méthionine (**LARBIER et LECLERCQ, 1992**). Comme la plupart des céréales, le maïs a une faible teneur en sodium en calcium (0,01% MS) et en phosphore disponible (0,06% MS) (**BRESSANI et al., 1990**).

On trouve la biotine en abondance dans le maïs, ainsi qu'un précurseur de la vitamine A, la cryptoxanthine. De plus, le maïs jaune, contenant en moyenne 17 mg de xantophylles/kg (**COMPÈRE cité par DETHIER, 1987**), permet une coloration du jaune d'œuf, de la graisse et de la peau des oiseaux tandis que le maïs blanc entraîne la décoloration du jaune d'œuf. L'incorporation de maïs jaune est limitée à 10% de la ration si on souhaite produire des poulets blancs.

Le maïs présente l'avantage d'être une céréale régulière dont la valeur énergétique varie assez peu d'année en année pour un lieu donné. Il en est de même pour sa bonne qualité protéique. De nouvelles variétés de maïs ont été sélectionnées pour leurs teneurs élevées en protéines et en lysine (Opaque-2, QMP...), mais ces dernières sont peu répandues et donc peu utilisées en aviculture (**FAO, 1993**). Une mauvaise conservation du maïs (forte humidité) entraîne la production de toxines telles que:

- l'achrotoxine A dont les teneurs, au delà de 1 p.p.m, ont pour effet l'altération nette de la vitesse de croissance du poulet de chair et une diminution spectaculaire du taux de ponte chez les poules pondeuses (**LARBIER et LECLERCQ, 1992**),

- la zéaralérone qui, est par contre très bien supportée par les oiseaux. En effet, des doses aussi fortes que 800 p.p.m sont sans effet ni chez le poulet de chair ni chez les pondeuses.

I-3.2. Le mil

Comme les autres céréales, le mil est essentiellement constitué d'amidon (67% MS). La teneur en protéines et en matières grasses du mil produit localement est assez variable avec une moyenne de MAT 11% MS, et de MG 5% MS pour les (**ITA, 1989**). Il est beaucoup plus riche en méthionine et en lysine que le maïs et le sorgho (**ANSELME, 1987**). L'une des caractéristiques de la composition du grain de mil est sa forte teneur en cendres. Il est également riche en phosphore. De même que le sorgho, le grain de mil complet est une source importante de vitamines B, qui sont surtout concentrées dans le son (**FAO, 1991**).

La valeur énergétique du mil est également voisine de celle du sorgho mais le rapport Ca/P est faible (**Mémento de l'agronome, 1984**). La valeur peut néanmoins être très variable d'une année à l'autre en fonction des conditions hivernales. Différents auteurs préconisent une incorporation libre, sans contrainte.

Tableau 1: Description des variétés de maïs cultivées au Sénégal

Nom de la variété	Cycle de maturation	Type et couleur du grain	Zones de culture
Synthétic C	90 jours	semi-denté à corné, blanc	Sud
QPM 1	90 jours	denté; blanc	
Camara 1 ou Jaune de Bambey (JDB)	81 à 90 jours	semi-denté; blanc	Centre-Sud et Sud
Hybride Variétal de Bambey 1 (HVB 1)	90 à 100 jours	semi-denté; blanc	Régions de Kolda, Kaolack, Fatick Ziguinchor et Tambacounda
Blanc de Séfa III (BDS III)	85 à 90 jours	semi-denté; blanc	
MAKA	80 à 85 jours	corné; jaune	Vallée du Fleuve Sénégal Centre-Sud
Composite précoce 75 (CP 75)	75 jours	corné; jaune	Centre-Nord
JEKA	90 à 95	corné; jaune	400 à 1000 mm
Accross 77-28	90 à 100 jours	denté; jaune	Centre et Sud
Early Thai	85 à 90 jours	denté-corné; jaune	Vallée du Fleuve Sénégal
Pool 16 GOUSSOU	80 à 85 jours	denté; blanc	Sine-Saloum, Casamance, Sénégal Oriental

source MDRH DA 'DS. 1990

Tableau 2 : Description des principales variétés de mil du Sénégal

Nom de la variété	Cycle de maturation (jours)	Couleur du grain	Zones de culture
Souna III	85 à 95	jaune clair	Sud des régions de Thiès, Kaolack et région de Tambacounda
IBV 8001	75 à 85	Jaune clair	Région de Diourdel, le Centre de Thiès, le Nord de Fatick et Kaolack
IBV 8004	75 à 85	Jaune clair	Sud de Louga et Diourbel, Centre de Thiès, Nord de Gossas
IBMV 8401	85 à 95	Jaune gris	voir Souna III
Sanio	150	Jaune gris	Sud de la ligne Thiès-Diourbel

source : MDRH / DA / DS, 1990

Figure 1: Structures des grains de céréales

I-3.2. Le sorgho

Proche du maïs du point de vue phylogénique, le sorgho lui ressemble aussi pour la composition chimique et la valeur nutritionnelle. Il est riche en énergie métabolisable (3430 à 3620 kcal/kg MS; (DETHIER, 1987 ; DE POW WILEM, 1996) à cause de sa teneur en amidon (70% MS) et de la présence non négligeable de matières grasses (3,6% MS) (HUBBARD et al., 1950). Un peu moins pauvre en protéines (12,3% MS), il n'en possède pas moins les mêmes déséquilibres (LARBIER et LECLERCQ, 1992). Enfin comme pour le maïs, la disponibilité du phosphore est faible (0,34% MS du PT. contre 0,05% MS du P. disponible) (Mémento de l'agronome, 1984).

Le principal problème des sorghos réside dans la variabilité de leur teneur en tanins (0,2% à 3% MS) (IEMVT, 1989) qui exercent un effet négatif sur la digestibilité des protéines et de l'amidon. Ainsi, certaines variétés de sorghos à haute teneur en tanins entraînent une réduction de la croissance des poulets. FULL et al., cités par GUALTIERI et RAPACCINI (1990) ont en effet montré que, lorsque la teneur en tanins du sorgho passe de 0,02 à 0,2%, son énergie métabolisable diminue de 3516 à 2617 Kcal/Kg MS. Il est donc nécessaire de limiter les incorporations de sorgho riche en tanins (>1%). Ainsi, DIENG (1998) préconise un taux de 30 à 35% pour le sorgho rouge.

Tableau 3 : Description des principales variétés de sorgho du Sénégal

Nom de la variété et type botanique	Cycle de maturation (jours)	Caractéristiques du grain: couleur; couche brune	Zones de culture
IRAT 204 (<i>caudatum</i>)	90	blanc; absente	300 à 800 mm
CE 90 (<i>caudatum</i>)	100	blanc ivoiré; absente	500 à 700 mm
SSV 5 (<i>caudatum</i>)	100 à 110	jaune; absente	600 à 800 mm
F2-20 (<i>caudatum</i>)	90 à 100	ivoire; absente	600 à 800 mm
Bassi (<i>guinea</i>)	140	couleur variable	Sine-Saloum
Sanguirane (<i>guinea</i>)	100 à 110	couleur variable	Région de Pout
Fellah (<i>guinea</i>)	110	couleur variable	Sud du Bassin arachidier
CE 62	90 à 100	couleur variable	650 à 700 mm
SH 60			750 à 800 mm
51-69			Sine-Saloum

source MDRH / DA / DS, 1990

I-3.4. Le riz

Le riz paddy, comme le riz cargo et le riz poli, est pauvre en protéines (moins de 10% MS) (LARBIER et LECLERCQ, 1992). L'usinage entraînerait une perte de protéines mais également de principes minéraux. L'amidon est la principale composante du riz (90% MS). Cela fait du riz une matière riche en énergie (3160 kcal/kg MS). De plus, le décorticage et le polissage élèvent sa valeur énergétique de près de 600 kcal/kg de MS (FAO, 1994).

Le riz contient des vitamines du groupe B qui sont concentrées dans les couches de son tout comme la vitamine E.

A part l'absence de xanthophylles, le riz ne présente aucun défaut majeur et ne fait donc l'objet d'aucune limitation d'emploi en alimentation avicole (LARBIER et LECLERCQ, 1992).

Tableau 4 : Description des variétés de riz cultivées au Sénégal

Variété	Cycle de maturation (jours)	Type de culture	Caractéristiques du caryopse	Zones de culture
JAYA	120 à 140	irrigué	L: 7 mm l: 2,2 mm	Vallée du Fleuve et Casamance
I Kong Pao	110 hivernage 155 contre-saison	irrigué et pluvial assisté de nappe	L: 5 mm l: 2,9 mm	Fleuve Sénégal Kédougou, Vallée Anombé, Casamance Tambacounda
IR 1529-680	125 à 130	irrigué	L: 7 mm l: 2,9 mm	Vallée du Fleuve Sénégal Oriental, Casamance
IR 8 (2883)	125 hivernage 145 contre-saison	irrigué	L: 6,2 mm l: 2,9 mm	Vallée du Fleuve Casamance
DJ 684 D	120	irrigué	L: 6,5 mm l: 2,1 mm	Vallée du Fleuve Casamance
IRAT 10	100	pluvial	L: 5,9 mm l: 3,1 mm	Casamance Sénégal Oriental, Vallée du Fleuve
KH 998	120 hivernage 134 contre-saison	irrigué		Vallée du Fleuve
IR 442	125	Irrigué et submersion profonde	L: 6,8 mm l: 2,5 mm	Vallée du Fleuve Basse Casamance zones irriguées de Haute Casamance
Kwang She Shung	105	irrigué		Vallée du Fleuve
DJ 12-519	105 contre-saison			Sud

source : MDRH / DA / DS, 1990

I-4. Disponibilités et prix

Aussi bien en terme de disponibilités que de prix, les valeurs sont très fluctuantes dans le temps et dans l'espace.

I-4.1. Le maïs

En 1997, la quantité de maïs disponible au Sénégal a été estimée à 107.546 tonnes dont 88.634 tonnes produites localement contre 106.509 tonnes en 1996, soit une baisse de 9,15% et 18.912 tonnes importées. Cette production nationale est inégalement répartie dans les dix régions comme l'indique le tableau 5a.

Les prix au producteur ont varié en 1998 d'un minimum de 135 FCFA/Kg en Mars à un maximum de 165 F CFA/kg en Juillet, tandis que les prix au détail relevés variaient de 170 F CFA/kg (au mois de Février) à 193 FCFA/kg (Août-Septembre) (CSA, 1998)

I-4. 2. Le sorgho et le mil

La production de sorgho au Sénégal a été de 133.009 tonnes en 1997 (tableau 5a) contre 127.328 tonnes, soit une augmentation de 2,18% par rapport à l'année précédente, due essentiellement à l'augmentation des superficies de culture (2%) et à celle des rendements (4%).

En ce qui concerne le mil, les disponibilités en 1996-1997 sont estimées à 601.359 tonnes (tableau 5a) contre une production de 666.805 tonnes en 1995-1996, soit une diminution de 5,16% due à la baisse des rendements causée par les pauses pluviométriques observées durant les mois de Juillet et d'Août 1996, et à l'étalement des semis (DISA/DA, 1997).

Les prix au producteur du mil en 1998 ont varié d'un minimum de 128 F CFA/kg en Mars à un maximum de 181 F CFA/kg en Août, tandis que ceux du sorgho allaient de 120 F CFA/kg (Février) à 209 F CFA/kg (Août). Quant aux prix au détail, ils varient

pour le mil de 156 F CFA/kg (Février) à 209 F CFA/kg et de 147 F CFA/kg (Février) à 200 F CFA/kg (Août-Septembre) pour le sorgho (CSA, 1998).

Tableau 5a: Production agricole nationale 1996/97 (tonnes)

Régions	Dakar	Diourbel	Fatick	Kaolack	Kolda	Louga	St louis	Tambacounda	Thiès	Ziguinchor	Total
mil	78	41201	91848	269066	40678	55277	2259	26364	65426	8962	601359
sorgho	184	569	3522	57371	20378	...	10863	33054	3053	1793	133009
maïs	134	...	1720	40431	20178	...	715	23664	...	1792	88634
arach.huile	929	22735	66221	255664	63105	72956	3008	48136	41302	14126	588181
coton	...	...	...	21207	21207	...	...	137449	...	...	38399
graines											
niébé	63	3454	1148	194	194	9216	1460	696	2064	538	20626
manioc	...	...	...	495	2578	...	1152	..	30240	2520	36985
sésame	...	...	...	877	1446	...	...	...	...	176	2499
riz	...	...	1822	4664	30659	...	87615	3150	...	20870	148780

source: DISA/DA 1997

I-4.3. Le riz

Les disponibilités en riz paddy ont été estimées à 149.280 tonnes dont 148.780 tonnes issues de la production nationale et 500 tonnes importées. Le riz local a été vendu en 1998 à un minimum de 175 F CFA/Kg et un maximum de 200 F CFA/kg.

II. LES SOUS-PRODUITS DES CEREALES

Lors d'une activité agricole ou industrielle, on obtient à coté du produit final (ou produit principal), d'autres matières valorisables directement ou après traitement (ce sont des sous-produits) et des matières qui sont rejetées car considérées comme déchets. Mais selon **LADRAT** (1977), la différence entre sous-produits et déchets est loin d'être tranchée puisqu'un déchet n'est autre chose qu'un sous-produit auquel on n'a pas encore trouvé d'utilisation rentable. Ainsi, selon **FERRANDO** (1984), en agriculture il n'y a pas de sous-produits, il n'y a que des matières premières.

II-1. Technologies d'obtention

Les issues de céréales sont obtenues après deux grands traitements technologiques:

- le décortilage qui désolidarise l'ensemble des enveloppes (glumes, glumelles, et péricarpe...) de l'amande (albumen). Selon la structure de la graine et la force du décortilage, tout ou partie du germe peut être éliminé;

- le concassage ou mouture de l'amande.

Pour le riz, le décortilage est suivi généralement d'un polissage ou blanchiment. Le second traitement (la mouture) est rarement pratiqué sur le riz (**SAUTIER et O'DEYE, 1989**). Pour chaque traitement, nous passerons en revue les différentes technologies utilisées.

II-1.1. Le décortilage

La technologie peut être traditionnelle (ou familiale), artisanale (ou intermédiaire), ou industrielle.

La technologie traditionnelle (familiale) utilise le mortier et le pilon, on parle de pilage ou pilonnage. La séparation des issues se fait dans ce cas par vannage contre le vent. Le rendement horaire moyen a été calculé au Sénégal. Il varie de 9,3 à 13 kg/heure/femme (**VANECK cité par DMA, 1984**). En somme, quelque soit la céréale locale considérée, les techniques traditionnelle de décortilage sont longues et pénibles.

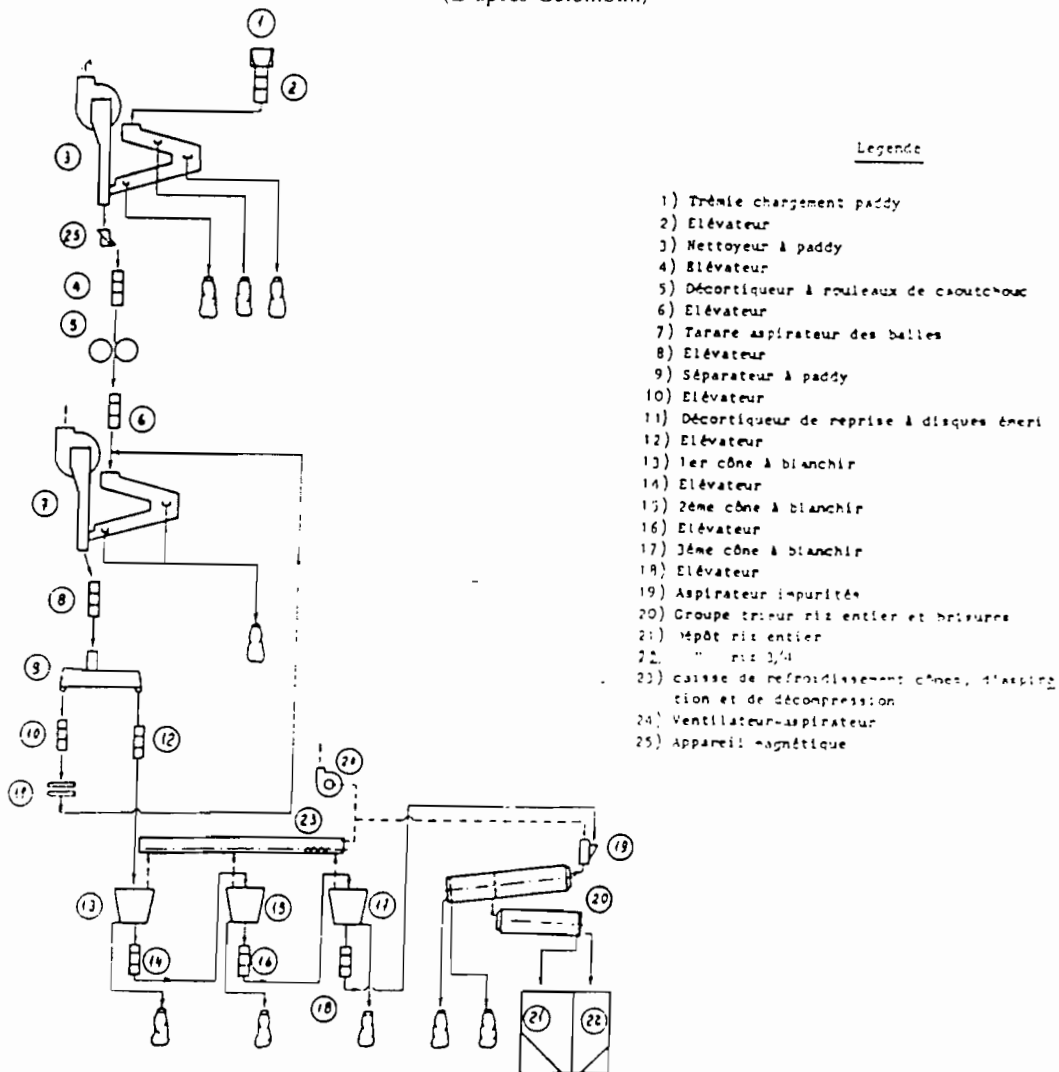
La technologie artisanale (intermédiaire) utilise une décortiqueuse mécanique ou moulin villageois. La SISMAR, unique fabrique industrielle de décortiqueuse à mil, à maïs et à riz au Sénégal est située à Pout, sur la route de Thiès. Les autres fabricants sont des artisans. Il existe quatre modèles de décortiqueuses à mil, à sorgho ou à maïs fondées sur le même principe: la décortiqueuse à meules, la decortiqueuse à rouleaux de caoutchouc avec une variante dite décortiqueuse-polisseuse à cylindre d'acier ou type Engelberg et ladécortiqueuse centrifuge, alors qu'un seul type semble exister pour le riz (type Engelberg). Tous ces modèles ont subi une multitude de transformations et d'adaptations technologiques locales. Le maïs est décortiqué de façon semi-industrielle

dans les minoteries installées par la SODEFITEX. Les décortiqueuses sont des moulins à disques (SAUTIER et O'DEYE, 1989; LLORCA, 1995).

