

ue INSTITUT D'ELEVAGE ET DE
MEDECINE VETERINAIRE
.T. DES PAYS TROPICAUX
10, rue Pierre Curie
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE
PARIS-GRIGNON
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS



9463

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE
D'ALFORT
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
57, rue Cuvier
75005 - PARIS

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

LES SOUS-PRODUITS DE CEREALES :
COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR ENERGETIQUE DES SONS
DE MAIS, MIL, SORGHO

Dominique LE GRAND

Année universitaire 1988 - 1989

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

LES SOUS-PRODUITS DE CEREALES :
COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR ENERGETIQUE DES SONS
DE MAÏS, MIL, SORGHO

par

Dominique LE GRAND

Lieux de stage : Maisons Alfort - Tours.

Organismes d'accueils : IEMVT - INRA (Tours).

Période du stage : du 9 mai 1989 au 16 août 1989.

Rapport présenté oralement le : 21 septembre 1989.



RESUME

Les sons de maïs, mil et sorgho sont disponibles dans de nombreux pays en développement. Toutefois, leur utilisation rationnelle dans l'alimentation des porcs et des volailles repose, dans un premier temps, sur une bonne connaissance de leur composition chimique et de leur valeur énergétique.

Cette dernière est obtenue par méthode directe (essais in vivo) ou par application d'équations de prédiction (méthode indirecte) encore inexistantes dans le cas des sons de mil et de sorgho.

D'autres travaux sont cependant nécessaires pour une meilleure appréciation de leur valeur nutritive.

Mots-clefs : SON DE MAIS ; SON DE MIL ; SON DE SORGHO ;
COMPOSITION CHIMIQUE ; VALEUR ENERGETIQUE ;
PORC ; VOLAILLE

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	9
INTRODUCTION	11
1. DEFINITION BOTANIQUE ET TECHNOLOGIQUE DES PRODUITS	
1.1. Constitution des grains de céréales : maïs, mil, sorgho	12
1.2. Sous-produits obtenus	12
1.2.1. Sons	12
1.2.2. Germes	16
1.2.3. Gluten feed et gluten meal.....	17
2. COMPOSITION CHIMIQUE	
2.1. Origine des échantillons étudiés	18
2.2. Rappel des méthodes analytiques employées et justification des analyses effectuées	18
2.2.1. Détermination de la matière sèche	18
2.2.2. Détermination des cendres brutes (ou matière minérale) et des minéraux	18
2.2.3. Détermination des matières grasses	20
2.2.4. Détermination des matières protéiques .	21
2.2.5. Détermination des constituants parié- taux	21
. Détermination de la "cellulose brute de Weende"	21
. Constituants pariétaux de Van Soest et Wine (1967)	21
. Détermination des parois végétales insolubles dans l'eau (Carré, 1984, 1988)	22
2.2.6. L'extractif non azoté (ENA)	22
2.3. Résultats obtenus et interprétation	22

3. EVALUATION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES MATIERES PREMIERES

3.1. Méthodes directes de détermination de la valeur énergétique : mesures in vivo	30
3.1.1. Chez le porc : rappels bibliographiques .	30
3.1.1.1. Matériel et méthode	30
3.1.1.2. Chronologie et déroulement de l'essai	31
3.1.1.3. Méthode de calcul de l'énergie digestible et de l'énergie métabolisable	32
3.1.2. Chez les volailles : rappels biblio- graphiques et expérimentation	33
3.1.2.1. Choix de la méthode	36
3.1.2.2. Matériel	39
3.1.2.3. Déroulement et chronologie de l'essai de bilan digestif	45
3.1.2.3.1. Pré-expérience	45
3.1.2.3.2. Expérience	45
3.1.2.4. Mesures et calcul de l'énergie métabolisable	48
3.1.2.5. Discussion	56
3.2. Méthodes indirectes de détermination de la valeur énergétique : équations de prédiction ...	60
3.2.1. Aliment pour porc	60
3.2.2. Aliment pour volaille	63
3.2.2.1. Application des équations de prédiction de la bibliographie ...	63
3.2.2.2. Résultats et interprétation	63
CONCLUSION	71
BIBLIOGRAPHIE	77

ABREVIATIONS

A.	Amidon
A.D.F.	Acid detergent fibre
A.D.L.	Acid detergent lignin
Ca	Calcium
C.B.	Cellulose brute
C.B.w.	Cellulose brute de Weende
C.U.D.	Coefficient d'utilisation digestible
E.B.	Energie brute
E.D.	Energie digestible
E.M.	Energie métabolisable
E.M.A.	Energie métabolisable apparente
E.M.A.n.	Energie métabolisable apparente corrigée pour la rétention azotée
E.M.V.	Energie métabolisable vraie
E.N.	Energie nette
E.N.A.	Extractif non azoté
E.T.R.	Ecart Type résiduel
F.A.O.	Food and Agricultural Organization
I.E.M.V.T.	Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux
I.N.R.A.	Institut National de la Recherche Agronomique
Kj	Kilojoule
L.N.E.R.V.	Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires (Dakar)
M.A.T.	Matières azotées totales
M.G.	Matières grasses
M.O.	Matière organique
M.S.	Matière sèche
N.D.F.	Neutral detergent fibre
P.A.R.	Parois végétales insolubles dans l'eau
P.B.	Protéines brutes
P.	Phosphore
S.	Sucre

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1	Les différentes parties du grain.
Figure 2	Schéma de la mouture sèche des céréales.
Figure 3	Schéma de la mouture humide des céréales.
Figure 3 bis	Groupes de nutriments obtenus par les méthodes analytiques conventionnelles.
Figure 4	Schéma de l'utilisation de l'énergie.
Figure 5	Type de mangeoire anti-gaspillage.
Figure 6	Cages de digestibilité.
Figure 7	Pistolet pour gavage semi-liquide.
Figure 8	Entonnoir pour gavage sec.
Figure 9	Chronologie des gavages.
Figure 10	Représentation graphique de l'énergie métabolisable mesurée, en fonction de l'énergie estimée, pour les équations 1, 5, 6, 7.