Au Sénégal, seul le riz est décortiqué de façon industrielle. La figure 2 montre les différentes étapes du décortiquage et du blanchiment industriels. Lorsqu'ils sont effectués à l'aide de matériel en bon état et bien réglé, on obtient du riz de consommation avec de meilleurs rendements qu'avec le décortiquage artisanal. De plus, les issues de riz du secteur industriel sont mieux standardisées et de meilleure qualité que celles du secteur artisanal (MONGODIN et al., 1979).

Figure 2: Diagramme d'usinage du paddy en rizerie industrielle

Figure n° 9 - Diagramme d'usinage du Paddy en rizerie, type detached (D'après Colombini)



II-1.2. La mouture

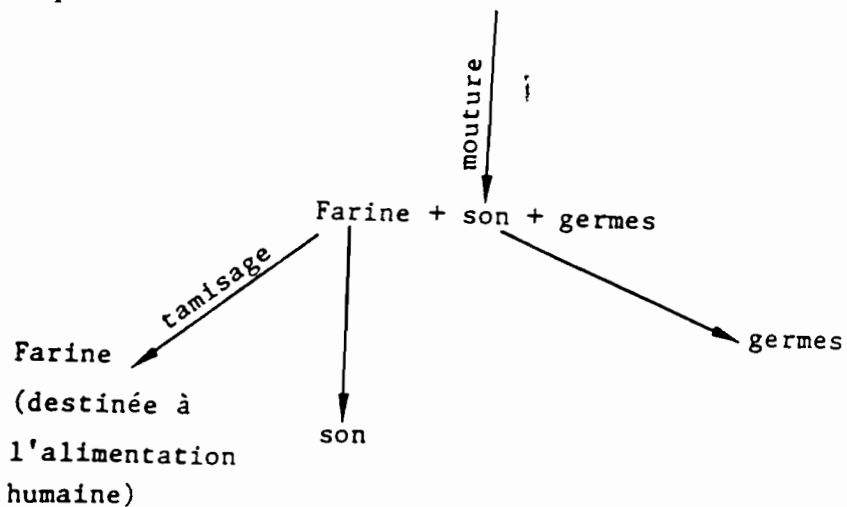
Quelle soit traditionnelle avec le pilage au mortier, intermédiaire grâce à des moulins motorisés, ou industrielle, la mouture peut être effectuée par voie sèche ou par voie humide.

Actuellement, la mouture sèche fait surtout suite au décorticage par voie humide, en intercalant une étape intermédiaire de séchage entre les deux opérations (SAUTIER et O'DEYE, 1989). LE GRAND (1989) a précisé à la figure 3a les grandes étapes de cette mouture sèche.

Afin de tirer des céréales le maximum de produits ayant chacun une destination propre, un nouveau traitement, la mouture humide, effectuée après trempage du grain, a vu le jour.

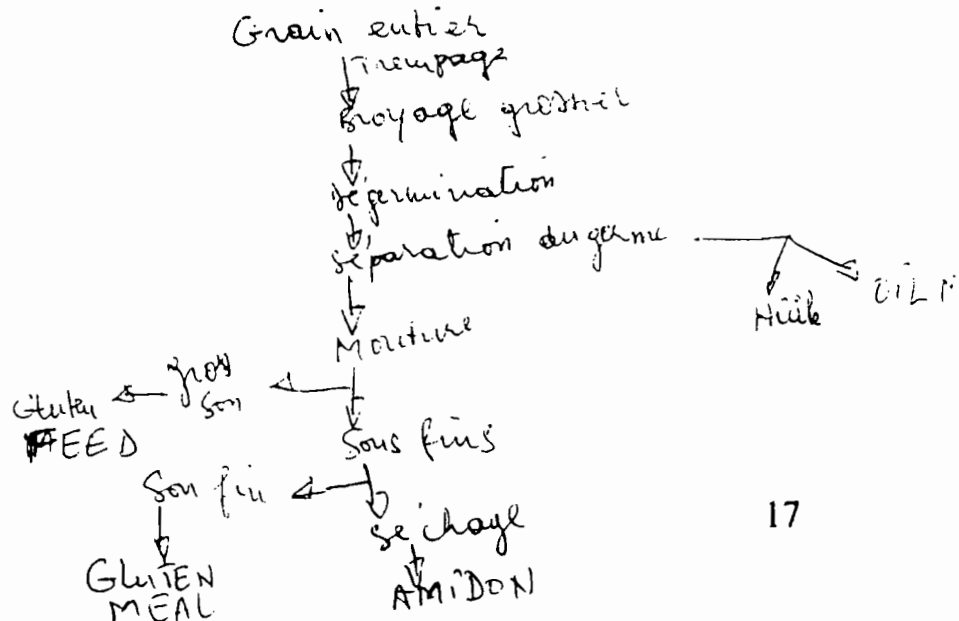
Les issues sont sélectionnées dans le but d'obtenir toute une gamme d'aliments de caractéristiques et d'emplois variés. SELEY cité par ADRIAN et JACQUOT (1964) a expliqué les différentes opérations de la mouture humide (la figure 3b).

Figure 3a: Etapes de la mouture sèche Grain entier



(source: LE GRAND, 1989)

Figure 3b: Etapes de la mouture humide



(source: ADRIAN, JACQUOT, 1964)

II-2. Les sous-produits obtenus

Selon qu'il s'agit d'une technologie traditionnelle, artisanale, ou d'une technologie industrielle, la transformation des céréales et la séparation des différentes issues sont plus ou moins complètes et parfaites. La technologie industrielle permet une transformation complète et une séparation parfaite des issues, tandis que les technologies traditionnelle et artisanale livrent un mélange d'issues. Tout cela a des répercussions sur la composition chimique et par conséquent la valeur nutritive des matières premières.

II-2.1. Les issues de riz

La transformation du riz paddy laisse 30 à 40 % d'issues et de déchets divers. Selon la technologie utilisée, les sous-produits obtenus seront différents. Une grande confusion est observée au Sénégal sur la dénomination "son de riz". Nous pensons pouvoir simplifier le vocabulaire comme indiqué sur la figure 4.

En alimentation aviaire, hormis les balles, le reste des sous-produits du riz peuvent plus ou moins être utilisés.

II-2.1.1. Le son vrai

Il s'agit du son obtenu par tamisage ou vannage des résidus de décorticage qui sont ainsi débarrassés des balles. On lui donne encore le nom de farine basse de riz cargo.

Le son de riz est riche en matières grasses (14 à 18 % MS: **GÖHL, 1982**) et représente un bonne source de vitamines du groupe B tout comme le grain entier. Sa teneur en protéines se situe aux environs de 12,4 % MB (**INRA, 1988**). Il présente un taux élevé en extractif non azoté (ENA), constitué essentiellement par l'amidon (**MONGODIN et RIVIERE , 1965 ; MAHATAB et al., 1985**).

Le son est très utilisé en alimentation avicole en substitution du maïs dans beaucoup de pays en voie de développement(**PILIANG,1982 ; HAMID, 1987**).

D'une manière générale, les sons de céréales, du fait de leur faible valeur alimentaire ne doivent être incorporés qu'à des taux très faibles (7 à 12%) pour ne pas déprécier la qualité des formules.

LLORCA (1995) signale qu'au Sénégal, seulement 15,5% de la production nationale de riz paddy est traitée par le secteur industriel le reste étant réservé au secteur artisanal (tableau 5c). Les quantités disponibles de son vrai représentant 10% du riz usiné, sont estimées en 1997 à 2356,09 tonnes, pour un prix variant entre 40 et 80 F CFA/kg en fonction de la période. Les prix les plus élevés étant observés durant la période précédant les récoltes.

II-2.1.2. Les farines basses

Les farines basses produites au niveau des cônes à blanchir présentent des variations qualitatives considérables.

Comme les sons, les farines basses sont très difficiles à conserver car elles contiennent un taux de matières grasses élevé (14,3% MS; **WIDYOBROTO, 1989**), favorisant des réactions d'oxydation qui diminuent les performances des poulets. Cette forte teneur en matières grasses et en amidon, de même que le faible taux de cellulose (8% maximum) et de cendres (<10%) confèrent aux farines basses une valeur énergétique (3060 kcal/kg MS; **LLORCA, 1995**) supérieure à celle des sons, et comparable à celle du mil ou du maïs légèrement déprécié. Leur taux de protéines peut atteindre 12% MS. Ces protéines sont riches en tryptophane, en cystine (**ANGLADETTE, 1965**) et en vitamines, en particulier, en thiamine et en niacine (**PICCIONI, 1965**).

Du fait de leur rancissement rapide, il est conseillé en pratique d'utiliser les farines basses au plus tard 6 semaines après leur production. Par ailleurs, produit très collant, poussiéreux et difficile à granuler, les farines basses sont incorporées à des taux ne dépassant pas 30%.

Lors du traitement industriel du riz, les farines basses représentent 7,5% du paddy (tableau 5d). En 1997, les quantités de farines produites ont été de 1767,07 tonnes pour un prix de 50 à 60 F CFA/kg.

II-2.1.3. Les brisures

Les brisures sont séparées du riz entier par tamisage. Leur composition varie selon leur degré de blanchiment et leur origine (riz cargo, riz blanchi ou riz étuvé). Elles sont peu ou presque pas utilisées pour l'alimentation des volailles au Sénégal car mélangées au riz entier pour donner des riz de qualité inférieure destiné à l'alimentation humaine. Elles sont très énergétiques (3655 kcal/kg MS; **WIDYOBROTO, 1989**) et très appréciées par les oiseaux car pauvres en fibres.

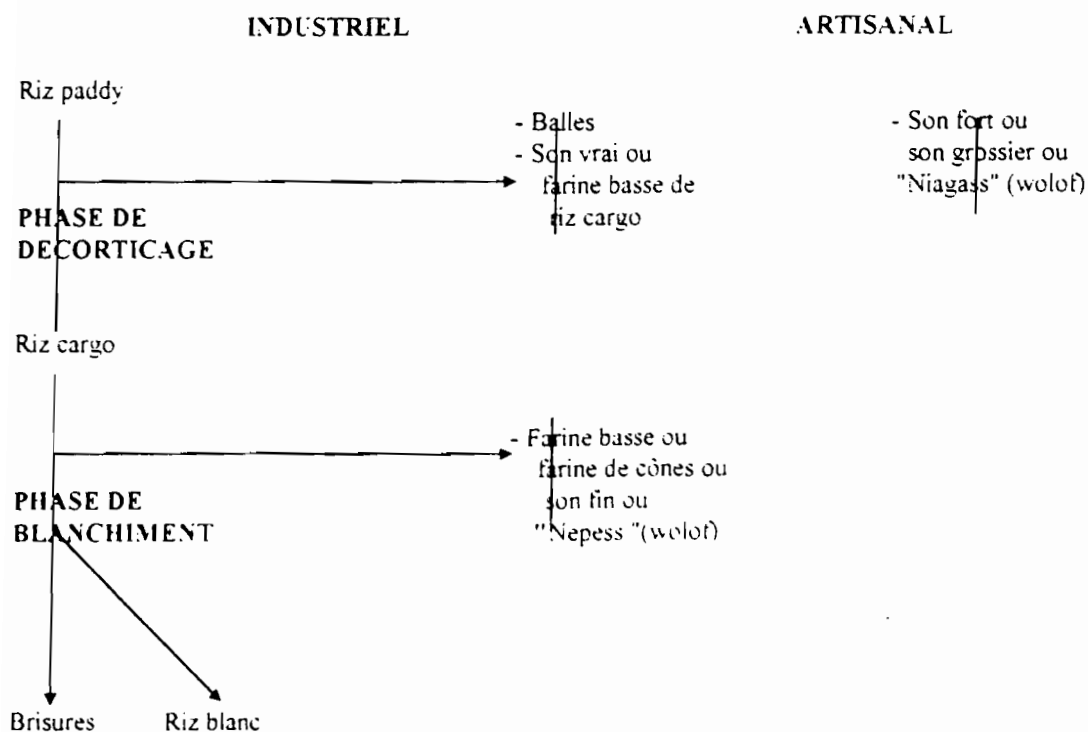
II-2.1.4. Le son grossier ou son fort

Le décorticage artisanal donne des sous-produits auxquels on attribue le nom de son grossier ou «niagass» (wolof) correspondant à un mélange de balles, de sons et de brisures représentant 30% du riz entier.

De faible valeur alimentaire, trop riche en cellulose et en silice, ce son ne peut être intégré dans les formules qu'en quantité très modérée.

En 1997, le secteur artisanal a fourni environ 37715,73 tonnes de son fort. Lorsque celui-ci est vendu, il coûte en fonction de la période et de la zone 30 à 80 FCFA/Kg. Les prix sont plus bas durant la période qui succède les récoltes, et dans les zones de culture du riz.

Figure 4 Les sous-produits du riz



II-2.2. Les issues de blé

Le blé au Sénégal est une céréale exclusivement importée et destinée à l'alimentation humaine. Seuls les sous-produits de sa transformation sont utilisés comme matière première dans l'alimentation animale.

Le disponible en issues fait 21% du blé usiné; il s'agit de sons (13%), soit 28782 tonnes en 1997 et des remoulages (8%), soit 17712 tonnes en 1997. Les sons se subdivisent en gros son et en son fin. Ces issues sont le plus souvent utilisées par les moulins producteurs dans la fabrication des aliments de bétail qu'ils commercialisent.

La composition et la valeur nutritive des issues de blé varient selon leur nature et leur origine (**DJOUDEITINGAR, 1993**). Ainsi, le gros son, presque exclusivement constitué de l'enveloppe externe du grain, est très riche en fibres, ce qui limite sa valeur pour l'alimentation de la volaille. Quant au son fin, il est peu énergétique et ne doit être utilisé qu'en présence de matières premières très riches en énergie. Les issues de blé sont de qualité moyenne en matières protéiques, et ont une teneur élevée en phosphore et faible en calcium. Elles sont par ailleurs riches en vitamines B.

Selon **FAYE (1981)**, le taux maximal d'incorporation de ces issues est de 25% de la ration. Il faut les compléter par des tourteaux et farines animales du fait de leur faible teneur en protéines et de la médiocre qualité de celles-ci (déficience en lysine et en tryptophane). Leur stockage doit être de courte durée pour éviter le rancissement.

II-2.3. Les issues de mil et de sorgho

Ce sont les sons de mil et de sorgho provenant des minoteries traditionnelles mais également d'origine industrielle. Ils sont tous exposés au rancissement du fait de leur richesse en lipides.

II-2.3.1. Les sons de mil

D'après les travaux de **LE GRAND (1989)** confirmés par **LLORCA (1995)**, le son de mil artisanal sénégalais obtenu par pilonnage du mil humidifié et séché en couches minces à l'air et à l'ombre titre en moyenne 14% MS de protéines, 5,8% MS

de cellulose brute et 8,8% MS de matières grasses. C'est un aliment pauvre en calcium et en phosphore. Par contre il est très énergétique (4566 kcal/kg MS).

Les mêmes auteurs signalent que le son de mil industriel obtenu après le premier passage du mil dans les rouleaux, a une teneur en protéines légèrement inférieure à celle du son artisanal. De même, son taux de matières grasses se situe aux environs de 8% MS.

Au Sénégal à l'heure actuelle, seulement 0,3% du mil produit est soumis à un traitement industriel, le reste étant destiné au secteur artisanal (LLORCA, 1995). Or, le traitement industriel du mil donne 15,6% de son (ITA, 1989) tandis que le secteur artisanal en produit 27,8% (tableau 5d). Cela représente en 1997 environ 281,8 tonnes de son industriel contre 166676,3 tonnes de son artisanal.

Le son de mil issu des moulins coûte entre 20 et 50 F CFA/kg.

II-2.3.2. Le son de sorgho

LE GRAND (1989) indique des taux de 11% MS de matières protéiques; 2,8% MS de lipides pour le son artisanal. Ce son est pauvre en calcium et en phosphore. Il titre en moyenne 1975 kcal/kg MS. Cette teneur en énergie est inférieure à celle des sons de maïs et mil artisanaux.

Le pourcentage et les prix du son de mil artisanal sont aussi applicables ici. Cela donne une production de 3685,6 tonnes en 1997 au Sénégal.

II-2.4. Les issues de maïs

Il s'agit essentiellement de sons. Ainsi, LLORCA (1995) montre que le son traditionnel produit au Sénégal, mélange de son vrai et de fractions de germe (riche en lipides et protéines) et d'albumen (riche en amidon), contient en moyenne 6,5% CB, 10,5% MAT, 11% MG, tandis que son énergie métabolisable est de 3115 kcal/kg MS.

Quant au son semi-industriel, par rapport au précédent, il apparaît selon LE GRAND (1989) plus riche en CB (17,5% MS) mais plus pauvre en MAT (6,5% MS), en MG (2,5% MS) et en énergie métabolisable (1275 kcal/kg MS). Ces écarts étant dus à une amélioration de la séparation des issues dans le second cas.

LLORCA (1995) signale par ailleurs que seulement 0,2% de la production nationale de maïs subit un traitement semi-industriel, soit 177,27 tonnes en 1997 (tableau 5^e), représentant environ 26,6 tonnes de son. Le maïs utilisé dans le secteur artisanal représente un potentiel de 15.922,21 tonnes de son.

Le son de maïs issu des moulins est vendu à un prix variant de 10 à 60 F CFA/kg.

Tableau 5b: Disponibilités en produits en 1997 (tonnes) et leurs prix en 1998 au Sénégal

Produits	Production Nationale	Apports extérieurs	Total	Prix (FCFA/kg)
mil	601359	0	601359	
sorgho	133009	0	133009	
maïs	88634	18912	107546	
arah.huilerie	588181	0	588181	
niébé	38399	0	38399	
graine de coton (63%)	24191,37	0	24191,37	
riz paddy	148780	500	149280	
manioc	36985	0	36295	
blé	0	221400	221400	

sources: DISA/DA 1997; CSA, 1998

Tableau 5c: Répartition des transformations par secteur (en %)

Produits	Secteur industriel	Secteur artisanal
riz	15,5	84,5
maïs	0,2	99,8
mil	0,3	99,7
arachide		
marché loc.	4,2e	65,98

source: LLORCA, 1995

**Tableau 5d: Rendements de la transformation
(en %)**

Sous produits	Secteur industriel	Secteur artisanal
far basse riz	7,5*	...
son vrai de riz	10*	...
brisures	20*	...
son fort de riz	...	30*
son de maïs	15*	18*
son de mil	15,6**	27,8*
son de sorgho	15,6**	47,5*
tourteau arach.	42*	...
tourteau coton	47***	...
sons de blé	13****	...
remoulages	8****	...

sources: * LLORCA, 1995

** ITA, 1989

*** DIENG, 1984

**** FAYE, 1981

Tableau 5e Disponibilités en sous-produits en 1997(en tonnes) et leurs prix en 1998

Sous produits	Secteur industriel	Secteur artisanal	Total	Prix (FCFA/Kg) *
Far.basse riz	1767,07	/	1767,07	60
son vrai de riz	2356,09	/	2356,09	60
brisures	4712,18	/	4712,18	35
son fort de riz		37715,73	37715,73	80
son de maïs	26,6	15922,21	15948,81	35
son de mil	281,5	1666676,3	1666957,8	50
son de sorgho	62,25	36865,6	36927,85	40
tourteau arach.	15069,2	303766,1	318835,3	130
tourteau coton	11370	0	11370	110
sons de blé	28782	0	28782	60
remoulage blé	17712	0	17712	
farine poisson**	3200	...		295

sources: * CSA, 1998

** communication personnelle

III-LES AUTRES PRODUITS AMYLACES ET DIVERS

Hormis les céréales et leurs issues de transformation, d'autres matières premières peuvent être utilisées comme source énergétique. Le présent paragraphe décrit les dites matières.

III- 1. Présentation des cultures

III-1.1. Le manioc

Le manioc, *Manihot esculenta*, est une plante de culture qui pousse bien, même dans des conditions pédologiques médiocres.

Au Sénégal, la production est assurée par les régions de Thiès, de Kolda, de Ziguinchor, de Kaolack et de Dakar. Celle-ci a été de 36.925 tonnes en 1997 contre 55.515 tonnes en 1996 soit une baisse de 20% faisant suite à la diminution observée au niveau des rendements (17%) (DISA/DA, 1997).

III-1.2. Le niébé

Le niébé, *Vigna unguiculata*, est une légumineuse originaire de l'Asie. Au Sénégal, sur le bord du fleuve (en culture de décrue), on trouve des variétés hâtives, et dans le Sud du pays, des variétés tardives. Le tableau 6 résume les variétés existantes, parmi lesquelles le Mougne, le Ndiambour, le 58-57 et le B21 constituent les principales (Mémento de l'agronome, 1984).

Tableau 6 : Description des principales variétés de niébé cultivées au Sénégal

Variétés	cycle à 50 % de floraison (jours)	Couleur des grains	Zones de culture
Mougne	47 à 50	ponctuée de gris bleu sur fond crème; hile blanc; aspect rugueux	Nord et Centre-Nord
58-57	44	blanc; hileblanc bordé de noir; aspect lisse	Nord bassin du Fleuve et Delta, Centre
Ndiambour	44	crème avec œil beige	Centre des zones de Louga, Kébémér et Bambey
Bambey 21 (B 21)	41	crème	Centre-Nord
TN 88-63	50 à 55	blanc à hile noir	301 à 1000 mm

source MDRH DA/DS, 1990

III-2. Valeur nutritive et particularités d'utilisation

III-2.1. Le manioc

Très pauvre en protéines (2 à 4% MS), le manioc est un aliment essentiellement énergétique, et riche en amidon. Les racines fraîches contiennent environ 60% d'humidité et ne peuvent être incorporées qu'après dessiccation. Par ailleurs, certains maniocs, dits amers, contiennent de l'acide cyanhydrique néfaste pour les oiseaux dont ils peuvent être débarrassés par une dessiccation prolongée ou une macération dans l'eau suivie d'une dessiccation. Un meilleur rendement est obtenu en découpant au préalable les racines en petites rondelles (IEMVT, 1983).

La farine de manioc étant très hygroscopique, colle au bec des volailles et gêne l'ingestion. On a recours à la granulation pour éviter ce problème et améliorer ainsi le niveau d'incorporation qui se situe dès lors à 20% pour les poulets de chair (INRA, 1984) et à 15% chez la poule pondeuse (PROTECTOR, 1978).

III-2.2. Le niébé

L'utilisation des graines de niébé dans l'alimentation des volailles est mal connue et limitée. Pourtant sa teneur en protéines (22% MS) est équivalente à celle du pois et de la fève, et la répartition des acides aminés est comparable à celle du soja. Les matières azotées des graines crues sont moins bien digérées que celles des graines cuites. En effet, la pellicule des graines contient des facteurs anti-trypsiques, détruits par la chaleur (IEMVT, 1983). L'ITA (1989) indique des valeurs de 0,0098 à 0,1191 mg/g MB de facteurs antitrypsiques dans la variété de niébé CB-5 cuites.

DIENG (1998) signale que la substitution partielle des céréales par le niébé s'avère bénéfique jusqu'au taux de 30%; l'indice de consommation et l'ingestion de nourriture étant inchangés par rapport au témoin. En raison de sa teneur moyenne en protéines, le niébé n'est guère très adapté à l'alimentation des jeunes volailles en période de démarrage, et on préférera le donner aux poules pondeuses (DETHIER, 1987).

III-2.3. La patate douce

La patate douce est également riche en amidon et en sucres, ce qui lui permet de constituer un bon apport énergétique pour les volailles, malgré sa pauvreté relative en protéines (elle en est néanmoins beaucoup plus riche que le manioc). Le problème de l'empatement du bec chez la volaille est souvent signalé comme cause de limitation du taux d'incorporation à 20-25% (**DIENG, 1998**). Toutefois, cette anomalie peut être levée avec le procédé de granulation.

III-2.4. La mélasse de canne

La mélasse de canne ne peut être utilisée qu'à de faibles doses (5 à 10% ; **EMVT, 1983**) pour rehausser le niveau énergétique des rations. Sa teneur en protéines quasi nulle et son caractère diurétique (diarrhées) sont à l'origine des limites d'incorporation assez sévères (2% pour les poulets de chair; 3% pour les poulettes et 4% pour les pondeuses).

III-3. Disponibilités et prix

La production nationale de niébé en 1997 s'élève à 20.626 tonnes contre 41.911 tonnes l'année précédente. Cette baisse est essentiellement due à une chute des rendements de 46% (DISA/DA, 1997). Les prix relevés en 1998 ont été de 243 F CFA/kg (Mars) à 480 F CFA/kg (Août) au niveau des producteurs contre 384 F CFA/kg (Mars) à 500 F CFA/kg (Août) chez le détaillant (CSA, 1998)

CHAPITRE 2 LES TOURTEAUX ET LES AUTRES SOURCES DE PROTEINES

Comme nous venons de le voir, les céréales et les sous-produits de leur transformation constituent essentiellement des sources énergétiques pauvres, en protéines et en minéraux. Ainsi, pour combler ces déficits, dans les aliments finis, d'autres matières premières sont utilisées.

I. LES TOURTEAUX

Les tourteaux sont des sous-produits de l'industrie des huiles alimentaires. Ils sont d'un intérêt nutritionnel considérable pour les animaux à cause de leur richesse en protéines dont la biodisponibilité et la composition en acides aminés sont très variables, selon l'espèce végétale d'origine.

Ces tourteaux se distinguent selon le procédé d'extraction de l'huile en tourteaux expellers ou de pression à chaud, en tourteaux double extraction, et en tourteaux de pression à froid. On peut également les séparer en tourteaux non décortiqués et tourteaux décortiqués.

Chaque catégorie de tourteau a une valeur alimentaire propre qui est fonction de trois principaux facteurs à savoir: l'origine botanique, la technologie d'extraction et les traitements préalables à l'extraction (IEMVT, 1991).

I-1. Technologies d'obtention

D'une manière générale on distingue le processus artisanal et le processus industriel.

I-1.1. Le processus artisanal

Il conduit à un tourteau artisanal qui contient entre 15 et 25% d'huile résiduelle.

En Afrique, l'extraction artisanale peut être réalisée par broyage, chauffage de la graine (60 à 80°C) et décantation dans l'eau. Elle peut aussi faire appel à des presses en bois manuelles, à pression discontinue (GRILLET, 1992).

Après un stockage de courte durée et en petite quantité (environ 50 kg) dans des sacs en plastique, le décorticage est réalisé à l'aide d'une décortiqueuse mécanisée. La séparation des amandes des coques se fait par vannage.

Le broyage des graines peut être réalisé à l'aide d'un pilon, ou d'un broyeur mécanique à marteaux. La farine est mise à chauffer dans un « couscoussier » jusqu'à l'obtention d'une pâte. La durée du chauffage et la température sont variables.

La pâte est introduite dans la presse manuelle métallique par galette d'environ 3,25 kg. La variabilité du nombre de galettes par pression est fonction de la dimension de la presse (8 galettes environ). La pression est réalisée par serrage d'une vis sans fin qui s'appuie sur une plaque métallique. La durée et la puissance sont variables selon qu'il s'agit d'une femme ou d'un homme, mais aussi selon la quantité de pâte introduite. En moyenne 100 kg d'arachide donnent 47,5 kg de tourteau.

Lorsque le tourteau est destiné à l'alimentation animale, il subira le lendemain, un deuxième broyage et une pression (LLORCA, 1995).

I-1.2. Le processus industriel

Actuellement, la méthode d'extraction de l'huile par la presse hydraulique est de plus en plus délaissée. Les usines modernes utilisent, soit une presse d'extraction à vis, soit un solvant organique pour extraire l'huile de la graine, ou la combinaison des deux procédés (double extraction). C'est le cas de la SONACOS au Sénégal.

Le processus par pression consiste à comprimer les graines enfoncées dans un tube de plus en plus étroit afin que l'huile en soit extraite. Les résidus qui se présentent sous forme de brisures ont un taux de matières grasses qui varie normalement entre 5 et 6%. Ces tourteaux sont qualifiés de tourteaux gras.

Dans le processus par extraction chimique, on permet à un solvant volatil inflammable, comme l'hexane, le trichloréthylène, l'acétone ou l'ammoniac, de s'infiltrer entre les graines grossièrement moulues de sorte que la plus grande partie de

l'huile soit dissoute et que le tourteau n'en contienne pas plus qu'1 ou 2%. On parle dans ce cas de tourteau maigre ou déshuilé (SMITH, 1992).

I-2. Le tourteau d'arachide

Ce tourteau provient de la transformation de la graine d'arachide (*Arachis hypogea*).

Au Sénégal, seule la SONACOS produit du tourteau industriel (figure 9). On peut distinguer en fonction des teneurs en aflatoxine, deux catégories de tourteau:

- un tourteau détoxifié qui est en grande partie exporté (PROFOR®);
- un tourteau non détoxifié vendu sur le marché local (LLORCA, 1995).

Le tourteau artisanal est de plus en plus présent sur le marché sénégalais.

I-2.1. Valeur nutritive et particularités d'utilisation

Il est indispensable de distinguer les tourteaux artisanaux des tourteaux industriels, qui diffèrent largement par leur composition chimique et leur valeur nutritionnelle.

Le tourteau d'arachide artisanal a une valeur énergétique nettement supérieure à celle du tourteau industriel, liée à un décorticage complet (manuel) et à une teneur résiduelle en lipides largement supérieure.

Néanmoins, d'une manière générale, le tourteau d'arachide est l'un des tourteaux les plus riches en protéines (40 à 60% MS), et dont la biodisponibilité est également l'une des plus élevées. En revanche, la composition en acides aminés de ces protéines est assez médiocre: déficience en lysine, en acides aminés soufrés et en tryptophane (LARBIER et LECLERCQ, 1992).

Le principal défaut du tourteau d'arachide est lié à la présence éventuelle d'aflatoxines (B1, B2, G1 et G2). Ces toxines sont produites par des champignons (*Aspergillus flavus*) se développant lors d'un stockage défectueux de la graine en région tropicale (MOREAU, 1974). Le poulet est nettement moins sensible à l'aflatoxine que le canard et le dindonneau. Toutefois, dès la dose de 1 p.p.m, apparaissent des symptômes

non létaux mais à forte incidence économique. La dose maximum acceptable d'aflatoxines est de 2,5 p.p.m pour le poussin en croissance.

En pratique, un tourteau dépourvu de toxines (>1 p.p.m) donne d'excellentes performances à partir du moment où il est bien supplémenté en acides aminés essentiels (lysine, méthionine et tryptophane).

Selon les auteurs, les limites d'incorporation varient en fonction du taux d'aflatoxines entre 0,3 et 15%. Cette limite inférieure permet de ne prendre aucun risque. (DETHIER, 1987)

I-2.2. Disponibilités et prix

En 1997, la production d'arachide d'huilerie a connu une baisse de 14,68% par rapport à l'année précédente, soit en valeur absolue 588.181 tonnes contre 790.617 tonnes.

LLORCA (1995) signale qu'au Sénégal, 65,98% de la production nationale d'arachide d'huilerie (soit 388.081,82 tonnes en 1997) est destiné au secteur artisanal contre 34,02 (200.099,17 tonnes) pour le secteur industriel dont 4,26% (25.056,51 tonnes) seulement réservé au marché local contre 9,76% pour l'exportation.

Le traitement industriel de l'arachide laissant 42% de tourteau contre 47,5% dans le secteur artisanal, cela représente un disponible de 10.523.73 tonnes de tourteau industriel et 184.338,86 tonnes de tourteau artisanal en 1997 au Sénégal.

Ces tourteaux sont vendus respectivement à 120 F CFA/kg et 130 F CFA/kg.

I-3. Le tourteau de coton

C'est le produit d'extraction de l'huile de coton. Les graines de coton (*Gossypium barbadense* de la famille des MALVACEAE) utilisées peuvent être traitées entières, délintées ou décortiquées.

La SODEFITEX est la seule société assurant la collecte de la graine de coton au Sénégal, tandis que la SONACOS produit le tourteau. D'abord localisée au Sénégal-Oriental, la culture du coton s'est étendue au Sine-Saloum et dans les régions de Kolda et

de Tambacounda. En 1997, la production nationale de coton graine a été estimée par la **DISA/DA (1997)** à 38389 tonnes, soit environ 24192 tonnes de graines.

I-3.1. Valeur nutritive et particularités d'utilisation

La composition chimique et la valeur nutritionnelle des tourteaux de coton varient fortement selon les techniques de fabrication.

La plupart des tourteaux de coton, y compris ceux produits industriellement, contiennent au moins 5% de matières grasses. L'apport protéique de ces tourteaux est élevé (40 à 55%) mais on note une carence en lysine (**SMITH, 1992**). Cependant, ces protéines sont moins bien digérées que celles de l'arachide. Le tourteau de coton est d'une manière générale un aliment de valeur énergétique satisfaisante (**INRA, 1991**).

Force est de constater que le tourteau de coton est rarement retenu comme matière première des aliments pour volailles, en raison du risque de présence d'une substance toxique; le gossypol. Seules les variétés de coton dites « glandless » en sont exemptes. Malheureusement, ces variétés n'existent pas au Sénégal.

D'après des études rapportées par **JUILLET et al. (1955)**, le taux de gossypol total dans les graines varie beaucoup suivant les variétés de coton considérées: de 1900 à 17000 p.p.m, le taux moyen étant de l'ordre de 8000 p.p.m. **ZOURE et NASSA (1997)**, tout en confirmant cette grande variabilité (402 à 5847 mg/kg MS), trouvent une moyenne de 1338 mg/kg MS. La teneur en gossypol libre (forme biologiquement active) est également très variable. Selon **RIVIERE (1977)**, cette forme active représente en général près de la moitié de la quantité du gossypol total: soit 3 à 4 g/ kg MS.

Pour **ALTSCHUL** cité par **JACQUOT et al. (1957)**, la croissance du poulet de chair est normale si le taux de gossypol est inférieur à 0,04%, tandis que **ZOURE et NASSA (1997)** conseillent un maximum de 15% de tourteau de coton dans la ration du poulet de chair.

Chez la poule pondeuse par contre, ce n'est qu'au-dessus de 0,012% de gossypol qu'on enregistrerait une baisse de la ponte; au-dessus de 0,016%, cette baisse s'accélère, de même que le taux d'éclosion. On note une coloration en vert olivâtre du jaune de l'œuf, d'autant plus intense que les œufs sont conservés longtemps.

DIENG (1998) recommande d'une manière générale de ne pas dépasser le taux de 10% dans les rations pour monogastriques. L'addition de sulfate ferreux (0,08 à 0,6%) dans les aliments atténue les effets toxiques du gossypol et permet ainsi une plus grande incorporation du tourteau de coton contenant du gossypol. Quant au tourteau exempt de gossypol, ses limites d'incorporation se situent entre 5 et 50% dans la formule pour poulet de chair et 5 à 10% pour les poules pondeuses.

I-3.2. Disponibilités et prix

En 1997, 24197 tonnes de graines ont été traitées correspondant à 11370 tonnes de tourteau. Ce tourteau est en grande majorité exporté mais il arrive qu'il soit utilisé à la place du tourteau d'arachide lors de pénuries de ce dernier.

La graine de coton est vendue à 50 F CFA/kg en moyenne.

I-4. Les autres tourteaux

Il s'agit essentiellement du tourteau de sésame et du tourteau de palmiste qui existent en faible quantité et ne sont pas utilisés de manière courante, en alimentation aviaire.

I-4.1. Le tourteau de sésame

Le tourteau de sésame (*Sesamum indicum*) sénégalais contient en moyenne 10% de graisses et environ 30% de matières protéiques (**ISRA, 1995**).

Contrairement à la majeure partie des tourteaux, qui sont plus riches en phosphore qu'en calcium, le tourteau de sésame contient un plus fort taux de calcium que de phosphore (2,1 à 3,5% MS de calcium et 1,1 à 1,7% MS de phosphore). Il est riche en méthionine et en arginine mais pauvre en lysine (**FAO, 1982**).

Certains travaux rapportent qu'on pourrait le substituer à hauteur de 50% au tourteau d'arachide dans les rations pour volailles.

I-4.2. Le tourteau de palmiste

Le palmier à huile donne un fruit dont la pulpe fournit de l'huile de palme. Le concassage de la noix donne l'amande d'où l'on extrait l'huile de palmiste avec production de tourteau.

Ce tourteau, encore plus rare que le précédent, est pauvre en protéines (deux à trois fois moins que le tourteau d'arachide) et possède une énergie métabolisable de 1240 kcal/kg MS en moyenne (**Mémento de l'agronome, 1984**).

Il est peu apprécié par les animaux en général. On ne devrait pas dépasser le taux de 20% dans les formules pour volailles, et l'adjonction de la mélasse serait bénéfique pour l'appétabilité de l'aliment.