TABLEAUX

Tableau 1	Composition moyenne des sons de maïs, mil, sorgho. Comparaison avec les sons de blé et de riz.
Tableau 2	Composition chimique moyenne des gluten feed et gluten meal de maïs et sorgho.
Tableau 3	Comparaisons gluten meal et gluten feed de sorgho et de maïs.

Tableau 4	Caractéristiques des sons utilisés pour l'essai de bilan digestif.
Tableau 4 bis	Composition chimique des sons testés.
Tableau 5	Consommation des différents sons distribués en ad libitum du 15/07 (matin) au 17/07 (matin).
Tableau 6	Avantages et inconvénients de chaque méthode d'alimentation.
Tableau 7	Préparation des aliments distribués aux coqs.
Tableau 8	Poids vif des coqs.
Tableau 9	Résultats des mesures de l'EB et de l'azote des sons et fèces.
Tableau 10	Consommation alimentaire et excrétion fécale.
Tableau 11	Estimation (en fonction de la dilution et mesures de la teneur en matière sèche des régimes.
Tableau 12	Résultats du calcul des différentes énergies métabolisables pour les régimes testés.
Tableau 13	Comparaison ED calculée et ED extraite des tables alimentaires.
Tableau 14	Equations de prédiction de l'EM chez les volailles, appliquées aux échantillons.
Tableau 15	Teneurs en EM estimées et mesurées d'échantillons de sons de maïs, mil et sorgho. Relations entre les valeurs mesurées et estimées.
Tableau 16	Différences entre les teneurs en énergie métabolisable mesurées et celles estimées par diverses équations adaptées aux sons de céréales.
Tableau 17	EMA moyenne, estimée à l'aide de l'équation 1, pour les sons de maïs, mil et sorgho. Comparaisons avec le son de blé.
Tableau 18	Composition chimique et valeur énergétique de divers sons de céréales.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement :

- Monsieur H. Guérin, chef du service d'Alimentation de l'IEMVT (Maisons Alfort) et Monsieur M. Picard de la station de Recherches avicoles, INRA (Tours), pour leur encadrement scientifique et technique sans lequel ce stage n'aurait pu avoir lieu.

- Monsieur D. Richard du LNERV de Dakar qui a eu l'amabilité de nous faire parvenir les différents échantillons de sons étudiés.

- Messieurs A. Duché et C. Bouchot pour leur disponibilité et leur accueil chaleureux tout au long de mes travaux.

Je remercie également tout le personnel du laboratoire d'Alimentation de l'IEMVT et de la station de Recherches Avicoles de l'INRA pour leur participation active à ces travaux ainsi que pour la sympathie et la gentillesse qu'ils m'ont témoignées.

INTRODUCTION

L'accroissement de la productivité animale dans les pays en développement passe d'une part, par l'amélioration génétique et sanitaire du cheptel, mais également par celle de l'alimentation.

Cependant, au vue de la place qu'occupe cette dernière dans la réalisation du bilan économique d'une exploitation (70 à 80 p.100 du prix de revient chez les volailles), les recherches s'orientent-elles actuellement vers la mise en valeur de matières premières variées, mais surtout disponibles localement et donc d'un coût inférieur à celles importées.

Toutefois, ces sous-produits industriels ou agricoles sont encore pour la plupart mal connus et font l'objet de très peu de publications. D'où le choix de notre sujet.

En effet, si les données sur le son de maïs sont plus ou moins nombreuses, celles concernant les sons de mil et sorgho sont pour la plupart inexistantes. Aussi souhaitons-nous apporter, par ce travail, une première approche de leur valeur nutritive en étudiant successivement :

- leur définition botanique et technologique ;
- leur composition chimique ;
- leur valeur énergétique (obtenue par méthode directe et indirecte).

Nous nous sommes également limités à leur utilisation dans l'alimentation des monogastriques qui sont, plus que les ruminants, intéressés par ce type de produits et dont l'élevage est amené à s'accroître considérablement dans les pays en développement.

1. DEFINITION BOTANIQUE ET TECHNOLOGIQUE DES SOUS-PRODUITS DU GRAIN

1.1. Constitution des grains de céréales : mil, maïs, sorgho

La graine de céréale est constituée de quatre fractions distinctes :

- le péricarpe ou enveloppe ;
- les couches sous-corticales, dont l'assise protéique ;
- le germe ou embryon ;
- l'endosperme ou amande (Adrian ; Jacquot, 1964) (figure 1).

Des différents traitements technologiques appliqués aux céréales sont issus divers sous-produits. Certains peuvent présenter un intérêt potentiel dans l'alimentation des monogastriques ; c'est le cas du son sur lequel porte l'essentiel de ce travail.

Les céréales peuvent subir deux types de traitements :

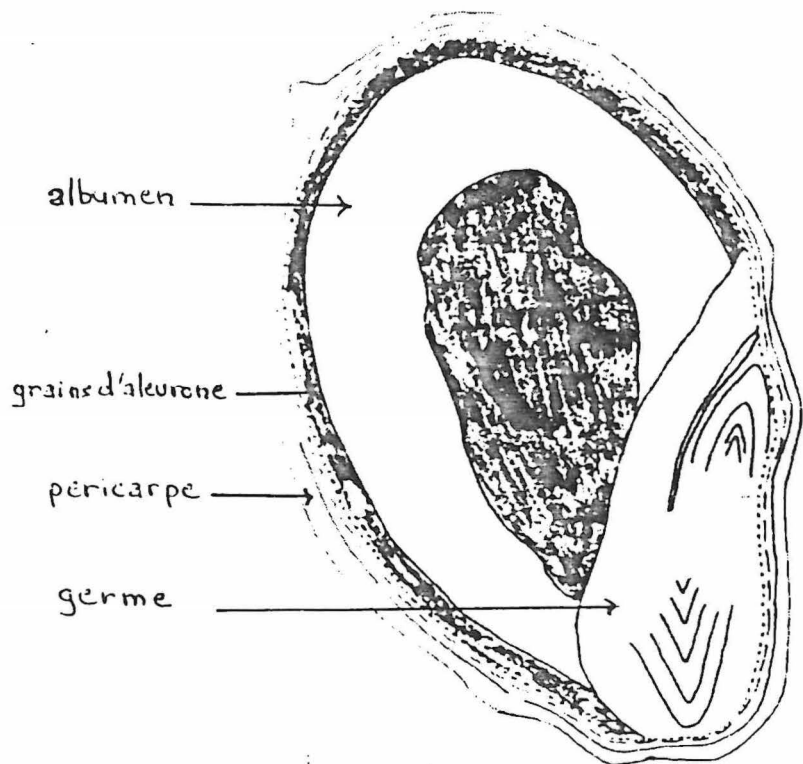
- la mouture sèche ;
- la mouture humide ;