II. LES AUTRES SOURCES DE PROTEINES

Il s'agira surtout dans ce paragraphe des aliments contenant des protéines d'origine animale mais également des drêches. Dans la littérature, il est fait mention de farine de poisson, de sang, de viandes ou de farine de plumes comme sources de protéines d'origine animale. Cependant au Sénégal, seule la farine de poisson est disponible d'où la limitation de notre étude à celle-ci.

II-1. La farine de poisson

II-1.1. Technologies d'obtention

Elles sont essentiellement de deux types: un processus artisanal, et un processus industrie

II-1.1.1. Le processus artisanal

Rare il y a encore quelques années, la production artisanale de farine de poisson ne cesse de prendre de l'importance au Sénégal. Après un long séchage-fumage à chaud,

les poissons sont, soit pilés dans de grands mortiers en bois, soit broyés à l'aide de moulins villageois et réduits en poudre.

II-1.1.2. Le processus industriel

Au Sénégal, deux usines produisent la farine de poisson industrielle: Africazote et Sénégal protéines. La production est basée sur la méthode de pressage par voie humide, la chaîne pouvant être décrite ainsi qu'il suit:

Dans une première phase, les camions déchargent poissons (sardinelles, etc...) et déchets. Ces derniers sont dans une seconde étape broyés. Le tout sera soumis à une cuisson à la vapeur (90 à 150°C) pendant dix minutes dans un four à tapis roulant, ensuite l'ensemble est pressé afin d'extraire le maximum d'eau et d'huile. Les presses utilisées peuvent être hydrauliques, ou d'extraction à vis. La température et la pression y augmentent progressivement. A l'extrémité de la cage, on obtient les eaux résiduelles et le « gâteau ». Le gâteau est par la suite déshydraté dans un four (500-600°C; pendant 10 à 12 min), broyé (broyeur à marteaux), et mis en sacs.

II-1.2. Valeur nutritive et particularités d'utilisation

Les farines de poisson présentent une composition et une qualité très variables. Cette variabilité est due aux poissons utilisés (espèce, poissons entiers ou déchets...) et aux traitements technologiques subis. Une différence importante devra ainsi être faite entre la fabrication industrielle qui produit une matière première plus stable, et la fabrication artisanale pour laquelle une variabilité extrêmement importante peut être rencontrée.

D'une manière générale, elles constituent un excellent apport en matières azotées (55% MS en moyenne) (FAYE, 1981; DETHIER, 1989). Ces protéines sont de bonne valeur biologique (75%), elles sont riches en lysine et en acides aminés soufrés, facteurs limitant de la plupart des protéines végétales. Ce sont également d'excellentes sources de minéraux. Leur teneur en matières grasses varie beaucoup (3-11,5% MS), avec les plus forts taux pour les farines artisanales.

Toutefois, les faibles taux d'incorporation de farine de poisson que l'on conseille en alimentation aviaire (8 à 12% en démarrage, 3 à 6% en ponte; **SCOTT, 1976**), relativisent l'importance de la variabilité du produit. Au delà de certaines limites, les farines de poisson risquent de donner leur goût à la viande, surtout si elles sont grasses (**PARENT, 1989**).

II-1.3. Disponibilités et prix

La production annuelle de farine de poisson industrielle est estimée à 8.000 tonnes dont 40% réservé au marché local, soit 3200 tonnes en valeur absolue. Les prix ont varié de 220 à 295 F CFA/kg en fonction de l'origine en 1998 (fabricant d'aliments, communication personnelle)

Aucune donnée fiable sur les disponibilités en farine de poisson artisanale n'est disponible à l'heure actuelle au Sénégal.

II-2. Les drêches

II-2.1. Les drêches de brasserie

Les drêches de brasserie ont une excellente teneur en protéines mais leur richesse en cellulose limite leurs possibilités d'incorporation dans les rations pour volailles. On préconise néanmoins leur utilisation (drêches séchées) aux taux de 5 à 10% dans les rations pour poules pondeuses, à cause de leur effet bénéfique sur le taux de ponte et sur la qualité des œufs, sans une réduction de la consommation (**DIENG, 1998**).

II-2.2. Les drêches de tomates

Les drêches de tomates, constituées des peaux et graines après récupération du jus, ont une valeur énergétique faible mais leur bonne teneur en protéines autorise leur utilisation à faibles doses (5 à 10%) dans les formules pour poudeuses ou poulettes (DIENG, 1998).

CHAPITRE 3 LES SOURCES DE MINERAUX ET LES ADDITIFS

Les minéraux sont d'une très grande importance en aviculture. En effet, le calcium et le phosphore entrent dans la structure des os et de la coquille d'œufs, et le phosphore dans la composition des phospholipides membranaires, tandis que les oligo-éléments sont des cofacteurs entrant dans la composition des enzymes.

Les additifs sont des reproductions artificielles de substances naturelles introduites dans les formules alimentaires dans le but de garantir une alimentation optimale adaptée à chaque espèce animale, et permettant à l'homme de tirer un profit relativement élevé en élevage intensif.

Le Sénégal regorge de sources de minéraux aussi bien naturelles qu'artificielles, susceptibles de combler les déficits des autres matières premières. Par contre, les additifs utilisés en aviculture sont essentiellement des produits de laboratoires.

I- LES SOURCES DE MINERAUX

Elles sont nombreuses et variées. Néanmoins, nous distinguerons essentiellement les sources de calcium et de phosphore.

I-1. Les sources de calcium

Chez les oiseaux, le besoin en calcium comporte surtout une composante de production, alors que la composante de l'entretien est faible et généralement couverte. Ce besoin peut être satisfait par un apport sous forme de coquilles d'huîtres broyées, de granules de carbonate de calcium, de calcaires naturels ou de poudre d'os calcinés (LARBIER et LECLERCQ, 1992).

Les coquilles d'huîtres, les carbonates de calcium et les calcaires naturels ont sensiblement la même teneur en calcium (38 g/kg MB) tandis que la poudre d'os calcinée en contient un peu moins (33,5g/kg MB) (INRA, 1984). Les disponibilités en ces sources au Sénégal sont importantes. Les coquilles d'huîtres et les calcaires naturels constituent les principales matières utilisées. Elles coûtent 35 F CFA/kg environ .

En pratique, une déficience modérée en calcium n'affecte la croissance de façon sensible 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. Chez la poule pondeuse, une carence en calcium détériore la qualité de la coquille des œufs (LARBIER et LECLERCQ, 1992).

I-2. Les sources de phosphore

Comme pour le calcium, la part la plus importante du besoin en phosphore correspond à la production. En effet, contrairement à l'adulte à l'entretien, le jeune en croissance et la femelle en ponte doivent trouver dans leur alimentation les quantités nécessaires à leurs synthèses. Celles-ci peuvent être apportées par le phosphate monocalcique, le phosphate bicalcique, le phosphate tricalcique, le phosphate de roche naturel ou la poudre d'os.

Ces sources de phosphate titrent respectivement: 22,5g/kg MB, 18,6g/kg MB, 19,5g/kg MB, 15g/kg MB et 14,1g/kg MB, et coûtent en moyenne 30 F CFA/kg.

La carence en phosphore se traduit par une perte d'appétit, un ralentissement de la croissance, des troubles locomoteurs graves et de la mortalité. Chez la poule en ponte on notera surtout une réduction de l'intensité de ponte. Les excès de phosphore tendent à réduire la solidité de la coquille d'œuf (LARBIER et LECLERCQ, 1992).

II- LES ADDITIFS

Ces produits sont des préparations spécifiques, fabriquées par la grande industrie, et sont destinés aux fabricants d'aliments. Ils entrent dans la composition des aliments finis en farine, en semoulette ou en granulé.

Il s'agit donc en général de produits industriels concentrés qui peuvent apporter la supplémentation nécessaire en ce qui concerne:

- les vitamines,
- les acides aminés essentiels,
- les macro-éléments,
- les oligo-éléments,
- les pigments,
- l'appétence,
- les médicaments (antibiotiques, coccidiostatiques etc ...)

Dans la pratique courante, pour des raisons de commodité de gestion des stocks, entre autres, l'usage fait qu'on utilise des prémélanges, des dilutions de concentrés vitaminés dans un support afin d'empêcher les phénomènes de ségrégation, et en vue d'obtenir un aliment homogène. Le rapport de dilution peut être de 0,25 - 0,50 à 10% (GUEYE, 1998)

Ainsi, les additifs permettent d'éviter les carences alimentaires et d'optimiser les performances zootechniques des volailles.

Au Sénégal, ces additifs se rencontrent sous des appellations diverses telles que prémix (ou CMV: 1800 à 2200 F CFA/kg), lysine et méthionine de synthèse (de 380 à 5000 F CFA/kg), oligophos (oligo-éléments+phosphore), vitaplus (vitamines), biolysomet (oligo-éléments+vitamines+lysine+méthionine), etc...

On conseillera aux fabricants d'aliments de les acquérir chez des professionnels confirmés et de respecter les normes d'utilisation prescrites. Pour les produits achetés sur le marché, il est nécessaire d'avoir la garantie de l'origine.

CONCLUSION

Le Sénégal dispose de nombreuses matières premières dont les caractéristiques spécifiques devront être affinées en vue d'une utilisation optimale. Néanmoins, l'utilisation des matières premières requiert un appui et une formation professionnelle des différents acteurs du secteur de développement de l'aviculture, d'où la mise en œuvre d'un outil de formulation de rations.

DEUXIEME PARTIE:

EBAUCHE D'UN REFERENTIEL SUR LES MATIERES PREMIERES UTILISEES DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES AU SENEGAL ET FORMULATION DES RATIONS

Introduction

La qualité de l'aliment utilisé a des répercussions importantes sur les résultats en élevage car l'alimentation représente environ 70% des coûts de production en aviculture. Malheureusement, au Sénégal, comme dans la plupart des pays de la sous-région, il n'est pas encore possible de connaître cette qualité lors de l'achat de l'aliment, mais seulement après l'avoir distribué et observé les performances. Un échantillonnage récent d'aliments provenant des 10 principales fabriques a prouvé que bien souvent des carences sont présentes (CISSE et al., 1997), surtout en acides aminés les plus limitants (Lys et Met), et en calcium chez les pondeuses. Ces déséquilibres ont des répercussions sur les résultats techniques (performances animales) et économiques (rentabilité des spéculations) (CISSE et al., 1998ab). Parmi les facteurs qui conditionnent la qualité des aliments finis, il y'a surtout la qualité des matières premières. Les matières premières disponibles au Sénégal pour l'alimentation des volailles sont en nombre limité. L'effort pour produire un aliment de qualité passe donc nécessairement par une bonne connaissance de leur composition et des causes de leur variabilité.

CHAPITRE 1 APPROCHE METHODOLOGIQUE

I. LE REFERENTIEL SUR LES MATIERES PREMIERES

I-1. Sources de données

La démarche a été initiée sur la base de données analytiques disponibles à l'ISRA, au CIRAD-EMVT (tableau 10), et parfois à partir de la littérature internationale. Pour les teneurs en acides aminés, une compilation de nombreuses sources d'information nous a permis d'obtenir des profils standard, fonction de la teneur en MAT, pour les matières premières les plus courantes. La table informatisée IO7, éditée par la banque de données pour l'information animale de l'AFZ (Association Française de Zootechnie) a été largement utilisée. Cette table regroupe un nombre important de données provenant des industriels français de l'alimentation animale, des instituts de recherche, des instituts techniques et de la littérature internationale. Les autres sources consultées sont les tables INRA (monogastriques 1984, Volailles 1992) et ITP (1996), les tables Hollandaises (CVB), les tables de l'ITCF/Eurolysine, les tables Rhône Poulenc, et les tables européennes (JANSSEN, 1988) qui présentent l'avantage de proposer des équations de prédiction de l'EM par catégorie de matière première.

I-2. Les calculs effectués

Les valeurs moyennes ont été déterminées pour chaque nutriment.

II. LA FORMULATION DES RATIONS ALIMENTAIRES

L'alimentation animale a essentiellement pour rôle de concevoir et de fabriquer des aliments composés susceptibles de répondre, dans les meilleures conditions économiques, aux besoins des animaux (CISSE, 1998). Concevoir un aliment consiste à :

-DETERMINER les besoins nutritionnels des animaux en fonction de la production envisagée.

-FIXER la liste des matières premières susceptibles d'emploi, et les limites d'utilisation pour chacune d'elles (contraintes).

-FORMULER: c'est-à-dire associer différentes matières premières simples (céréales, tourteaux, farines animales , etc...) de façon à obtenir une combinaison répondant aux besoins nutritionnels et aux autres contraintes fixées. Le bénéfice recherché n'est pas forcément atteint avec la performance maximum. En outre, le technicien devra trouver une méthode de calcul adéquate pour la formulation de l'aliment, compte tenu de l'infinité de solutions techniques envisageables qui existent pour combiner les matières premières.

II-1.Rappels sur les besoins nutritionnels des volailles

Les besoins nutritionnels sont définis comme étant la proportion minimale en éléments nutritifs dans une ration nécessaire à l'entretien, à la croissance et à la production (INRA, 1988, LARBIER et LECLERC, 1992). Les besoins des volailles ne sont pas constants. ils dépendent des souches (généralement connues) mais aussi du stade de production et des conditions climatiques.

Chez les oiseaux, seuls les besoins énergétiques, protéiques et phosphocalciques sont surtout pris en compte lors de la formulation.

II-1.1 LES BESOINS DU POULET DE CHAIR

Les oiseaux en croissance doivent trouver dans leur aliment les éléments nécessaires à la synthèse de leurs tissus, ainsi qu'à l'entretien de la part déjà édifiée de leur organisme.

II-1.1.1. Besoins énergétiques

Il est généralement admis que l'accroissement du niveau énergétique conduit généralement à une amélioration de l'indice de consommation. Ce phénomène est cependant variable selon les souches; plus net chez les souches légères alors que les génotypes lourds ont tendance à consommer une quantité d'aliment constante quelque soit la teneur en énergie.

Des contraintes d'ordre technologique ou économique interviennent également pour fixer la valeur énergétique de l'aliment (**DIENG, 1998**). C'est en tenant compte de toutes ces considérations (prix matières premières, âge à l'abattage, souche utilisée...) que le formulateur est amené à fixer le niveau énergétique de l'aliment. La recommandation classique est 3250 kcal/kg d'aliment aussi bien en phase de croissance (0 à 3 semaines) qu'en phase de finition (3 semaine - abattage).

II-1.1.2. Besoins protéiques

Le besoin en protéines d'un oiseau étant la nécessité pour celui-ci de recevoir un certain apport en chaque acide aminé essentiel ainsi qu'un apport suffisant en composés azotés à partir desquels les acides aminés non essentiels vont être synthétisés.

II-1.1.2.1. Besoins en protéines brutes (PB)

Le tableau 7 contient les apports recommandés en protéines brutes.

Tout déséquilibre protidique influence l'appétit et par conséquent, la consommation et la croissance. Selon **COMBS** cité par **SOW (1995)**, les besoins protéiques du poulet en croissance peuvent être modifiés par:

- des facteurs influençant la consommation alimentaire et, par conséquent, la quantité totale de chaque acide aminé absorbé,
- des différences dans la qualité des acides aminés ingérés,
- des changements dans l'efficacité métabolique avec laquelle les acides aminés sont utilisés.

II-1.1.2.2. Besoins en acides aminés essentiels

Selon **KEELE et al. (1980)**, les acides aminés essentiels sont ceux indispensables à la croissance et à l'entretien de l'organisme, mais que celui-ci ne peut synthétiser en quantité suffisante pour couvrir ses besoins (tableau 7). Ils doivent donc être apportés par le régime alimentaire (habituellement sous forme de protéines).

Dans l'immense majorité des cas, trois acides aminés risquent de faire défaut dans la ration des volailles: la lysine, la méthionine et la cystine (IEMVT, 1991). Néanmoins, si le taux de méthionine dans l'aliment est suffisant, la cystine peut être synthétisée à partir de celle-ci.

II-1.1.3. Besoins phospho-calciques

Les recommandations figurent au tableau 7. Des apports plus élevés de phosphore peuvent cependant améliorer légèrement les performances, mais on devra

veiller à ce que le rapport Ca/P se situe aux environs de 1,45 en démarrage et entre 1,3 et 1,4 en période de finition (LARBIER et LECLERCQ, 1992, CISSE et al., 1997).

Tableau 7 : Apports alimentaires recommandés pour le poulet de chair (g/kg d'aliment)

Période (semaines)	0-3	3-abattage
Concentration énergétique (kcal/kg)	3250	3250
protéines brutes	220	190
Lysine	11,5	10
acides amines soufrés	8,5	7,5
Tryptophane	1,9	1,8
Thréonine	14,4	12,5
leucine	8,3	7,2
valine	10,6	9,2
histidine	4,6	4
arginine	12,8	11,1
phenilalanine + tyrosine	15	13
calcium	10	9
phosphore disponible	4,2	3,8

source : LARBIER et LECLERCQ, 1992

II- 1.2.LES BESOINS DE LA POULE PONDEUSE

Il convient de différencier les besoins de la poulette en croissance de ceux de la poule en ponte.

II-1.2.1. Besoins de la poulette en période d'élevage

D'une manière générale, les conditions nutritionnelles subies au cours de la croissance ont peu d'influence sur les performances de ponte. Il est donc inutile de rechercher un développement pondéral accéléré, l'essentiel étant d'atteindre la maturité sexuelle à un âge et un poids fixés avec un minimum de dépenses alimentaires.

La période d'élevage est divisée en deux parties d'inégale durée; le démarrage correspond aux 6 à 8 premières semaines de vie. Il est suivi de la période dite "de croissance", qui s'achève à l'entrée en ponte généralement entre la 20ème et la 23ème semaine.

A ces deux périodes correspondent deux aliments qui diffèrent surtout par leur teneur en protéines et, à un moindre degré, en énergie. Le tableau 8 indique les caractéristiques de ces deux régimes.

En pratique, on distribue des régimes à concentration énergétique moyenne (2600 à 2800 Kcal/Kg d'aliment) correspondant à la calorie la moins chère.

Tableau 8 : Caractéristiques des régimes recommandés pendant la période d'élevage de la poulette (p.100 du régime)

	Régime démarrage (0-6 semaines)	Régime croissance (6è semaine-1er oeuf) quantité limitée	Régime croissance (8è semaine-1er oeuf) <i>ad libitum</i>
Concentration énergétique (kcal EM/kg)	moins de 2900		
protéines brutes pour 2800 kcal EM	18	14,5	13
lysine	0,85	0,65	0,55
méthionine	0,33	0,28	0,26
ac. aminés soufrés	0,65	0,5	0,46
calcium	0,9		0,9
phosphore disponible	0,38		0,3
anticoccidiens	quantités maximales prescrites par la législation		quantités normales prescrites

source : INRA, 1984

II- 1.2.2. Besoins de la poule en ponte

L'aliment destiné à la période de ponte est substitué progressivement à l'aliment "poulette" dès l'apparition des premiers oeufs pondus dans l'effectif (soit 2 semaines avant que le troupeau ne ponde à 50%). Cet aliment doit apporter tous les nutriments en quantité suffisante pour satisfaire à la fois ses besoins d'entretien et les besoins de production d'oeufs.

II-1.2.2.1. Besoins énergétiques

Le besoin énergétique des poules dépend surtout de leur poids vif (entretien) mais aussi de son augmentation, de leur emplumement et de l'intensité de la ponte.

L'apport recommandé pour les pondeuses d'œufs en climat chaud figure au tableau 9.

II-1.2.2.2. Besoins protéiques

Pendant la ponte, le besoin en protéines ne doit pas être dissocié du besoin en acides aminés indispensables, en particulier en acides aminés soufrés et en lysine. Ce besoin dépend beaucoup de la production d'œufs (nombre et poids moyen) (tableau 9).

En règle générale, il est prudent, pour tenir compte de la variabilité des matières premières, d'apporter un léger excédent de protéines par rapport aux besoins; ceci permet de supprimer tout risque de déficience.

II-1.2.2.3. Besoins phosphocalciques

La teneur de calcium dans l'aliment doit être au moins égale à 3,5 p.100 de la ration pour obtenir des coquilles solides. En période de ponte, lorsque la solidité de la coquille tend à diminuer, on peut réduire la concentration du calcium dans l'aliment et distribuer à volonté du calcium sous forme de coquilles d'huîtres ou de granulés de carbonate de calcium, par exemple.

Le besoin en phosphore assimilable de la poule pondeuse est relativement faible. Une marge de sécurité est prévue pour tenir compte notamment de l'hétérogénéité de l'aliment et de l'incertitude sur la disponibilité dans certaines matières premières. Le tableau 9 donne les apports recommandés.

II-2.4. Besoins en oligo-éléments, en vitamines et en pigments

Les teneurs en oligo-éléments et en vitamines, qui doivent être apportés sous forme de prémélanges dans l'aliment de la poule pondeuse, sont indiqués dans le tableau ().

Les xanthophylles peuvent être apportées à raison de 25 p.p.m en moyenne pour assurer une plus forte coloration du jaune de l'oeuf. D'autres pigments rouges tels que la canthaxantine pure (1 à 2 p.p.m) peuvent également être utilisés à cet effet.

Tableau 9: Apports recommandés de protéines, acides aminés et minéraux pour la poule en ponte en climat chaud (en p. 100 du régime)

Concentration énergétique (kcal EM/kg)	2800
Protéines brutes	18,5
Lysine	0,93
Méthionine	0,41
Minéraux	
Calcium	4
phosphore total	0,6
phosphore disponible	0,35
acide linoléique	1
xanthophilles totaux (p;p.m)	30

source : INRA ,1984

II -2. Principes et méthodes de formulation

Tableau 9: Apports recommandés de protéines, acides aminés et minéraux pour la poule en ponte en climat chaud (en p. 100 du régime)

Concentration énergétique (kcal EM/kg)	2800
Protéines brutes	18,5
Lysine	0,93
Méthionine	0,41
Minéraux	
Calcium	4
phosphore total	0,6
phosphore disponible	0,35
acide linoléique	1
xanthophilles totaux (p;p.m)	30

source : INRA ,1984

II -2. Principes et méthodes de formulation

La formulation alimentaire requiert un certain professionnalisme. En effet, pour obtenir un bon aliment, le praticien est amené à faire face à de nombreuses contraintes ignorées du profane.

II - 2.1. Principes de formulation

La formulation consiste à combiner judicieusement les matières premières disponibles de façon à obtenir un mélange pouvant satisfaire les besoins de l'espèce considérée, tout en minimisant le prix de ce mélange (CISSE, 1998). L'aliment composé doit donc répondre aux objectifs suivants:

- satisfaire les besoins des animaux,
- assurer les performances zootechniques attendues,
- avoir une présentation satisfaisante pour être accepté par l'animal et par l'éleveur.
- être rentable tant pour l'utilisateur que pour le fabricant.

Au niveau de la formulation, ces différents objectifs se traduisent par des contraintes:

- contraintes (ou spécifications nutritionnelles: niveau d'énergie, taux de protéines, d'acides aminés, de calcium, de phosphore, de cellulose, etc...): c'est le nutritionniste qui a la charge de définir ces contraintes.

- contraintes sur les matières premières (minima et ou maxima), expression chiffrée de différents problèmes:

présentation de l'aliment (couleur, granulométrie, dureté des granulés, etc...);

appétence (pour certains aliments)

. aspects technologiques, en fonction de la présentation recherchée pour l'aliment (farine, vermicelles, granulés, etc...) et du diagramme de fabrication de l'usine (ex: taux maximum d'issues, de graisse, de liquides, de mélasse, etc...);

. marché des matières premières: la formulation devra toujours tenir compte des possibilités d'approvisionnement de l'unité de fabrication et des disponibilités du marché;

. "enchaînement ", ayant pour but d'éviter des changements trop importants dans la composition des formules d'une période à l'autre.

Cette liste non limitative permet déjà de percevoir la complexité d'un problème de formulation.

II -2.2. Méthodes de formulation

L'utilisation de n'importe quelle méthode de formulation suppose le rassemblement d'un certain nombre d'éléments indispensables : les besoins nutritionnels des animaux, la liste des matières premières disponibles ainsi que leur composition analytique (tables publiques ou privées), leur prix, et les différentes contraintes à respecter.

Il existe deux méthodes de formulation. la méthode statique et la méthode dynamique

II - 2 .2.1. La méthode statique

Elle consiste à rechercher, par approches successives, une combinaison de matières premières répondant aux différentes contraintes du problème. Il s'agit d'une méthode longue et fastidieuse qui est de plus en plus délaissée au profit de la méthode dite dynamique.

II - 2. 2.2. La méthode dynamique

Un problème de formulation se présente comme un problème de programmation linéaire, avec un certain nombre d'équations (d'inéquations plutôt) à résoudre, soit une matrice comportant m contraintes et n variables structurales (matières premières). La programmation linéaire est un procédé mathématique qui permet de rechercher et d'obtenir la solution optimale, c'est à dire au moindre coût, d'un ensemble d'équations restrictives linéaires. C'est donc une méthode de recherche de la meilleure combinaison des matières premières, compte tenu d'une conjoncture donnée (prix - quantités disponibles). Le programme mathématique procède par itérations successives, une itération consistant à permuter 2 variables dans la solution en cours de calcul.- la première étape consiste à rechercher une solution REALISABLE, soit conforme aux contraintes posées, sans prendre en compte les fonctions économiques des variables.

- la seconde étape consiste à rechercher la solution OPTIMALE (au moindre coût) en réduisant successivement les différents coûts marginaux. Après un certain nombre d'itérations, l'ordinateur découvre la combinaison de matières premières la plus économique et l'imprime.

A partir des années 50, le développement de l'outil informatique et une connaissance sans cesse affinée des besoins ont permis des progrès notables en formulation. Nous avons en particulier utilisé le logiciel PORFAL. PORFAL, conçu et réalisé en France par l'INRA, le Laboratoire d'Economie Rurale de Grignon et l'Institut Technique du Porc, est un logiciel micro-informatique de formulation alimentaire par programmation linéaire. Il permet, par optimisation, le calcul de la composition d'un aliment ou d'une ration au moindre coût, en tenant compte des caractéristiques des matières premières utilisées, de leurs contraintes d'incorporation et des besoins des animaux. L'utilisateur a la possibilité d'employer les tables qui lui sont proposées; elles concernent l'espèce porcine. Il peut également, comme nous l'avons fait, introduire les valeurs de son choix (résultats d'analyses, normes spécifiques..) en particulier lors de l'utilisation de PORFAL pour toute autre espèce animale.

CHAPITRE 2

TABLE DE COMPOSITION ANALYTIQUE DES MATIERES PREMIERES ET FORMULES ALIMENTAIRES

I- TABLE DE COMPOSITION ANALYTIQUE DES MATIERES PREMIERES

I-1. Céréales et autres produits amylacés

I-1.1. Le maïs

Le maïs utilisé par l'alimentation animale au Sénégal a plusieurs origines: production nationale, importations de la région (Mali), importations sur le marché mondial. Pour le maïs importé (par exemple d'Amérique du Nord), des valeurs moyennes (table IO7, sur plus de 10000 échantillons) ont été retenues pour la table. Mais il ne s'agit que d'une moyenne et la table IO7 montre que la variabilité est importante. Un des paramètres clé de la valeur du maïs importé est sa conservation puisqu'il est stocké pendant un temps très long après avoir déjà subi un stockage dans son pays d'origine puis lors de son acheminement par voie maritime. Il serait intéressant de vérifier l'état du produit au bout de 6 à 9 mois de stockage pour vérifier si sa valeur peut être considérée comme constante.

En contraste à l'énorme masse de données existant sur la composition du maïs « international », relativement peu de données fiables sont disponibles sur le maïs d'Afrique de l'Ouest. Une seule valeur est proposée comme « maïs local », faute de données suffisantes pour séparer les catégories de maïs en provenance soit du Sénégal,

soit du Mali. Les données de l'AFZ ont toutefois montré qu'il n'y avait pas de différence sensible entre les compositions des maïs jaune et blanc, à l'exception de la teneur en pigments, donc en pouvoir de coloration du jaune d'oeuf.

I-1.2. Les sous-produits du riz

Les sous-produits du riz sont disponibles à des prix relativement intéressants au Sénégal. Malheureusement leur valeur alimentaire est très variable et souvent relativement mal connue, le terme « son de riz » pouvant désigner un ensemble de produits de valeur très différente. Pour pouvoir donner une valeur plus fine que « son de riz », une classification basée sur la composition chimique des échantillons a été effectuée. Cet exercice fait apparaître très nettement une répartition bimodale des échantillons dont une partie est riche en MAT et MG et plus faible en CB, tandis qu'une autre partie a les caractéristiques opposées.

Deux catégories extrêmes ont été ainsi distinguées: les « sons fins » qui comprennent également des produits vendus sous la dénomination « farine basse artisanale », et les « sons forts » qui comportent une forte proportion de balles.

La catégorie « farine basse » mentionnée ici ne correspond qu'à de réelles faines basses d'origine industrielle et qui sont le résultat du blanchiment du riz cargo.

I-1.3. Le mil

Les mils sont aussi une catégorie mal définie. Le terme générique « mil » peut désigner plusieurs espèces (*Pennisetum* sp., *Panicum miliaceum*, et même *Eleusine* sp., *Setaria italica*). Deux catégories ont été créées, La première correspond aux données de la base IO7 sur *Pennisetum typhoides* confirmées par les compositions rapportées par la FAO (1995). Ce mil est souvent désigné sous les noms de « mil chandelle », ou « mil perlé » et qui est le plus largement cultivé en Afrique occidentale (FAO 1995, et Llorca, 1995). Une des variétés de mil chandelle est le « souna » sénégalais. Pour cette catégorie, l'EM de la table a été estimée d'après les valeurs de la table IO7 et les prédictions des

équations « millet », « maïs » et « sorgho » des tables européennes puisqu'aucune équation spécifique n'est disponible.

La seconde catégorie rapportée correspond aux « mils » de la base de données EMVT et de certaines tables et qui correspondent à des « mil rouge », « mil blanc » ou indéterminés d'origine africaine mais sans indication de l'espèce botanique. L'EM a été estimée dans les mêmes conditions que pour *Pennisetum typhoides* et donne une valeur un peu plus basse. Cette catégorie correspond probablement à des sorghos répertoriés abusivement dans la catégorie des mils à cause de leur dénomination vernaculaire.

I-1.4. Les sorghos

Les bases de données consultées donnent des valeurs de composition chimique comparables pour les différentes variétés de sorgho (sorgho blanc, rouge, mélangé), à l'exception de la teneur en tanins. Ainsi une seule valeur a été retenue pour la composition chimique, et deux équations de Janssen (sorghos riches/pauvres en tanins) pour le calcul de la valeur énergétique, ce qui donne des valeurs différentes (3254 kcal/kg MS vs 3629 kcal/kg MS).

I-1.5. Les issues de blé

ces issues proviennent des industries de meunerie Les valeurs proviennent de la table IO7 Les teneurs en énergie ont été déterminées d'après les équations de Janssen.

I-1.6. Les graines de niébé

Les valeurs de composition des graines de niébé (*Vigna unguiculata*) ont été rapportées. La principale limite d'utilisation de ce protéagineux semble être sa teneur en facteurs antitrypsiques (8-12 UTI/mg). Des taux d'incorporation < 10% sont toutefois tolérés pour le niébé cru (source IO7).

I-1.7. Le manioc

La composition de ce produit est relativement proche de celle des maniocs granulés souvent échangés au niveau international. Ces derniers ont toutefois une teneur en cendres généralement plus réduite, parfois moins de fibres et une EM un peu plus élevée (effet de la granulation). La teneur en MAT est très faible et les teneurs en acides aminés essentiels très limitées.

I-2. Tourteaux et autres sources de protéines

I-2.1. Tourteau d'arachide

Le tourteau d'arachide industriel produit par la Sonacos est un produit a priori bien standardisé et correspondant aux normes internationales de tourteau délipidé. C'est un tourteau « semi-décortiqué » (Llorca, 1995) dont la composition et valeur nutritionnelle peut être évaluée d'après les tables classiques. La valeur énergétique relativement faible de ce produit s'explique par le décorticage incomplet qui laisse une proportion non négligeable de fibres (14,2% MS en moyenne, avec de fortes variations: 10 à 20% MS). Une connaissance plus précise des teneurs en fibres des tourteaux de la Sonacos mis sur le marché sénégalais permettrait d'obtenir une prédiction plus fiable pour l'EM.

Le tourteau d'arachide artisanal a une valeur énergétique nettement supérieure (en moyenne 17% MS). Ces valeurs moyennes cachent une assez forte hétérogénéité liée aux matériels employés et aux pratiques artisanales. Le déterminant majeur de la qualité de ce produit est sans doute sa conservation (liée principalement aux teneurs en eau et huile résiduelles).

L'huile d'arachide a été citée pour mémoire car elle est parfois utilisée en alimentation animale pour rehausser la teneur en énergie de l'aliment.

I-2-2. Le tourteau de coton

En l'absence d'informations précises sur la nature des tourteaux disponibles au Sénégal, on a rapporté une valeur moyenne valable pour des tourteaux relativement bien décortiqués et délipidés. La valeur énergétique du tourteau de coton est relativement basse, et ses protéines sont assez bien équilibrées en acides aminés.

I-2.3. Le tourteau palmiste

Le tourteau palmiste est peu disponible au Sénégal. Les valeurs rapportées correspondent à un tourteau « expeller » (obtenu par pression) sans délipidation. La teneur en MAT est faible, de même que la valeur énergétique, à cause d'une forte présence de fibres.

I-2.4. Les farines de poisson

Les deux industriels produisant de la farine de poisson sur Dakar garantissent une qualité minimale (MAT= 58%) et les analyses disponibles montrent que la valeur

moyenne serait même supérieure à ce minimum. Il existe toutefois une forte variabilité due aux poissons utilisés (entiers ou déchets).

La variabilité rencontrée chez les fabricants artisanaux doit rendre prudent sur les valeurs obtenues: le mode de séchage et l'éventuelle extraction d'huile sont des facteurs de variation importants. Par exemple des poissons séchés au sol peuvent avoir des teneurs en matières minérales très élevées.

I-3. Les autres matières premières et additifs

Des valeurs pour les principales sources de minéraux et les acides aminés de synthèse ont été données pour compléter la table. Ces valeurs sont celles que l'on peut trouver dans la littérature. Le seul cas appelant un commentaire particulier est celui de la valeur à attribuer aux phosphates naturels qui est très variable sur le plan quantitatif et qualitatif. Si on peut donner une teneur moyenne en P total de 150 g/kg MS, la disponibilité peut varier dans de grandes proportions: de 15 à 50% environ.