décrits aux figures 2 et 3.

1.2. Sous-produits obtenus

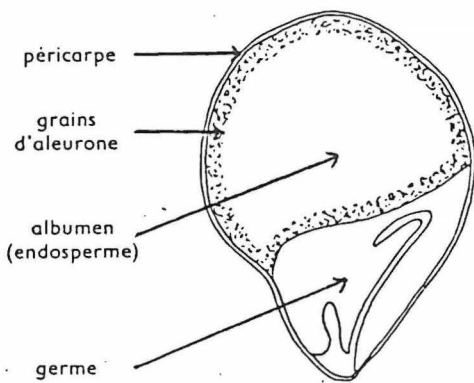
1.2.1. Sons

Le son formé par le péricarpe des grains contient beaucoup de cellulose, de matières incrustantes variées, de matières organiques, une fraction des couches périphériques de grains d'aleurone, et parfois, un peu de germes. Les sons les plus couramment employés sont les sons de blé. Aussi avons nous eu quelques difficultés à établir une bibliographie suffisante concernant les sons de mil, maïs, sorgho, car très peu d'essais ont été publiés quant à leur utilisation dans la ration des porcs ou des volailles.

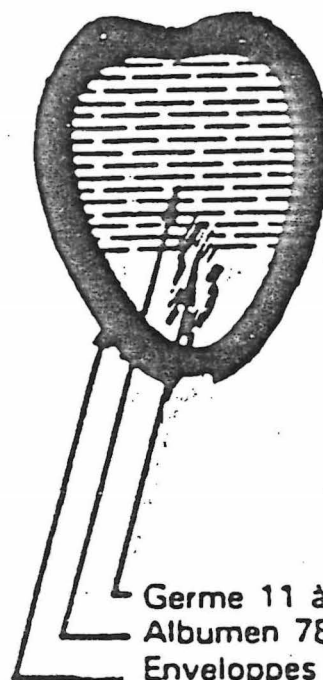


Coupe d'un grain de sorgho

(International Association for Cereal Chemistry - 1976)



Coupe d'un grain de mil
(*Pennisetum typhoideum*)
(Rivière - 1979)



Coupe d'un grain de maïs

(Mémento de l'agronome - 1984)

Figure 1 - Les différentes parties du grain

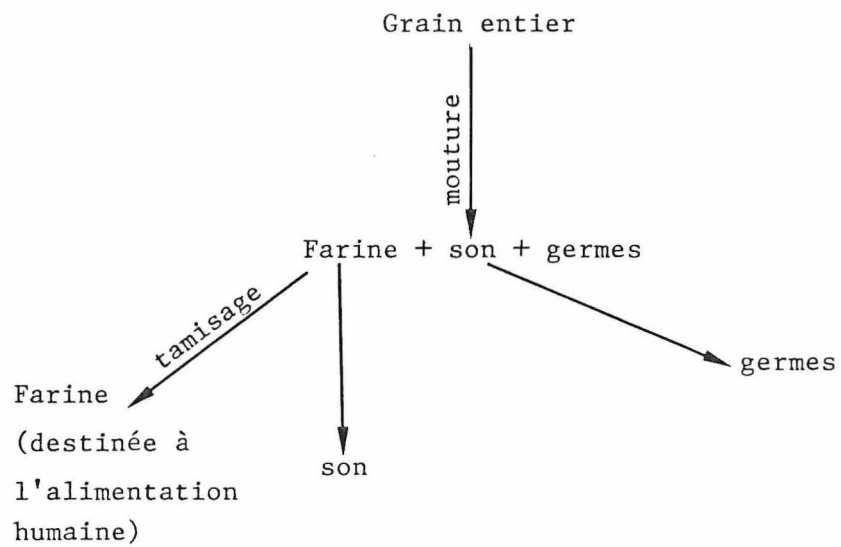
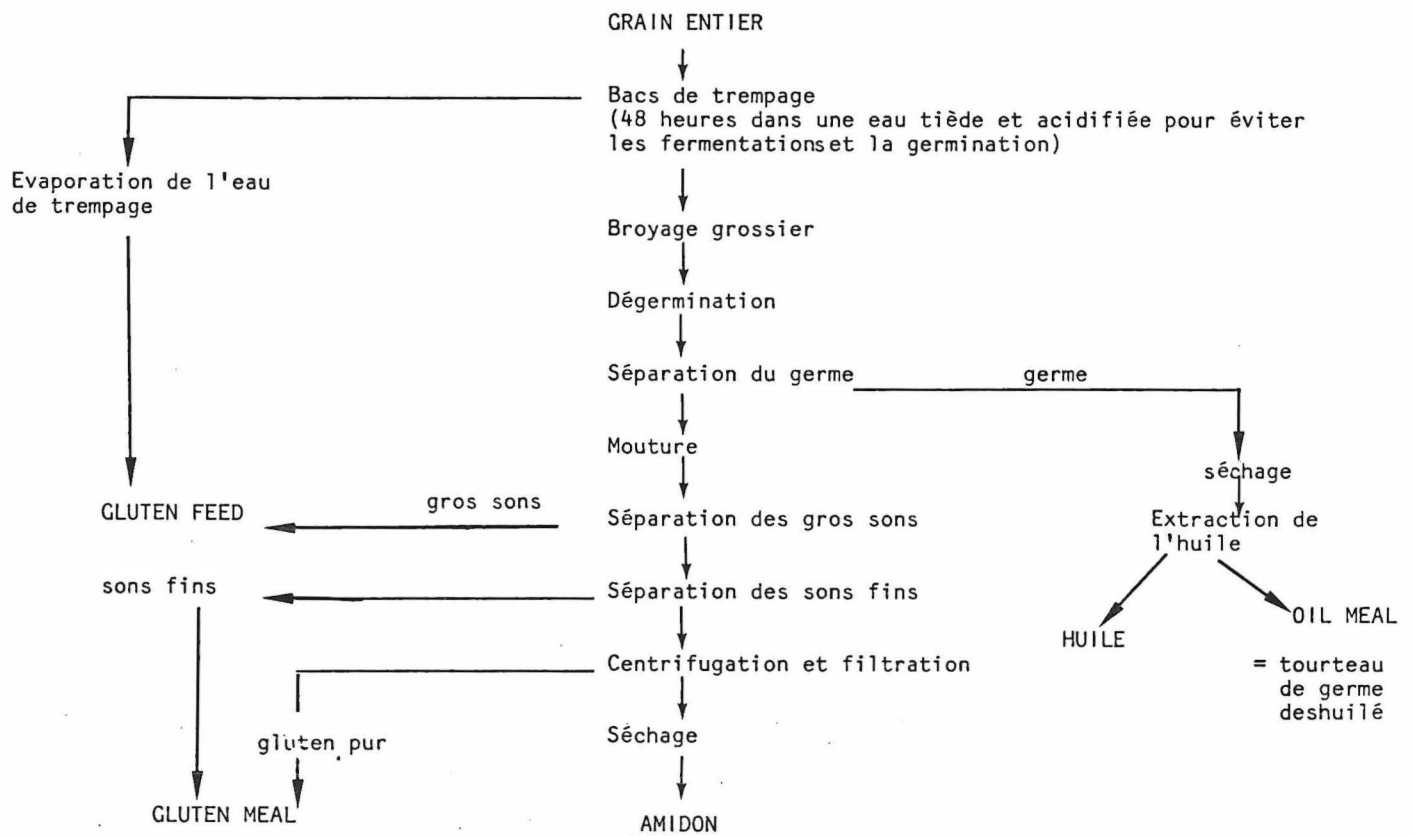