Tableau 11:
Table de valeurs nutritives des matières
premières disponibles au Sénégal

		Riz farine basse industrielle	Riz son fin et F. basse	Riz son mélangé	Riz son fort	Mais standard	Mais local	Sorgho africain pauvre T	Sorgho africain riche T
sources principales		IO7 calculs	EMVT calculs	EMVT calculs	EMVT calculs	IO7 calculs	EMVT, IO7 Tables calculs	EMVT ICRISAT IO7, divers	EMVT ICRISAT IO7, divers
MS	g/kg MB	894	899	900	917	865	902	907	907
CB	g/kg MB	75	84	160	288	21	22	23	23
ADF	g/kg MB	86	97	175	328	26	28	39	39
NDF	g/kg MB	181	204	315	453	105	110	94	94
MAT	g/kg MB	141	125	101	59	87	97	102	102
LYS	g/kg MB	6.6	5.9	4.8	2.8	2.5	2.8	2.4	2.4
MET	g/kg MB	3.2	2.8	2.2	1.4	1.8	2.0	1.7	1.7
AAS	g/kg MB	6.1	5.4	4.3	2.6	3.9	4.4	3.7	3.7
THR	g/kg MB	5.4	4.8	3.9	2.2	3.1	3.4	3.5	3.5
TRY	g/kg MB	1.6	1.4	1.2	0.6	0.6	0.7	1.1	1.1
MG	g/kg MB	151	120	87	45	38	47	30	30
ENA	g/kg MB	456	477	426	346	706	722	729	729
MM	g/kg MB	71	93	126	179	13	14	23	23
Ca	g/kg MB	0.9	1.0	0.7	1.0	0.4	0.3	0.3	0.3
P Total	g/kg MB	16.8	13.9	8.7	4.7	2.2	3.2	2.9	2.9
P Dispo	g/kg MB	1.7	1.4	0.9	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5
EMA	kcal/kg MB	2910	2720	1980	870	3270	3440	3290	2950
estimée d'après :		Janssen	Janssen	Janssen	Janssen	Janssen	Janssen	Janssen	Janssen

		Manioc racine sèche	Mil Pennisetum typhoides	Mil "mil blanc" "mil rouge"	Mil Son	Niébé	Blé Son	Blé Rémoulage
sources principales		EMVT IO7, divers	IO7 ICRISAT Tables	EMVT Tables	EMVT Tables IO7	EMVT calculs	IO7	IO7
MS	g/kg MB	874	896	914	923	930	869	879
CB	g/kg MB	30	13	37	46	51	89	64
ADF	g/kg MB	46	22	62	77	79	108	92
NDF	g/kg MB	72	55	154	295	142	364	313
MAT	g/kg MB	25	102	88	124	220	150	151
LYS	g/kg MB	1.1	3.6	2.1	4.4	15.7	6.2	6.3
MET	g/kg MB	0.4	2.7	1.5	3.3	3.5	2.3	2.3
AAS	g/kg MB	0.9	6.0	3.2	7.3	6.2	5.5	5.6
THR	g/kg MB	0.8	4.1	3.0	5.0	8.1	5.0	5.1
TRY	g/kg MB	0.3	1.9	0.9	2.3	0.4	2.1	2.2
MG	g/kg MB	10	48	42	74	20	35	37
ENA	g/kg MB	760	712	718	625	597	545	587
MM	g/kg MB	49	20	28	54	41	50	40
Ca	g/kg MB	2.0	0.3	1.4	0.9	1.7	1.7	1.9
P Total	g/kg MB	1.5	3.0	2.6	5.2	3.5	9.9	6.6
P Dispo	g/kg MB	0.5	0.5	0.4	0.9	1.1	4.6	3.0
EMA	kcal/kg MB	3020	3410	3330	3220	2840	1820	2310
estimée d'après :		Janssen et INRA	Janssen (moyenne des valeurs mil / sorgho / maïs)		Janssen (d'après pois)		Janssen	Janssen

		Arachide tourteau industriel	Arachide tourteau artisanal	Arachide huile	Coton Tourteau	Poisson farine industrielle	Poisson farine artisanale	Palmiste tourteau expeller	Sésame tourteau expeller	Soja tourteau 48 standard
Sources principales		EMVT Calculs	EMVT Calculs	Tables	EMVT IO7 Tables	EMVT Tables	EMVT Tables	IO7	IO7	IO7
MS	g/kg MB	924	929	990	926	913	900	906	933	880
CB	g/kg MB	131	47	0	125	0	0	163	64	61
ADF	g/kg MB	152	80	0	170	0	0	353	109	74
NDF	g/kg MB	260	117	0	263	0	0	640	270	127
MAT	g/kg MB	469	430	0	419	612	486	149	425	455
LYS	g/kg MB	16.0	14.7	0.0	16.8	46.1	36.6	4.6	11.3	28.2
MET	g/kg MB	4.7	4.3	0.0	6.1	17.2	13.7	2.9	11.8	6.4
AAS	g/kg MB	10.6	9.8	0.0	13.6	22.5	17.9	4.5	18.6	13.3
THR	g/kg MB	12.4	11.4	0.0	13.7	25.9	20.5	4.7	14.6	17.7
TRY	g/kg MB	4.5	4.2	0.0	5.2	6.2	5.0	1.0	5.9	6.0
MG	g/kg MB	11	157	990	25	66	81	86	111	19
ENA	g/kg MB	255	244	0	286	12	41	466	231	281
MM	g/kg MB	58	51	0	71	224	293	42	103	64
Ca	g/kg MB	1.0	1.1	0.0	2.2	82.2	49.5	2.8	16.2	3.5
P Total	g/kg MB	5.4	6.0	0.0	12.6	42.0	18.0	5.5	11.9	6.2
P Dispo	g/kg MB	0.6	0.6	0.0	1.3	36.3	15.3	0.6	1.2	0.9
EMA	kcal/kg MB	2040	3350	9250	1710	2820	2500	1830	2490	2260
estimée d'après :		Janssen	Janssen	INRA	Janssen (équation)	Janssen et INRA	Janssen et INRA	INRA T. délipidé + huile	Janssen (équation)	Janssen (équation)

		Méthionine	Lysine	Sel de mer	Coquillages	Os Calciné	Calcaire naturel	Phosphate bicalcique dihydraté	Phosphate tricalcique	Phosphate de roche naturel
Sources principales		Tables	Tables	Tables	Tables	Tables EMVT	Tables	Tables	Tables	Tables
MS	g/kg brut	990	990	950	970	990	990	990	990	990
CB	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADF	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NDF	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAT	g/kg MS	587	956	0	0	0	0	0	0	0
LYS	g/kg MS	0	790	0	0	0	0	0	0	0
MET	g/kg MS	990	0	0	0	0	0	0	0	0
AAS	g/kg MS	990	0	0	0	0	0	0	0	0
THR	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRY	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MG	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENA	g/kg MS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MM	g/kg MS	10	0	1000	1000	950	1000	1000	1000	1000
Ca	g/kg MS	2	0	8	367	337	380	247	374	330
P Total	g/kg MS	0	0	0	0.5	164	0.2	188	197	150
P Dispo	g/kg MS	0	0	0	0.5	131	0.2	169	158	25 à 75
EMA	kcal/kg MS	5800	5020	0	0	0	0	0	0	0

Profils en Acides Aminés de certaines matières premières

	Mais	Sorgho	Mil	Issues Riz	Issues Blé	Niébé	Soja	Arachide	Coton	F viande	F sang	F poisson
	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT	% MAT
ALA	7.81	9.78	7.69	6.61	4.68	4.20	4.40	4.07	4.34	7.37	8.05	6.42
ARG	4.51	3.86	5.01	8.25	6.75	6.15	7.51	11.42	10.60	6.84	4.31	5.86
ASP	7.05	7.68	7.43	9.53	7.20	11.56	11.38	11.53	9.21	7.08	10.80	9.35
CYS	2.39	1.90	3.22	2.05	2.13	1.21	1.51	1.27	1.78	1.06	0.96	0.87
GLU	18.76	22.39	17.79	14.16	20.08	17.32	17.50	19.62	18.87	11.69	9.56	12.88
GLY	3.83	3.37	3.54	5.73	5.17	3.81	4.16	5.58	4.06	12.78	4.41	6.47
HIS	2.87	2.34	2.68	2.83	2.66	2.94	2.59	2.32	2.74	1.90	6.19	2.42
ILE	3.65	4.18	4.77	3.84	3.28	3.46	4.81	3.44	3.29	2.85	1.09	4.42
LEU	12.34	13.57	9.80	7.32	6.12	7.15	7.48	6.18	5.77	5.86	13.05	7.27
LYS	2.91	2.36	3.52	4.71	4.15	7.10	6.20	3.41	4.01	5.10	9.17	7.54
MET	2.10	1.70	2.63	2.26	1.55	1.60	1.41	1.00	1.46	1.29	1.11	2.81
PHE	4.95	5.24	4.99	4.80	3.90	5.41	5.01	4.81	4.99	3.38	6.93	3.85
PRO	9.43	9.41	6.48	4.72	6.80	5.89	4.88	3.47	3.72	8.25	4.29	3.54
SER	4.72	4.93	4.49	4.70	4.18	5.41	5.05	4.61	4.17	4.21	4.98	3.99
THR	3.53	3.42	4.00	3.79	3.36	3.68	3.89	2.65	3.26	3.25	4.60	4.23
TRP	0.74	1.03	1.82	1.14	1.41	0.83	1.31	0.97	1.24	0.60	1.25	1.02
TYR	3.42	3.80	3.22	3.57	2.43	2.98	3.41	3.46	2.77	2.21	2.99	3.08
VAL	4.95	5.15	5.43	5.96	4.77	4.20	4.86	4.15	4.65	4.24	8.69	5.12

II. Formules alimentaires et utilisation des renseignements fournis par le logiciel

II-1. Formules alimentaires

Huit formules alimentaires (tableaux 12 et 13) ont été proposées pour chaque catégorie de production (chair ou œufs), et chaque période d'élevage à partir des caractéristiques analytiques des matières premières figurant dans le référentiel (tableau 11), et du prix actualisé des matières premières.

Ces rations incorporent des céréales à différents pourcentages: soit du maïs seul, soit du maïs partiellement ou totalement substitué par d'autres céréales locales.

Les formules ont été optimisées sur la base des principales contraintes nutritionnelles et du prix des matières premières. Les plages d'invariance, ou de stabilité des formules sont également fournies. Pour la production de poulets de chair, le coût de l'aliment a varié de 126 à 183 F/kg pour le démarrage (tableau 12a), et de 132 à 170 F/kg pour la finition (tableau 12b).

En ce qui concerne la production d'œufs de consommation, le coût de l'aliment formulé a varié de 117 à 144 F/kg pour le démarrage (tableau 13a), 129 à 219 F/kg pour la finition de la poulette (tableau 13b), et 133 à 216 F/kg pour la ponte (tableau 13c).

Tableau 12a : Formules alimentaires pour poulet de chair (démarrage, 0-3 semaines)

Formule n°1: 125,84 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Calcaire naturel	0,029	35	35	48,12	CB	4,38
Farine poisson industrielle	9,5	295	101,26	651,31	MAT	21
Huile arachide	2	600	600	2232,21	Lys	1,1
Lysine	0,18	4000	3018,88	6942,56	Mét	0,45
Maïs local	10,3	135	129,54	146,16	Mét+Cys	0,85
Son mil	46,04	50	50	65,93	Ca	0,95
Mil (<i>pennisetum glaucum</i> : souma)	18,2	130	120,32	136,66	PT	0,8
Tourteau arachide industrielle	13,75	130	103,13	643,56	Pdisp	0,41
					EM (kcal/kgMB)	3200
Formule n° 2 : 148,37 f cfa/kg						
Farine basse industrielle de riz	4,1	60	48,71	76,25	CB	3,45
Farine poisson industrielle	10,03	295	230,49	316,67	MAT	21
Huile arachide	1,46	600	555,06	764,12	Lys	1,1
Lysine	0,15	4000	3111,36	6354,39	Mét	0,45
Son mil	10	50	50	116,25	Mét+Cys	0,83
Mil (<i>pennisetum glaucum</i> : souma)	59,75	130	110,36	135,14	Ca	0,97
Tourteau arachide industrielle	14,5	130	130	186,28	PT	0,8
					Pdisp	0,42
					EM (kcal/kgMB)	3200
Formule n° 3 : 134,4 f cfa/kg						
Farine poisson artisanal	11,97	125	125	149,12	CB	3
Farine basse industrielle de riz	5,96	60	5,06	69,26	MAT	21
Farine poisson industrielle	4,51	295	246,54	693,31	Lys	1,1
HuArach	2	600	600	1567,68	Mét	0,48
Lys	0,024	4000	1363,79	8094,82	Mét+Cys	0,85
SPTan	6	120	99,4	124,84	Ca	1
Smil	10	50	50	92,93	PT	0,78
Mpenty	49,57	130	124,59	157,73	Pdisp	0,4
TarInd	9,9	130	108,79	289,97	EM (kcal/kgMB)	3200
Formule n° 4 : 177,96 f cfa/kg						
Farine basse industrielle de riz	0,813	60	56,77	78,62	CB	3,48
Farine poisson industrielle	10	295	295	621,76	MAT	21
Huile arachide	2	600	600	1737,33	Lys	1,1
Lysine	0,234	4000	1533,97	4013,46	Mét	0,461
Metionine	0,054	4000	3835,86	15860,56	Mét+Cys	0,8
Sorgho pauvre en tanins	33,92	120	96,08	120,01	Thréo	1,3
Son de mil	10	50	50	92,23	Thréo	0,24
Mil (<i>pennisetum glaucum</i>)	28,6	130	129,93	171,48	Ca	0,964
Tourteau arachide industrielle	13,79	130	129,85	286,52	PT	0,744
Thréonine	0,59	4000	3944,3	30845,39	Pdisp	0,413
					EM (kcal/kgMB)	3200

Tableau 12a (suite)

Formule n°5 : 183,3 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Calcaire naturel	0,082	35	35	50,54	CB	4,17
Farine basse industrielle de riz	3,364	60	60	164,64	MAT	21
Farine poisson	6	295	295	2501,73	Lys	1,1
Huile arachide	2	600	600	1162,57	Mét	0,47
Lysine	0,373	4000	1172,24	6040,47	Mét+Cys	0,8
Mais local	45,97	135	122,7	148,97	Thréo	1,3
Méthionine	0,124	4000	2713,55	18726,43	Tryp	0,2
Os calcinés	0,94	40	40	1486,16	Ca	0,95
Sorgho pauvre en tanins	10,5	120	107,67	131,39	PT	0,8
Son de mil	10	50	50	182,36	Pdisp	0,4
Tourteau arachide artisanal	5	120	120	1454,93		
Tourteau arachide industriel	15	130	130	1304,7	EM (kcal/kgMB)	3200
Thréonine	0,65	4000	1841,51	4000		
Formule n°6 : 140,39 f cfa/kg						
Farine poisson industrielle	10,05	295	6295	652,18	CB	3,9
Huile arachide	0,05	600	532,26	632,2	MAT	21
Lysine	0,03	4000	3645,15	4507,42	Lys	0,95
Mil blanc rouge (samo)	43,17	120	104	120,85	Mét	0,4
Son de mil	30,1	50	45,34	68,4	Thréo	1,3
Tourteau arachide artisanal	14,03	120	113,79	132,38	Ca	1
Tourteau de coton	2	110	110	110	PT	0,8
Thréonine	0,6	4000	3039,92	5722,75	Pdisp	0,42
					EM (kcal/kgMB)	3200
Formule n°7 : 167,49 f cfa/kg						
Farine poisson industrielle	10	295	295	683,64	CB	4
Huile arachide	2	600	600	718,27	MAT	21
Lysine	0,02	4000	1064,21	4650,32	Lys	0,95
Mais standard	15,4	135	132,25	137,73	Mét	0,39
Os calcinés	0,06	40	40	105,98	Thréo	1,3
Mil blanc rouge	45,18	120	116,51	121,38	Ca	1,05
Son de mil	6,69	50	32,68	57,72	PT	0,8
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> :souna)	0,7	130	128,12	135,24	Pdisp	0,42
Tourteau arachide artisanal	9,37	120	86,13	132,28	EM (kcal/kgMB)	
Tourteau de coton	10	110	110	110		
Thréonine	0,59	4000	4000	5456,69		
Formule n°8 : 152,54 f cfa/kg						
Farine poisson industrielle	10,55	295	133,82	296,35	CB	2,762
Sorgho	30	120	38,37	120	MAT	21,4
Son de mil	13,8	50	48,11	50,36	Lys	0,95
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> , souna)	30	130	46,52	130	Mét	0,4
Tourteau arachide artisanal	14	120	119,67	122,97	Thréo	1,3
Tourteau de palmiste	1,1	25	23,01	26,23	Ca	1
Thréonine	0,56	4000	2461,48	4278,62	PT	0,8
					Pdisp	0,45
					EM (kcal/kgMB)	3200

Tableau 12b : Formules alimentaires pour poulet de chair (finition; 3 semaines-abattage)

Formule n°1 : 131,99 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Farine poisson artisanale	9,98	125	88,51	167,39	CB	3,65
Farine basse industrielle de riz	3,41	60	7,54	77,54	MAT	18,5
Farine de poisson industrielle	3,9	295	264,57	321,72	Lys	0,9
Huile arachide	0,76	600	532,75	705,73	Mét	0,4
Mais standard	61,2	135	118,98	137,62	Mét+Cys	0,7
Sorgho pauvre en tanins	2,24	120	118,12	127,07	Tryp	0,18
Son de Mil	10	50	50	57,06	Ca	0,9
Tourteau arachide industriel	8,5	130	115,89	155,38	PT	0,64
					Pdisp	0,34
					EM(kcal/kgMB)	3100
Formule n°2 : 139,1 f cfa/kg						
Calcaire naturel	0,16	35	35	37,86	CB	4
Farine basse industrielle de riz	1,42	60	60	75,62	MAT	18,5
Farine poisson industrielle	8,1	295	225,29	324,27	Lys	0,8
Huile arachide	0,65	600	507,16	624,71	Mét	0,37
Mais standard	52,39	135	131,36	135,62	Mét+Cys	0,67
Méthionine	0,016	4000	3067,47	6490,58	Tryp	0,18
Mil blanc rouge (sania)	13,79	120	119,51	123,4	Ca	0,87
Son de Mil	10	50	50	52,28	PT	0,64
Tourteau arachide industriel	13,48	130	111,54	157,93	Pdisp	0,34
					EM(kcal/kgMB)	3100
Formule n°3 : 161,87 f cfa/kg						
Calcaire naturel	0,04	35	35	36,78	CB	4,28
Farine poisson industrielle	8,15	295	240,54	332,19	MAT	18,5
Huile arachide	1,53	600	553,87	806,73	Lys	0,8
Lysine	0,04	4000	2380,57	7111,89	Mét	0,037
Méthionine	0,03	4000	2263,09	19456,66	Mét+Cys	0,66
Mil blanc rouge (sania)	56,52	120	119,2	121,66	Thréo	1,2
Son de Mil	10	50	50	111,08	Tryp	0,2
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> ; souva)	10,93	130	100,58	133,14	Ca	0,8
Tourteau arachide industriel	12,18	130	95,62	184,48	PT	0,64
Threonine	0,58	4000	279,33	14319,84	Pdisp	0,34
					EM (kcal/kgMB)	3200
Formule n°4 : 170,08 f cfa/kg						
Calcaire naturel	0,095	35	35	40,53	CB	3,93
Farine poisson industrielle	6	295	295	638,45	MAT	18,5
Huile arachide	2	600	600	925,59	Lys	0,8
Lysine	0,1	4000	4000	805,45	Mét	0,37
Mais standard	37,82	135	1840,48	7736,18	Mét+Cys	0,65
Méthionine	0,054	4000	132,43	137,84	Thréo	1,2
Os calcines	0,603	40	1135,61	7875,35	Tryp	0,18
Mil blanc rouge (sania)	27,7	120	117,91	122,24	Ca	0,87
Son de Mil	8,71	50	39,42	62,22	PT	0,64
Tourteau arachide artisanal	5	120	120	215,87	Pdisp	0,34
Tourteau arachide industriel	11,3	130	47,39	239,5	EM (kcal/kgMB)	3200
Threonine	0,62	4000	198,57	10738,02		

Tableau 12b (suite)