Figure 2 - Schéma de la mouture sèche des céréales.
(Source : note personnelle).

Figure 3 - Schéma de la mouture humide des céréales



(Source : ADRIAN, JACQUOT, 1964)

Notons enfin que le son de maïs est exceptionnellement mis en vente tel quel, car il sert en général à la préparation du tourteau de maïs (voir plus loin).

Les sons se caractérisent donc par une teneur moyenne en protéines brutes (12 à 15 p.100), par un taux élevé en ENA (53-56 p.100) et par un certain pourcentage de cellulose (5 à 11 p.100).

Ils se distinguent par leur richesse en vitamines du groupe B et particulièrement en thiamine, acide nicotinique et panthoténique. Cependant, ils sont pauvres en caroténoïdes (hormis le son de maïs jaune qui en renferme une assez bonne quantité) et manquent totalement de vitamines antirachitiques (vitamines D).

Les sons sont également très pauvres en calcium mais riches en phosphore (Piccioni, 1965).

Adrian et Jacquot (1964) précisent que les enveloppes des mils et sorghos sont moins riches en vitamines et minéraux que celles des céréales européennes.

1.2.2. Germes

Les germes de maïs ou de sorgho, séparés du grain au cours de la mouture humide sont ensuite séchés puis pressés pour extraire leur huile utilisée en alimentation humaine (cas du maïs) ou dans l'industrie (maïs, sorgho).

En ce qui concerne le maïs, la farine d'extraction qui en résulte peut être incorporée dans le gluten meal et le gluten feed (figure 3).

Ce n'est qu'exceptionnellement qu'elle est vendue sous son propre nom : tourteau de germes de maïs (Piccioni, 1965).

Pour Adrian et Jacquot (1964), ce tourteau de germes deshuilé ne doit pas être distribué en abondance aux monogastriques étant donné sa forte teneur en cellulose (10 p.100).

Lors de la mouture à sec du maïs on obtient, d'autre part, le tourteau de maïs qui renferme à la fois des germes, du son et une quantité variable de farine de maïs. Une partie plus ou moins importante de matière grasse contenue dans ces résidus peut être extraite par pression, d'où le nom de tourteau de maïs donné de façon générique à cet aliment.

La différence entre tourteau de maïs et tourteau de germes de maïs apparaît également au niveau de leur teneur en matière protéique brute respectivement de 12-13 p.100 et 22-26 p.100, (Piccioni, 1965).

1.2.3 Gluten feed et gluten meal

Ces types de produits sont issus de la mouture humide du sorgho et du maïs. Aucune référence bibliographique ne mentionne leur obtention à partir du mil.

. Gluten feed

Il comprend : les parties corticales du grain, du gluten (partie protéique de la céréale, constituée de deux matières albuminoïdes : la gliadine et la glutéine), (Clément, 1978), des germes, de l'amidon et des matières minérales. Dans sa préparation, on ajoute à ces résidus d'usinage la quantité de gluten suffisante pour assurer au mélange un taux minimum de 22 p.100 de protéines totales.

Le gluten feed courant apporte une assez bonne quantité de protéines digestibles (environ 17 à 20 p.100) ; mais la protéine elle-même n'est pas d'excellente qualité (déficit en lysine et/ou tryptophane). C'est la raison pour laquelle, le gluten feed ne doit jamais servir seul de supplément protéique dans la ration des porcs et des volailles (Piccioni, 1965).