Formule n°5 : 170,34 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Calcaire naturel	0,16	35	35	36,12	CB	2,8
Farine industrielle poisson	8,16	295	237,9	655,46	MAT	18,5
Huile arachide	1	600	477,8	619,13	Lys	0,8
Maïs standard	68,95	135	132,94	135,14	Mét	0,37
Méthionine	0,02	4000	3725,86	7337,21	Mét+Cys	0,68
Mil blanc rouge (sanio)	3,7	120	119,88	122,67	Tryp	1,2
Son de Mil	2,28	50	41,06	50,65	Ca	0,17
Tourteau arachide artisanal	10,18	120	83,68	123,54	PT	0,87
Tourteau de coton	5	110	110	110	Pdisp	0,64
Thréonine	0,8	4000	1868,29	9749,93	EM(kcal/kgMB)	3200
Formule n°6 : 175,76 f cfa/kg						
Coquillages	0,35	35	35	46,33	CB	2,9
Farine poisson industrielle	8	295	125	421,99	MAT	18,5
Huile arachide	1,16	600	399,44	842,74	Lys	0,92
Lysine	0,2	4000	2695,97	5286,02		0,37
Maïs local	12	135	135	202,96	Mét	0,67
Méthionine	0,01	4000	98,84	130,48	Mét+Cys	1,2
Sorgho pauvre en tanins	38,13	120	130	201,91	Tryp	0,2
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> : souna)	30	130	130	130	Ca	0,9
Tourteau arachide industriel	9,56	130	130	201,91	PT	0,64
Thréonine	0,58	4000	2919,3	4000	Pdisp	0,34
					EM(kcal/kgMB)	3100
Formule n°7 : 182,73 f cfa/kg						
Calcaire naturel	0,21	35	35	39,04	CB	2,6
Farine poisson industrielle	6,41	295	206,25	299,26	MAT	18,5
Lysine	0,32	4000	4000	4874,37	Lys	1
Maïs local	13	135	130,05	144,72	Mét	0,37
Maïs standard	25	135	135	140,44	Mét+Cys	0,7
Méthionine	0,02	4000	3544,77	7094,88	Thréo	1,34
Os calcinés	0,47	40	40	72,69	Tryp	0,2
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> : souna)	40	130	130	130	Ca	0,87
Tourteau arachide artisanal	6,97	120	114,19	138,76	PT	0,64
Tourteau arachide industriel	6,85	130	93,4	134,71	Pdisp	0,34
Thréonine	0,74	4000	3923,56	4515,34	EM (kcal/kgMB)	3200
Formule n°8 : 163,04 f cfa/kg						
Calcaire naturel	0,2	35	35	35,93	CB	2,7
Farine industrielle poisson	8,05	295	133,91	747,55	MAT	18,5
Huile arachide	0,41	600	483,62	610,73	Lys	0,8
Lysine	0,04	4000	3530,92	4053,48	Mét	0,4
Maïs standard	40,86	135	131,31	135,15	Mét+Cys	0,65
Méthionine	0,03	4000	2289,56	4145,7	Thréo	1,2
Nièbe	1,19	245	244,17	250,7	Tryp	0,17
Sorgho pauvre en tanins	30	120	87,08	120	Ca	0,87
Son de Mil	7,7	50	41,48	51,4	PT	0,64
Tourteau arachide artisanal	10,9	120	109,28	121,29	Pdisp	0,34
Thréonine	0,6	4000	2326,37	4138,94	EM (kcal/kgMB)	3200

Tableau 13a : Formules alimentaires pour poulettes (démarrage; 0-6 semaines)

Formule n°1 : 119,93 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. inf.	Lim. Sup.		
Coquillages	0,68	35	35	39,71	CB	5
Farine poisson industrielle	5,34	295	263,12	540,69	MAT	17,5
Lysine	0,2	4000	3622,78	4405,98	Lys	0,85
Maïs standard	2,77	135	132,66	135,36	Mét	0,33
Méthionine	0,03	4000	207,83	4984,46	Mét+Cys	0,62
Mil blanc rouge (sario)	40,38	120	119,75	121,33	Ca	0,85
Sorgho pauvre en tanins	10,3	120	119,75	120,59	PT	0,67
Son de blé	19,04	60	39,33	62,83	Pdisp	0,32
Son de mil	10	50	50	87,64		
Tourteau arachide artisanal	5	120	120	121,62	EM (kcal/kgMB)	2900
Tourteau arachide industriel	6,27	130	127,54	167,43		
Formule n°2 : 139 f cfa/kg						
Coquillages	0,3	35	35	98,86	CB	5
Farine poisson industrielle	6	295	295	337,03	MAT	18,3
Lysine	0,12	4000	3253,14	10306,98	Lys	0,85
Maïs standard	64,68	135	90,46	142,99	Mét	0,33
Méthionine	0,01	4000	1219,45	337762,23	Mét+Cys	0,623
Os calcines	0,41	40	40	175,21	Ca	0,85
Son mélangé de riz	7,25	70	44,6	104,04	PT	0,67
Son fin et farine basse de riz	3,8	60	60	94,56	Pdisp	0,32
Son de mil	1,44	50	12,27	81,07	EM (kcal/kgMB)	2910
Tourteau arachide industriel	16	130	130	262,59		
Formule n°3 : 144,2 f cfa/kg						
Coqui	0,3	35	35	188,91	CB	5
FPInd	3,57	295	237,21	593,91	MAT	17,5
Lys	0,27	4000	4000	4995,94	Lys	0,85
MaïsSt	40	135	135	165,87	Mét	0,33
Mét	0,51	4000	4000	7467,2	Mét+Cys	0,6
OsCal	1,1	40	40	247,69	Ca	0,85
RizSM	8,05	70	22,82	141,36	PT	0,67
SFFBRiz	1,2	60	60	82,32	Pdisp	0,32
Smil	29,37	120	92,38	138,99	EM (kcal/kgMB)	2910
TArInd	16	130	130	460,85		
Tryp	0,1	4000	2717,62	4013,35		
Formule n°4: 129,47 f cfa/kg						
Coquillages	0,7	35	19,9	44,64	CB	4
Farine poisson industrielle	5,82	295	276,61	300,19	MAT	14
Lysine	0,05	4000	3955,44	4923,38	Lys	0,65
Maïs standard	69,05	135	134,58	136,06	Mét	0,29
Son fort de riz	1,9	80	76,83	80,85	Mét+Cys	0,55
Son de blé	16,34	60	59,43	62,03	Ca	0,85
Son de mil	3,06	50	43,82	50,48	PT	0,6
Tourteau arachide industriel	3,06	130	128,49	153,38	Pdisp	0,32
					EM (kcal/kgMB)	2910

Tableau 13a (suite)

Formule n°5 : 117,31 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Coquillages	0,68	35	19,83	44,64	CB	4,5
Farine poisson industrielle	5,8	295	276,62	300,2	MAT	17,5
Lysine	0,13	4000	3955,35	4923,09	Lys	0,85
Mais standard	26,8	135	134,58	136,05	Mét	0,36
Son fort de riz	0,57	80	76,83	80,85	Mét+Cys	0,7
Son de blé	13,57	60	59,43	62,03	Ca	0,85
Son de mil	22,7	50	43,82	50,48	PT	0,67
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> : souna)	20	130	109,73	130	Pdisp	0,32
Tourteau arachide industriel	9,77	130	128,49	153,36	EM (kcal/kgMB)	2910
Formule n°6 : 125,46 f cfa/kg						
Coquillages	0,53	35	35	45,41	CB	5
Farine poisson industrielle	6,55	295	264,7	334,11	MAT	17,5
Lysine	0,15	4000	2647,29	4352,03	Lys	0,85
Mais standard	0,12	135	121,76	136,15	Mét	0,35
Son fort de riz	5,1	80	67,67	86,92	Mét+Cys	0,68
Sorgho	30	120	98,33	120	Ca	0,85
Son de blé	6,5	60	55,83	63,12	PT	0,67
Son de mil	12,93	50	44,11	56,59	Pdisp	0,32
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> : souna)	30	130	111,64	130	EM (kcal/kgMB)	2910
Tourteau arachide industriel	8,1	130	105,29	139,08		
Formule n°7 : 1 f cfa/kg						
Coquillages	0,28	35	35	46,78	CB	4,37
Farine poisson industrielle	7,44	295	295	1422,36	MAT	17,5
Lysine	0,1	4000	3493,68	37365,6	Lys	0,85
Mais standard	74,1	135	98,76	162,51	Mét	0,35
Son fort de riz	3,67	80	35,7	300,37	Mét+Cys	0,66
Tourteau de coton	14,05	110	110	126,91	Ca	0,85
Tryptophane	0,36	4000	2319,43	4529,14	PT	0,67
					Pdisp	0,32
					EM (kcal/kgMB)	2910
Formule n°8: 125,57 f cfa/kg						
Calcaire naturel	0,44	35	35	35,35	CB	4,6
Farine poisson industrielle	6,14	295	251,37	351,64	MAT	18,32
Lysine	0,12	4000	3708,07	4440,82	Lys	0,85
Mais standard	30	135	122,39	135	Mét	0,33
Mil blanc rouge (samo)	1,84	120	118,5	121,03	Mét+Cys	0,64
fin et farine basse de riz	2,78	60	46,38	62,12	Ca	0,8
Sorgho pauvre en tanins	25	120	119,01	120	PT	0,67
Son de blé	11,2	60	53,7	65,15	Pdisp	0,32
Son de mil	10	50	50	119,06		
Tourteau arachide industriel	12,48	130	124,45	135,37	EM (kcal/kgMB)	2900

Tableau 13b : Formules alimentaires pour poulette (finition; 6 semaines- le oeuf)

Formule n°1: 152,58 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Coquillages	0,24	35	35	216,96	CB	5
Farine poisson industrielle	2,44	295	223,07	827,23	MAT	14,4
Lysine	0,17	4000	4000	6462,94	Lys	0,65
Maïs standard	77,21	135	135	181,25	Mét	0,28
Méthionine	0,04	4000	4000	8740,64	Mét+Cys	0,53
Os calcinés	1,46	40	40	297,35	Ca	0,85
Son fort de riz	6,38	80	80	129,72	PT	0,6
Tourteau arachide industriel	11,75	130	130	161,87	Pdisp	0,32
Thréonine	0,29	4000	1759,02	4058,51	EM (kcal/kgMB)	2900
Formule n°2: 159,42 f cfa/kg						
Coquillages	0,24	35	35	220,91	CB	5
Farine poisson industrielle	2,85	295	157,46	377,46	MAT	14,5
Lysine	0,17	4000	1392	7800,95	Lys	0,65
Maïs standard	70	135	135	229,55	Mét	0,28
Méthionine	0,03	4000	4000	14112,69	Mét+Cys	0,52
Os calcinés	1,34	40	40	529,83	Ca	0,85
Son fort de riz	6,85	80	31,4	1767,48	PT	0,6
Sorgho pauvre en tanins	7,42	120	73,05	160	Pdisp	0,32
Tourteau arachide industriel	10,58	130	92,54	192,15	EM (kcal/kgMB)	2900
Thréonine	0,48	4000	994	4075,58		
Formule n°3: 219,04 f cfa/kg						
Coquillages	0,3	35	35	254,5	CB	5
Farine poisson industrielle	6	295	295	3468,18	MAT	14,13
Huile arachide	0,05	600	600	1149,82	Lys	0,65
Lysine	0,15	4000	2154,73	22684,9	Mét	0,28
Maïs standard	40	135	135	1776,42	Mét+Cys	0,51
Méthionine	0,01	4000	1846,69	4000	Ca	0,85
Os calcinés	0,43	40	40	2299,33	PT	0,6
Son fort de riz	10,16	80	80	134,91	Pdisp	0,32
Sorgho pauvre en tanins	30	120	120	1447,36	EM (kcal/kgMB)	2900
Son de mil	10	50	50	383,83		
Tourteau arachide industriel	0,64	130	112,74	303,3		
Thréonine	2,26	4000	600,01	4000,07		
Formule n°4: f cfa/kg						
Coquillages	0,62	35	35	45,97	CB	4
Farine poisson industrielle	6	295	292,07	417,96	MAT	14
Lysine	0,06	4000	3974,96	6469,06	Lys	0,65
Maïs standard	66,83	135	131,49	135,26	Mét	0,29
Mil blanc rouge (samio)	4,34	120	119,73	123,08	Mét+Cys	0,54
Son de blé	14,98	60	44,25	60,35	Ca	0,85
Tourteau arachide industriel	2,17	130	129,44	160,17	PT	0,6
Tourteau de coton	0,25	110	110	110	Pdisp	0,32
Tourteau de palmiste	4,76	25	24,71	42,22	EM (kcal/kgMB)	2910

Tableau 13b (suite)

Formule n°5: 176,53 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Coquillages	0,1	35	35	362,82	CB	4,4
Farine poisson industrielle	4,66	295	243,18	2236,51	MAT	14,5
Mais standard	72,35	135	16,95	503,73	Lys	0,65
Niébé	9,11	245	26,5	329,89	Mét	0,29
Os calcinés	0,86	40	40	466,27	Mét+Cys	0,49
Son fort de riz	7,13	80	80	1505,47	Ca	0,85
Tourteau de coton	5	110	110	110	PT	0,6
Thréonine	0,78	4000	2080,44	4240,4	Pdisp	0,32
					EM (kcal/kgMB)	2910
Formule n°6: 138,04 f cfa/kg						
Coquillages	0,31	35	35	60,79	CB	5
Farine poisson industrielle	4,76	295	116,22	362,19	MAT	14
Lysine	0,1	4000	784,31	5374,99	Lys	0,65
Mais standard	54,19	135	130,39	143,95	Mét	0,29
Niébé	2,3	245	231,48	472,61	Mét+Cys	0,54
Os calcinés	0,71	40	40	359,54	Ca	0,85
Son fort de riz	8,68	80	80	105,09	PT	0,6
Son de blé	3,2	60	50,01	111,61	Pdisp	0,32
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> :souna	20	130	59,33	130	EM (kcal/kgMB)	2910
Tourteau arachide industriel	5,76	130	130	160,92		
Formule n°7: 145,15 f cfa/kg						
Coquillages	0,06	35	35	70,69	CB	5
Farine poisson industrielle	2,9	295	98,28	533,57	MAT	14
Mais standard	38,23	135	119,66	153,78	Lys	0,65
Niébé	12,97	245	204,04	453,83	Mét	0,29
Os calcinés	1,34	40	40	461,39	Mét+Cys	0,49
Son fort de riz	10	80	80	153,3	Ca	0,85
Son de blé	0,27	60	27,77	168,37	PT	0,6
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> :souna	30	130	39,33	130	Pdisp	0,32
Tourteau arachide industriel	4,16	130	130	215,73	EM (kcal/kgMB)	2910
Formule n°8: 176,54 f cfa/kg						
Coquillages	0,12	35	35	250,25	CB	5
Farine poisson industrielle	4,4	295	295	2297,6	MAT	13,72
Lysine	0,04	4000	4000	49790,64	Lys	0,65
Mais standard	15,5	135	58,89	344,42	Mét	0,29
Niébé	10,4	245	245	429,34	Mét+Cys	0,49
Os calcinés	0,92	40	40	2150,91	Ca	0,85
Son fort de riz	11,84	80	80	952,39	PT	0,6
Sorgho pauvre en tanins	25	120	120	120	Pdisp	0,32
Sorgho riche en tanins	0,85	120	18,71	175,16	EM (kcal/kgMB)	2910
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i> :souna)	30	130	130	130		
Thréonine	0,89	4000	1005,54	4000		

Tableau 13c : Formules alimentaires pour poules pondeuses (climat chaud 30°C, consommation alimentaire: 97g)

Formule n°1: 132,46 f cfa/kg					
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)
			Lim. Inf.	Lim. Sup.	
Calcaire naturel	9,52	35	35	38,72	CB 5
Farine basse industriel de riz	7,1	60	60	77,23	MAT 18,5
Farine poisson industrielle	6	295	295	517,41	Lys 0,87
Huile arachide	2	600	600	668,19	Mét 0,39
Lysine	0,14	4000	1767,43	7272,46	Ca 4,45
Mais local	16,54	135	133,37	143,79	PT 0,75
Méthionine	0,07	4000	510,63	7903,33	Pdisp 0,35
Os calcinés	0,59	40	40	946,73	EM (kcal/kgMB) 2900
Mil blanc rouge (sario)	30,25	120	111,96	120,68	
Son de mil	10	50	50	124	
Touteau arachide artisanal	5	120	120	239,19	
Touteau arachide industriel	12,76	130	49,45	148,3	
Formule n°2: 132,66 f cfa/kg					
Calcaire naturel	9,57	35	65	38,22	CB 5
Farine basse industriel de riz	7,65	60	60	74,54	MAT 18,5
Farine poisson industrielle	6	295	295	521,64	Lys 0,93
Huile arachide	1,59	600	406,36	650,26	Mét 0,41
Lysine	0,24	4000	1775,53	6098,07	Ca 4,45
Méthionine	0,1	4000	454,19	7238,63	PT 0,75
Os calcinés	0,58	40	1,51	960,02	Pdisp 0,35
Mil blanc rouge (sario)	14,65	120	118,04	120,68	EM (kcal/kgMB) 2900
Sorgho pauvre en tanins	33,6	120	119,35	121,84	
Son de mil	10	50	50	124,9	
Tourteau arachide industriel	16	130	130	148,26	
Formule n°3 :216,16 f cfa/kg					
Calcaire naturel	9,03	35	35	242,65	CB 4,5
Farine poisson industrielle	6	295	295	12860,26	MAT 18,5
Huile arachide	2	600	600	22749,38	Lys 0,96
Lysine	0,31	4000	4000	27025,78	Mét 0,45
Mais standard	54,2	135	135	281,12	Ca 4,45
Méthionine	0,14	4000	4000	22036,2	PT 0,73
Os calcinés	0,1	40	40	304,18	Pdisp 0,43
Phosphate bicalcique	1	1840	1373,88	3729,5	EM (kcal/kgMB) 2799
Son de mil	10	50	50	746,54	
Tourteau arachide industriel	16	130	130	3432,32	
Tryptophane	1,17	4000	1904,69	5849,86	
Formule n°4: 152,79 f cfa/kg					
Calcaire naturel	9,5	35	35	53,53	CB 4
Farine basse industrielle de riz	7,98	60	60	133,91	MAT 18,5
Farine poisson industrielle	6	295	295	3613,56	Lys 0,96
Huile arachide	2	600	600	1176,44	Mét 0,41
Lysine	0,28	4000	4000	6094,62	Ca 4,45
Méthionine	0,1	4000	3951,99	4000	PT 0,75
Os calcinés	0,56	40	40	443,62	Pdisp 0,35
Mil blanc rouge (sario)	45,45	120	65,13	134,68	EM (kcal/kgMB) 2799
Son de ble	1,68	60	47,63	112,69	
Son de mil	10	50	50	267,17	
Tourteau arachide industriel	16	130	130	2076,01	
Tryptophane	0,48	4000	2583,23	4052,09	

Tableau 13c (Suite)

Formule n°5: 138,69 f cfa/kg						
Matières premières	Composition du mélange (%)	Prix (f cfa/kg)	Plage d'invariance (f cfa/kg)		composition chimique (%MB)	
			Lim. Inf.	Lim. Sup.		
Calcaire naturel	9,61	35	35	47,73	CB	5
Farine basse industrielle de riz	8,31	60	60	131,17	MAT	18,5
Farine poisson industrielle	6	295	295	3355,14	Lys	0,96
Huile arachide	1,83	600	196,71	1072,98	Mét	0,41
Lysine	0,27	4000	4000	5442,19	Ca	4,45
Maïs standard	17,25	135	110,99	196,67	PT	0,75
Méthionine	0,09	4000	3443,3	75909,3	Pdisp	0,35
Os calcinés	0,58	40	11,66	1558,51	EM (kcal/kgMB)	2799
Sorgho pauvre en tanins	30	120	120	209,74		
Son de mil	10	50	50	279		
Tourteau arachide industriel	16	130	130	2043,52		
Tryptophane	0,05	4000	2851,16	4737,65		
Formule n°6: 140,64 f cfa/kg						
Calcaire naturel	9,1	35	15,73	37,27	CB	3,42
Farine poisson industrielle	10,15	295	246,92	299,58	MAT	18,5
Huile arachide	1,4	600	589,45	614,29	Lys	0,93
Lysine	0,06	4000	3820,46	6376,88	Mét	0,41
Maïs standard	55,1	135	129,24	136,58	Tryp	0,19
Méthionine	0,02	4000	3570,75	5368,08	Ca	4,45
Son de mil	9,86	50	46,99	56,97	PT	0,75
Tourteau arachide industriel	4,29	130	125,96	177,85	Pdisp	0,42
Tourteau de coton	10	110	1,59	110	EM (kcal/kgMB)	2800
Formule n°7: 162,48 f cfa/kg						
Calcaire naturel	8,95	35	35	39,74	CB	3,4
Farine poisson industrielle	6,44	295	291,37	669,94	MAT	18,5
Huile arachide	1,13	600	600	623,95	Lys	0,96
Lysine	0,28	4000	2911,92	5892,65	Mét	0,41
Maïs standard	20	135	135	202,22	Tryp	0,19
Méthionine	0,09	4000	3779,62	20822,97	Ca	4,45
Phosphates naturels	1,27	30	30	32,45	PT	0,73
Sorgho pauvre en tanins	25,5	120	26,22	120	Pdisp	0,35
Mil (<i>Pennisetum glaucum</i>)	20	130	130	130	EM (kcal/kgMB)	2800
Tourteau arachide industriel	16	130	130	247,81		
Thréonine	0,35	4000	3154,31	4123,26		
Formule n°8: 135,22 f cfa/kg						
Calcaire naturel	8,94	35	1,5915,73	37,27	CB	3,32
Farine poisson industrielle	10,85	295	146,92	299,58	MAT	18,5
Huile arachide	0,69	600	589,45	614,29	Lys	0,93
Lysine	0,05	4000	3820,46	6376,88	Mét	0,46
Maïs standard	52,98	135	129,24	136,58	Tryp	0,19
Méthionine	0,02	4000	3570,75	5368,08	Ca	4,45
Son de mil	14,41	50	46,99	56,97	PT	0,75
Tourteau arachide industriel	7,1	130	125,96	177,85	Pdisp	0,44
Tourteau de coton	5	110	1,59	110	EM (kcal/kgMB)	2800

II-2. Utilisation des renseignements fournis par le logiciel

Les renseignements fournis par l'ordinateur sont nombreux:

1) le coût matières de la formule

2) la composition centésimale (pourcentage des matières premières choisies) de la formule

3) les caractéristiques nutritionnelles de la formule (activité des différentes lignes de contraintes).

En outre l'ordinateur fournit des renseignements économiques:

a) systématiquement:

- le coût marginal des contraintes nutritionnelles

- le coût marginal des matières premières hors base, lequel permet de déterminer avec précision « le prix d'intérêt » (ou prix d'intervention) de la matière considérée (tableau 14).

b)accessoirement des analyses postoptimales:

- l'analyse de sensibilité (ou stabilité) de la solution optimale, permet de connaître pour chaque matière première la fourchette de prix pour laquelle la formule optimale ne change pas de composition d'une part (plage d'invariance), et de préciser quel sera le nouveau pourcentage, d'autre part, lorsque la matière première considérée atteindra l'une ou l'autre des limites de prix, et enfin, quelle matière première entrera ou sortira de la formule.

- des études de paramétrisation sur un vecteur du modèle ligne de fonction économique ou colonne structurale, ou ligne de contrainte à partir de la solution optimale. Paramétrer consiste à faire varier par « pallier » la valeur d'une fonction dans une plage fixée à l'avance, et à constater les modifications éventuelles intervenant à chaque pallier sur la composition de la solution optimale.

Après chaque optimisation, le nutritionniste étudie le coût des différentes contraintes imposées dans un problème donné. Cette information est précieuse et peut lui permettre d'orienter ses recherches en s'attachant à vérifier, en station expérimentale, le bien fondé des spécifications et des contraintes les plus coûteuses.

La valeur des résultats obtenus par la programmation linéaire dépend pour une large part de l'exactitude avec laquelle le problème a été posé: valeur de la composition des matières premières, des contraintes nutritionnelles retenues. Il est donc très important pour le nutritionniste de connaître avec précision la valeur nutritionnelle de chacune des matières premières (notion de valeur de substitution), et de déterminer les équilibres nutritionnels les plus judicieux à appliquer à chaque type d'aliment: c'est un travail de longue haleine qui exige des moyens de recherches adaptés et importants (station expérimentale - laboratoire de contrôle, etc...).

Par ailleurs, le dépouillement systématique des coûts marginaux permet de fournir au responsable des achats les « prix d'intérêt » (ou valeurs limites de substitution) des différentes matières premières pour chaque formule optimisée. La connaissance régulière des prix d'intérêt des matières premières permet une concertation permanente entre le formulateur et l'acheteur, ce qui doit conduire logiquement à la saisie de toutes les opportunités sur le marché, ainsi qu'à un achat « raisonné » (et non spéculatif) des matières premières.

CHAPITRE 3 LIMITES ET RECOMMANDATIONS

Les limites principales de ce travail sont liées à la difficulté d'obtenir l'information appropriée, notamment pour les raisons suivantes:

- Les échantillons sont parfois insuffisamment référencés (origine géographique, process technologiques) pour permettre une bonne catégorisation des produits.

- L'existence, sous une même désignation (son de riz, tourteau d'arachide,..) de produits très différents. Dans la plupart des cas, ces produits correspondent surtout à des différences de process technologique, mais aussi probablement de variétés, conditions de culture et conditionnement.

- Le manque de connaissance précise de la catégorie à laquelle appartiennent les produits éventuellement disponibles au Sénégal.

- Le manque de données disponibles pour certaines matières premières, ou pour certains paramètres (valeur énergétique notamment). Des calculs et extrapolations ont parfois du être effectuées pour compléter la table.

I- Sur les matières premières

Pour affiner la table présentée et pour l'adapter aux spécificités sénégalaises, un certain nombre d'actions doivent être entreprises.

I-1/ Identification et nomenclature des matières premières

Les informations sur les ressources alimentaires doivent être affinées, en particulier par .

- une définition plus précise des matières premières disponibles.

- l'intégration de cette information dans une nomenclature précise des matières premières concernées : il faut un compromis entre deux écueils :

* trop peu de catégories : il y a alors une trop grande variabilité au sein de la catégorie et on cerne donc mal la qualité de la matière première;

* trop de catégories : dans ce cas il est difficile de déterminer dans quelle catégorie classer un lot donné. D'autre part, la valeur moyenne pour chaque catégorie est obtenue avec un nombre trop faible de données.

La nomenclature définie doit se baser sur une catégorisation adaptée. C'est un travail tout à fait essentiel à la création d'une bonne table d'alimentation. Les catégories faites a priori dans notre première proposition (2 types de maïs, de farine de poisson, de tourteau d'arachide, etc) doivent être éventuellement reconsidérées.

- l'estimation permanente des quantités de chaque matière première potentiellement disponible pour l'alimentation animale: les efforts analytiques devront bien entendu préférentiellement porter sur des matières premières quantitativement importantes (ou à fort potentiel de développement).

II- Sur la formulation

II-1. Identification et levée des contraintes de la formulation

A la lumière des travaux qui ont été réalisés sur l'alimentation des volailles industrielles, nous avons tenté de lister ci-dessous les contraintes qui limitent les possibilités d'optimisation de la formulation des aliments destinés aux volailles, et de proposer des solutions.

*** Règles générales à respecter en formulation**

Il s'agit en particulier :

- d'utiliser le plus grand nombre possible de matières premières, au minimum 7, compte tenu des possibilités au Sénégal ;
- se rapprocher autant que possible des besoins recommandés pour chaque catégorie de volailles durant les différentes périodes d'élevage, en évitant le phénomène de gaspillage ;
- ne jamais essayer de fabriquer un CMV soi-même, mais toujours utiliser du CMV commercialisé par une entreprise confirmée et veiller au respect des taux d'incorporation établis par le fabricant ;
- recourir à la lysine et à la méthionine de synthèse pour combler les déficits, même en cas d'utilisation d'un CMV ;
- recourir à l'huile végétale pour rehausser le niveau énergétique des rations pour poulets de chair, en veillant à ne pas dépasser le taux de 2% (risques de diarrhée) ;
- l'utilisation des sons est souhaitée pour une bonne régularisation du transit digestif, pour ce faire, le taux doit être compris entre 7 et 12% ;
- même si pour les céréales en général, il n'y a pas de limites d'incorporation, il faudra faire attention à l'utilisation du sorgho qui peut contenir des tanins, en particulier pour les sorghos rouges, il ne faut pas dépasser le taux de 30 - 35% ;
- la présence d'aflatoxines dans le tourteau d'arachide recommande de ne pas dépasser le taux de 20% ;
- ne pas dépasser le taux de 10% pour le tourteau de coton en raison de la présence du gossypol ;
- la limite de 5% ne doit pas être dépassée pour la farine de poisson dans les formules pour poulets de chair finition et pou poulés pondeuses pour éviter la transmission des odeurs et du goût aux produits.

CONCLUSION GENERALE

Le but de l'alimentation avicole est de fournir aux animaux des aliments dont les caractéristiques permettent, dans des conditions d'élevage données, une production de viande ou d'œufs assurant le bénéfice le plus élevé. En effet, il est tout à fait admis que l'alimentation représente le poste de dépense le plus élevé en aviculture (60 à 70% des coûts de production du poulet de chair et des œufs). La formulation rationnelle permet de produire un aliment de qualité et, en même temps, de réaliser des économies substantielles, et l'ensemble des acteurs de la filière de production gagnerait largement à la diffusion de son emploi. L'obtention d'un tel aliment exige de la part du formulateur le respect d'un certain nombre de conditions appelées contraintes de formulation pouvant être d'ordre nutritionnel, technologique ou commercial. Il s'agit soit des teneurs en nutriments, soit des limites d'incorporation d'ingrédients dues à leur toxicité ou à leur inappétence. On peut également être conduit à limiter les taux d'incorporation de produits peu abondants sur le marché.

La formulation d'aliments de qualité exige en outre une bonne connaissance de la qualité des matières premières. Dans les pays occidentaux, une masse considérable d'analyses alimente régulièrement les tables de composition publiques et privées des matières premières. Le référentiel sur la composition chimique qui a été élaboré au cours de ce travail est une ébauche. Il n'a pas la prétention de produire autant d'information dans les conditions sénégalaises. Il doit être amélioré pour correspondre aux spécificités nationales et régionales des productions agricoles, de l'industrie et de l'artisanat agro-alimentaire, et des recommandations ont été faites dans ce sens. Les issues de riz nécessitent un travail important sur la nomenclature, puisque les catégories commerciales ou usuelles déclarées par les pourvoyeurs d'échantillons et donc présente dans notre bases de données ne correspondent pas aux catégories qui peuvent être faites a posteriori en se basant sur la composition chimique. En ce qui concerne les issues d'origine industrielle, il est possible de standardiser les dénominations en travaillant

avec le fabricant, pour avoir des produits bien définis et correspondant à des process à peu près constants. Pour les issues artisanales en revanche, il est important de bien caractériser les pratiques techniques qui aboutissent aux différentes catégories d'issues. mais ce travail ne présentera une utilité que si l'on peut différencier les produits à l'achat.

Par ailleurs, sur la base des valeurs fournies par la table, et du prix des matières premières en cours en 1998, différentes formules alimentaires sont proposées afin de rencontrer un grand nombre de situations pratiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ADRIAN J. et JACQUOT R. 1964.** Le sorgho et les mils en alimentation humaine et animale. Ed. Vigot frères, Paris. 187 p.
- ANGLADETTE A. 1966.** Le riz. Paris, G. P. Maisonneuve et Larose: 930 p.
- ANSELME B. 1987.** L'aliment composé pour volaille au Sénégal: Situation actuelle, contribution à son amélioration pour une meilleure valorisation des ressources nutritionnelles locales. Th. Méd. Vét. N°87 Toulouse: 103(4103).
- DETHIER P. 1987.** Valeur nutritive des matières premières disponibles pour l'alimentation des volailles au Sénégal. Mémoire de fin d'études. Fac. sc. agro. Gembloux, Belgique
- DIENG A. 1984.** Utilisation des sous-produits agricoles et agro-industriels disponibles le long du fleuve Sénégal. Mém. Fin d'études. Fac. Sc. Agr. Gembloux.
- DIENG A., 1998** Optimisation de la formulation alimentaire en aviculture. Journées nationales de l'aviculture. Dakar du 25-28 Mai 1998
- Direction de l'agriculture/Division de la Statistique Agricole (DA/DISA) 1997.** Résultats définitifs de la campagne agricole 1996/1997, Ministère de l'Agriculture, Dakar.
- Division du Machinisme Agricole (DMA) 1984.** Technologies de transformation des céréales locales. DMA, Bamako, 26 p.
- DJOUDEITINGUAR D. 1993.** Valorisation des résidus de récolte et des sous-produits agro-industriels pour la production de viande au Sénégal: Valeur nutritive de trois rations et effets sur les performances bouchères et variation d'état corporel du zébu - esquisse d'un bilan économique. Th. Méd. Vet. EISMV, Dakar.
- DORSEMAINE G. 1968.** Manuel de la culture des mils et sorghos dans le bassin arachidier sénégalais. SATEC.
- FAYE M. 1981.** Etude de la rentabilité de l'utilisation de rations à base de sous-produits agricoles et agro-industriels en embouche bovine au Sénégal. Th. Doct. Méd. Vét., n°20, EISMV, Dakar.
- FERRANDO R. 1984.** L'agriculture, base du développement: bilan et perspectives. Paris: Chiron-Terre d'Afrique. 73p.
- Food and Agricultural Organisation (FAO) 1982.** Les aliments du bétail sous les tropiques. Rome: FAO. 393 p.
- GÖHL B. 1982.** Tropical feeds: Feeds information summaries and nutritive values. Rome, Food and Agricultural Organisation of the United Nations: 333-336.

- GRILLET C. 1992.** Les tourteaux de coprah et de palmiste. Mém. Master: sc. et techn. De productions animales. Maisons - Alfort, CIRAD-EMVT, INRA, ENSAR, Avril 1992 125 p.
- GUEYE A. 1998.** Les additifs en aviculture moderne. Journées nationales de l'aviculture. Dakar du 25-28 Mai 1998
- HAMID R. et JALALUDIN S. 1987.** Effects of rice bran on production performance of laying hens offered diets with two levels of energy and protein. Pro. 10th Ann. Conf. MSAP: 307-310.
- I.N.R.A 1988.** Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Publications: 471 p.
- Institut de Technologie Alimentaire (ITA) 1986 .** Transformation du mil; Etudes techniques: ITA/USAID, Dakar.
- Institut National de Recherches Agronomiques (INRA) 1991.** L'alimentation des animaux monogastriques: Porc, Lapin, Volaille - 2^e Ed. Paris : INRA. 282 p.
- JACQUOT R. Et FERRANDO R. 1957.** Les tourteaux. Ed. Vigot frères, Paris 116 p.
- JULLET A. Et al., 1955.** Les oléagineux et leurs tourteaux. Vol. XLIX Ed. P. Lechevalier, Paris.
- LADRAT M. 1977.** Quelques considérations sur l'utilisation des sous-produits agro-alimentaires dans l'alimentation animale. Pp.2-7: Journées Techniques-Productions Animales - 12-16 Sept. 1977, Compte rendu technique. IEMVT, Maisons-Alfort (France).
- LE GRAND D. 1989.** Les sous-produits de céréales: Composition chimique et valeur énergétique des sons de maïs, mil, sorgho. Mém. De stage. DESS Productions Animales en régions chaudes. CIRAD - EMVT, Maisons-Alfort, Paris. 82 p.
- LLORCA A. 1995.** Les issues de riz, les sons, de mil et de maïs, les tourteaux d'arachide et les farines de poisson du Sénégal. Mém. De stage. DESS Productions Animales en région chaudes. CIRAD - EMVT, Maisons-Alfort, Paris. 57 p.
- MAHATAB S.N. 1985.** Variability in chemical composition of rice bran. In: Nutrition and Abstracts Reviews (series B),56 (3): 141.
- Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique (MDRH) 1990.** Catalogue variétal.
- MONGODIN B. et RIVIERE R. 1965.** Valeurs bromatologiques de 150 aliments de l'Ouest africain. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop. 183-218.
- MONGODIN B., LOBRY J.C. et SERGENT Y. 1979.** Produits et sous-produits agro-industriels pour l'alimentation animale à Madagascar Rapport n°28 IEMVT
- MOREAU C. 1974.** Moisissures toxiques dans l'alimentation. 2^e Ed. Masson et Cie, Editeurs.

PICCIONI M. 1965. Dictionnaire des aliments pour les animaux. Traduction de la 3^e Ed. Italienne. Edagricole: 247-254.

PILIANG W. G., BIRD H. R., SUNDE M. L. et PRINGLE D. J. 1982. Rice bran as the major energy source of laying hens. In: Nutrition and Abstracts Reviews (series B), 54 (11): 617.

PROTECTOR (Comité d'étude international) 1978. Guide de l'utilisation des matières premières pour la formulation des aliments composés par ordinateur, Paris.

RIVIERE R. 1977. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. IEMVT - Min. De la coop., Paris.

SAUTIER D. et O'DEYE M. 1989. Mil, maïs, sorgho: Techniques et alimentation au Sahel. HARMATTAN/PUSAF, OCDE/ALTERSAL/CILSS.

SMITH A. J. 1992. L'élevage de la volaille coll. Le Technicien d'agriculture tropicale 1^{er} vol. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris.

WIDYOBROTO P. 1989. Valeur alimentaire des issues de riz distribuées aux animaux domestiques. Mém. DEA. ENSA; Université de Rennes I, IEMVT-CIRAD, Maisons-Alfort. 107 p.

ZOURE H.G.M. et NASSA S. 1997. Composition chimique des tourteaux de coton et prévision de leur valeur nutritive. Comité techn. Sur l'élevage - Population - Elevage - Environnement, du 08 au 10 Déc. 1997, Ouagadougou.