Le même auteur signale enfin, que le gluten feed obtenu avec le maïs jaune contient plus de carotène que le maïs lui-même.

Concernant le sorgho, si le grain est riche en tannins, ceux-ci se retrouvent dans le gluten feed, ce qui diminue l'appétence du produit et sa digestibilité (Leclercq, 1985). Mais il faut noter que le gluten feed de sorgho est beaucoup plus riche en vitamine B (thiamine, acide panthoténique, riboflavine) que celui préparé à partir du maïs (Adrian, Jacquot, 1964).

. Gluten meal

Le gluten meal, à base de son fin et d'assise protéique de l'amande, est un produit de qualité. Il contient autant de protides que le tourteau d'arachide et de soja (42 p.100) et ne renferme que 3 p.100 de cellulose. C'est un bon concentré azoté pour les monogastriques. A son passif, une très faible teneur en minéraux et un profond déficit en lysine, pour le gluten meal de sorgho, en tryptophane pour celui de maïs (appelé encore farine de gluten de maïs 41 p.100), (Adrian, Jacquot, 1964).

Ayant défini ces sous-produits, voyons à présent leur composition chimique ; principalement pour le son, gluten feed et gluten meal qui font l'objet de ce travail.

2. COMPOSITION CHIMIQUE

La composition chimique des aliments est indispensable à connaître car elle constitue la première étape dans la détermination de leur valeur alimentaire. L'estimation de la valeur nutritive, permise par les méthodes analytiques conventionnelles, peut être affinée par des analyses plus complètes des principaux groupes de nutriments (figure 3 bis).

2.1. Origine des échantillons analysés

Nous avons analysé, au laboratoire d'Alimentation de l'ITEMVT, un certain nombre d'échantillons de sons de mil, maïs, sorgho en provenance de divers pays d'Afrique notamment :

- du Niger, Tchad, Burkina Faso, Cameroun et Sénégal pour les sons de mil ;
- de Côte-d'Ivoire, République Centrafricaine, Ethiopie, Burkina Faso, Cameroun et Sénégal pour ceux de maïs ;
- du Tchad, Burkina Faso, Sénégal pour les sons de sorgho.

Parmi ces échantillons deux sons de maïs, un de sorgho et trois de mil, en provenance du Sénégal), nous ont servi à réaliser un essai de bilan digestif sur coqs (cf. chapitre 3.2.2.).

2.2. Rappel des méthodes analytiques employées et justification des analyses effectuées.

2.2.1. Détermination de la matière sèche

Obtenue après passage de l'échantillon à l'étuve pendant 24 heures, elle est toujours élevée pour les aliments destinés aux volailles mais variable pour ceux du porc (qui consomme plus facilement des produits aqueux).

2.2.2. Détermination des cendres brutes (ou matières minérales) et des minéraux

L'échantillon est incinéré à 550°C jusqu'à obtention de cendres blanches, gris clair ou rougeâtres, apparemment dépourvues de particules charbonneuses. La teneur en cendres totales permet de déduire celle en matière organique (MO) par différence :

$$MO = MS - \text{cendres totales.}$$

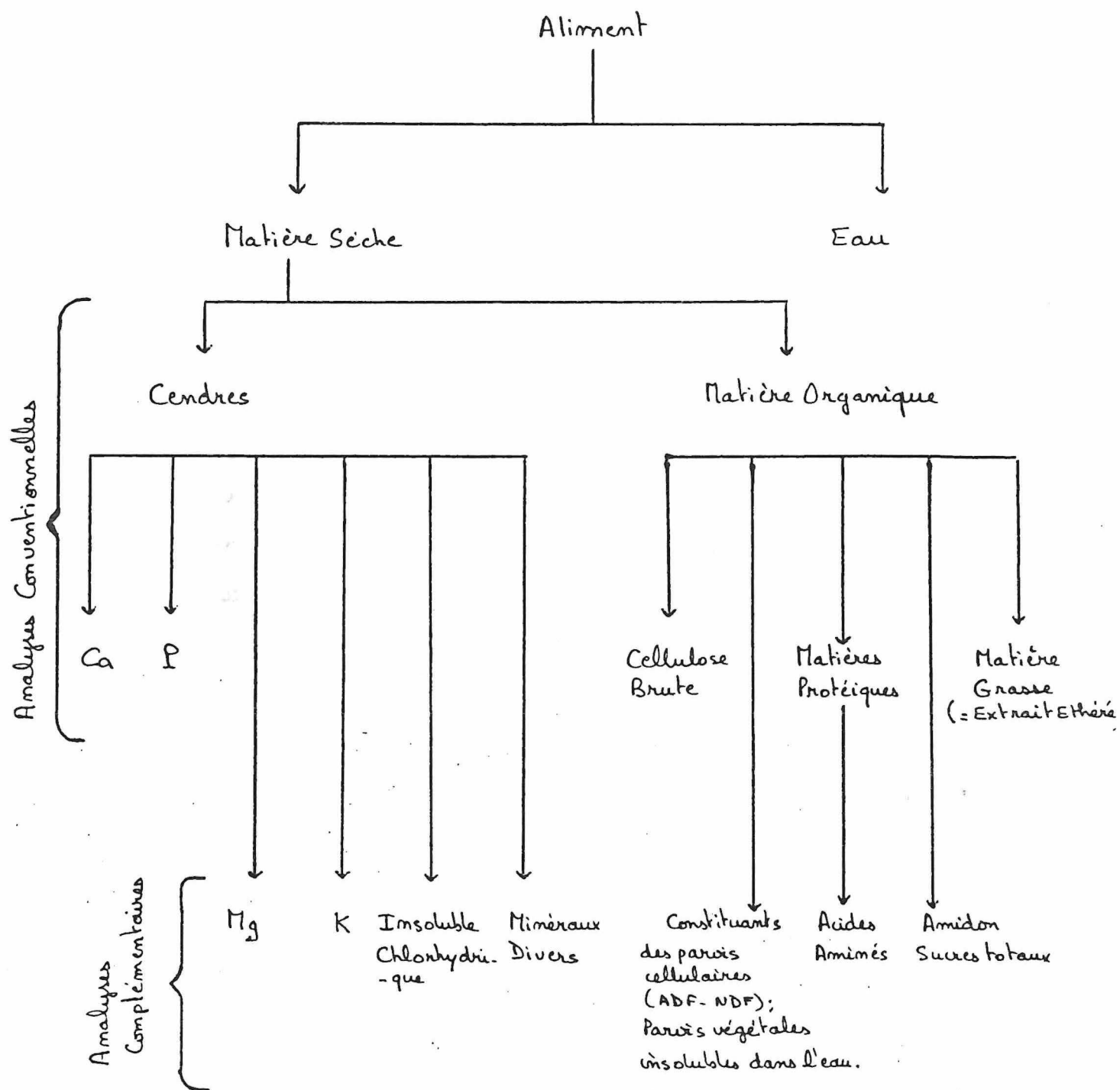


Figure 3 bis - Groupes de nutriments obtenus par les méthodes analytiques conventionnelles

(Source : Rivière - 1979)

Il est souvent intéressant de préciser la nature et les teneurs des différents minéraux entrant dans la composition des cendres :

- dosage systématique du calcium, phosphore et de la silice ;

- moins fréquemment, celui du magnésium, potassium, sodium et chlore.

Le dosage du calcium et du phosphore est particulièrement utile pour les sons, qui présentent souvent un déséquilibre phosphocalcique important.

Le calcium se mesure par spectrométrie d'absorption atomique et le phosphore par colorimétrie.

Quel que soit le type d'aliment, les teneurs en calcium et phosphore sont indispensables à connaître en raison de leur importance dans la constitution du squelette des animaux.

Néanmoins, pour les grains et les sons, le problème le plus souvent discuté est celui de l'utilisation du phosphore phytique, lequel représente couramment 60 à 70 p.100 du phosphore total du grain. Il est généralement considéré que ce phosphore phytique n'est que partiellement utilisé par le porc et ne l'est par les oiseaux qu'en présence de phytase (exemple : son de blé). Pour ces derniers, l'habitude est donc, de ne considérer comme "disponible" que le phosphore non-phytique, soit un tiers du phosphore total des grains (IEMVT, 1983). Pour le son de riz, par exemple, seul 10 p.100 du phosphore est utilisable.

La teneur en silice des matières premières est obtenue par mesure des cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique, c'est l'insoluble chlorhydrique (IC).

La silice est partiquement toujours dosée car c'est une substance qui, non seulement ne présente aucun intérêt alimentaire, mais dont la présence, en quantité notable, diminue la digestibilité des aliments et occasionne des troubles digestifs, (Rivière, 1979).

2.2.3. Détermination de la matière grasse

Elle fait appel à l'extraction par l'éther éthylique. La teneur en matière grasse est à prendre en compte d'une part, pour la conservation des aliments (problème de rancissement, d'oxydation), et d'autre part, pour l'engraissement des animaux. Elle apporte, en effet, beaucoup d'énergie, et la composition des acides gras alimentaires influence celle des gaisses animales.

2.2.4. Détermination des matières protéiques

Elle fait appel à la méthode de Kjeldahl (minéralisation puis dosage de l'azote). Précisons que chez les monogastriques, l'azote protéique (ammoniac et urée) n'est pas assimilable. Aussi, des traces d'urée ou d'ammoniac dans certaines matières premières peuvent-elles conduire à une surestimation des valeurs protéiques des aliments, sans compter les problèmes d'intoxication qu'elles risquent d'entraîner, (IEMVT, 1983).

Rappelons enfin, que contrairement aux ruminants, les monogastriques sont étroitement dépendants de l'apport en acides-aminés essentiels car ceux produits par les micro-organismes de la partie terminale de leur tube digestif ne sont pas absorbés.

2.2.5. Détermination des constituants pariétaux

. Détermination de la "cellulose brute de Weende"

La cellulose dosée selon la méthode de Weende correspond au résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives de 30 mn, l'une en milieu acide sulfurique, l'autre en milieu alcalin (soude).

L'inconvénient de cette méthode est que le résidu d'hydrolyse renferme, en plus de la cellulose vraie, une fraction importante de la lignine (lignine insoluble), une partie des hémicelluloses et quelques matières azotées, ainsi que d'autres substances glucidiques, (Rivière, 1979).

Chez les monogastriques, tous les constituants de la "cellulose de Weende" sont pratiquement indigestibles. De ce fait, la digestibilité des aliments pour monogastriques diminue très rapidement, quand la teneur en cellulose brute augmente.

. Constituants pariétaux de Van Soest et Wine (1967)

Pour pallier aux inconvénients de la "cellulose brute de Weende", Van Soest et al. ont mis au point une méthode comportant deux techniques permettant de séparer les contenus cellulaires et les constituants des parois cellulaires (hémicellulose, cellulose, lignine). C'est la détermination du NDF et de l'ADF.

Le Neutral Detergent Fiber (ou NDF), correspond au résidu organique obtenu après une hydrolysé d'une heure par le détergent neutre et corrigé par calcination. On estime ainsi la teneur en parois totales.

L'Acid Detergent Fiber (ou ADF) assimilée à la lignocellulose. Après hydrolyse d'une heure avec un détergent acide pour obtenir la teneur en lignocellulose, on réalise une attaque à l'acide sulfurique pour déterminer celle en lignine. Notons que les résidus sont calcinés pour avoir les teneurs en lignocellulose et lignine déminéralisée. Une des applications pratiques de cette méthode est l'estimation plus précise de la digestibilité des aliments pour porcs (cf. chapitre 3.2.1.).

. Détermination des parois végétales insolubles dans l'eau (Carré, 1984 ; 1988)

Cette méthode récente, basée sur la solubilisation enzymatique de l'amidon, des protéines et des lipides, contribue à une meilleure estimation de la digestibilité des aliments pour volailles.

2.2.6. L'extractif non azoté (ENA)

Il donne une valeur approchée de l'amidon et des sucres pour les matières premières végétales pauvres en cellulose ; pour celles riches en cellulose, il n'est pas significatif. La valeur de l'ENA est conventionnellement obtenue par calcul en appliquant la formule suivante :

$$\text{ENA (p.100 de la MS)} = \text{MS (cendres + cellulose brute + matières protéiques + matières grasses)}$$

Cependant, pour obtenir une analyse plus fine des éléments de l'ENA, il faut mettre en oeuvre des techniques longues et minutieuses, pas encore généralisables en analyse de routine (IEMVT, 1983). Ainsi comme analyse complémentaire, citons le dosage de l'amidon (important chez les monogastriques pour lesquels, il représente la principale source énergétique) et des sucres totaux.

2.3. Résultats obtenus et interprétation

Le tableau 1 présente la moyenne des résultats d'analyses chimiques effectuées au service de Nutrition de l'IEMVT et extraites de la bibliographie. Ceci nous permet de formuler quelques remarques sur la composition chimique des sons étudiés tout en les comparant aux sons de blé et de riz.

. Teneurs en cendres

Faible pour les sons de maïs (3,8 p.100 de la MS), elles sont voisines pour les sons de mil, sorgho et blé (6 à 9 p.100 de la MS) et inférieures à celles des sons de riz. La variabilité à l'intérieur de chaque espèce est très grande et principalement liée aux variations des teneurs en insoluble chlorhydrique.

. Insoluble chlorhydrique

Bien que les sons de mil et sorgho soient plus riches en silice que celui de maïs, et même de blé ; ils restent tous quatre nettement plus pauvres que les sons de riz. Cette forte teneur en silice des sons de riz représente d'ailleurs un des facteurs limitants de leur utilisation dans l'alimentation des volailles, et du porc.

. Concernant les minéraux avec principalement calcium et phosphore on remarque :

- que les sons de mil, maïs, sorgho ont des teneurs en phosphore inférieures aux sons de blé mais sensiblement identiques à celles des sons de riz ;

- que le son de sorgho est plus riche en calcium que ceux de mil et maïs, mais la teneur moyenne en calcium reste quand même inférieure à celle du son de blé. Seul le son de sorgho est comparable ici, au son vrai de riz (c'est-à-dire ne renfermant pas de balles).

. Pour les matières azotées totales

On remarque que les teneurs de ces trois sons (mil, maïs, sorgho) sont plus faibles que celles des sons (moyens et fins) de blé mais supérieures à celles des sons de riz commerciaux.

Par rapport au son grossier de blé, ils ont sensiblement la même valeur protéique. Enfin, on constate que les sons de mil et sorgho sont plus riches que ceux de maïs.

. Teneur en matière grasse

Elle varie selon la proportion de germes incluse dans le son. De nos trois types de sons étudiés, le son de mil apparaît plus gras que ceux de maïs et sorgho. Mais ils sont tous trois plus riches en matière grasse que les sons de blé. Par contre, on observe peu de différence par rapport aux teneurs moyennes des sons de riz, eux mêmes de composition très variable. Cette richesse en matière grasse peut poser un problème de stabilité lors de la conservation.

Tableau 1 - Composition moyenne des sons de maïs, mil, sorgho. Comparaison avec les sons de blé et de riz.

Composition chimique en p.100 de la matière sèche	SON MAIS			SON MIL			SON SORGHO			SON RIZ (1)		SONS BLE (2)		
	Moyenne $\bar{x}$	Ecart-type (effectif)	CV (p.100)	Moyenne $\bar{x}$	Ecart-type (effectif)	CV (p.100)	Moyenne $\bar{x}$	Ecart-type (effectif)	CV (p.100)	Son commercial $\bar{x}$	Son vrai $\bar{x}$	Gros son $\bar{x}$	Son moyen $\bar{x}$	Son fin $\bar{x}$
Matières azotées totales	11,0 6,2 - 15,3	2,06 (35)	19	13,6 9,7 - 18,7	2,16 (27)	16	12,7 10,1 - 17,7	3,38 (6)	27	8,9 4,5 - 15,6	10,0 6,1 - 12,6	11,4 10 - 14,7	15,5 13,7 - 17	18,0 15,7 - 20,4
Lysine	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Méthionine	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cystine + méthionine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tryptophane	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thréonine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isoleucine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Constituants pariétaux														
Cellulose brute (Weende)	9,4 2,4 - 29,6	5,46 (26)	58	4,5 2,3 - 6,9	1,31 (20)	29	7,5 6,8 - 8,6	0,84 (4)	11	22,2 11,1 - 31,2	16,5 9,9 - 20,1	18,5 17,8 - 19,3	14,3 12,8 - 16,2	10,9 9,4 - 12,6
Parois totales (NDF)	43,5 30,2 - 77,9	14,00 (14)	32	28,2 13,9 - 38,1	5,97 (15)	21	36,2 32,6 - 39,5	3,45 (63)	9	-	-	-	-	-
Lignocellulose (ADF)	11,3 5,6 - 20,0	4,29 (14)	38	7,3 3,2 - 10,9	1,85 (15)	25	11,5 11,2 - 12,0	0,50 (3)	4	-	-	-	-	-
Lignine	1,7 0,8 - 5,7	1,21 (14)	69	1,6 1,0 - 2,3	0,31 (15)	20	3,6 3,4 - 4,1	0,40 (3)	11	-	-	-	-	-
Parois végétales insolubles dans l'eau	43,2 30,0 - 76,9	14,55 (13)	34	23,9 12,5 - 30,0	4,48 (15)	19	33,0 27,9 - 33,7	4,89 (3)	15	-	-	-	-	-
Matière grasse	7,0 0,8 - 13,7	3,03 (35)	43	9,2 3,4 - 12,3	2,05 (27)	22	6,1 2,8 - 9,9	2,85 (6)	46	6,9 3,6 - 18,8	7,3 3,6 - 10,6	2,7 1,4 - 4,0	3,8 2,8 - 4,4	3,6 0,09 - 5,3
Extractif non azoté	69,48 56,91 - 85,50	6,93 (33)	10	64,76 53,12 - 75,23	5,14 (27)	8	66,39 62,55 - 70,22	3,14 (6)	5	-	-	-	-	-
Cendres	3,80 1,11 - 13,66	3,00 (35)	79	7,76 2,25 - 23,55	4,54 (27)	58	7,32 4,74 - 9,25	1,60 (6)	22	16,5 8,1 - 24,4	17,5 8,7 - 24,9	5,7 4,5 - 6,7	7,0 5,5 - 8,2	6,1 5,1 - 6,8
Insoluble chlorhydrique	1,32 0,01 - 8,94	2,62 (23)	198	4,38 0,32 - 19,59	4,25 (27)	97	3,31 0,16 - 6,41	2,53 (6)	76	12,8 5,3 - 21,4	12,8 7,0 - 15,2	0,21 0,09 - 0,43	0,11 0,05 - 0,14	0,07 0,02 - 0,12
Phosphore total	0,54 0,1 - 1,21	0,31 (29)	57	0,56 0,29 - 0,85	0,13 (27)	23	0,73 0,5 - 1,03	0,19 (6)	26	0,61 0,19 - 1,71	0,78 0,32 - 1,49	0,99 0,9 - 1,1	1,44 1,09 - 1,81	1,24 0,82 - 1,55
Calcium	0,05 0,02 - 0,13	0,03 (29)	60	0,09 0,03 - 0,45	0,07 (27)	78	0,21 0,09 - 0,72	0,25 (6)	119	0,09 0,04 - 0,22	0,15 0,04 - 0,24	0,23 0,1 - 0,55	0,15 0,1 - 0,25	0,15 0,06 - 0,27
Energie brute	4646 4302 - 4862	156 (14)	3	4524 3429 - 4846	346 (15)	8	4441 4251 - 4585	172 (3)	4	-	-	-	-	-

Sources : - analyses IEMVT
- INRA 1984
- ENSMINGER et OLENTINE 1978
- REVIERS et collab. 1970
- FEEDSTUFFS 1988

- Burch Hart Schneider 1947
- International Feedstuffs Institute 1982
- WPSA 1988
- CE : Protector 1980
- RIVIERE 1979 (1) ; (2).

. Teneurs en constituants pariétaux

D'une manière générale la faible teneur en lignine est compréhensible puisqu'il ne s'agit pas de fourrages. Le son de maïs présente les teneurs les plus variables en constituants pariétaux. Celui de mil est moins riche en cellulose que ceux de maïs et sorgho ; lesquels sont également plus pauvres en cellulose que les sons de blé et de riz.

Les teneurs en lignine, ADF, NDF et parois du son de mil apparaissent nettement inférieures à celles des sons de maïs et sorgho.

Concernant les sons de mil, maïs et sorgho nous avons obtenu des corrélations intéressantes entre :

- teneurs en NDF et parois insolubles (PAR) ($r = 0,962$) ;
- teneurs en ADF et cellulose brute de Weende ($r = 0,965$).

Ainsi, pouvons-nous estimer la teneur en parois de ces trois types de sons à partir de celle en NDF en appliquant l'équation suivante :

$$\begin{array}{cc} \text{PAR} = 1,032 \text{ NDF} - 4,1 \\ (\text{p.100}) & (\text{p.100}) \end{array}$$

$$\text{ETR} = 3,73.$$

De même la teneur en ADF s'obtient à partir de la teneur en cellulose brute de Weende par la formule :

$$\begin{array}{cc} \text{ADF} = 1,02 \text{ CBW} + 2,4 \\ (\text{p.100}) & (\text{p.100}) \end{array}$$

$$\text{ETR} = 0,98.$$

Le second type de sous-produit du grain qui nous intéresse est représenté par le gluten feed et le gluten meal de maïs et de sorgho dont la composition chimique moyenne (établie à partir de données bibliographiques) est présentée au tableau 2.

La teneur en protéines des gluten feed et meal est largement supérieure au son, en raison de la présence du gluten issu des grains. Mais ils semblent tout autant riches en cellulose que ce dernier. Notons cependant que le gluten feed possède une teneur en cellulose brute supérieure à celle du gluten meal car il est préparé à base de sons grossiers, contrairement au second qui renferme des sons fins.

Tableau 2 - Composition chimique moyenne des gluten feed et gluten meal de maïs et sorgho.

Composition chimique (en p.100 de la MS)	Maïs Gluten Feed N = 8			Maïs Gluten Meal N = 7			Sorgho Gluten Feed N = 4			Sorgho Gluten Meal N = 3		
	$\bar{m}$	E.T.	Coefficient de variation	$\bar{m}$	E.T.	Coefficient de variation	$\bar{m}$	E.T.	Coefficient de variation	$\bar{m}$	E.T.	Coefficient de variation
Matières azotées totales	25,77	3,32		46,88	3,28		28,09	1,92		48,56	1,71	
Lysine	0,71	-		0,94			1,03	-		0,89	-	
Methionine	0,49	-		1,27			0,45	-		0,84	-	
Cystine + methionine	1,12	-		2,20			0,97	-		1,73	-	
Tryptophane	0,17	-		0,24			0,23	-		0,45	-	
Thréonine	0,89	-		1,58			0,91	-		1,56	-	
Isolencine	0,73	-	-	2,37		-	1,14	-	-	2,56	-	-
Constituants pariétaux												
Cellulose brute (Weende)	9,07	1,17		5,19	1,86		8,26	1,38		4,20	0,89	
Matière grasse	2,93	0,48		3,43	1,20		4,21	0,70		5,53	1,28	
Cendres	6,81	1,41		3,32	0,49		8,17	1,25		2,27	0,64	
Phosphore total	0,89	0,09		0,48	0,03		0,70	0,06		0,32	0,03	
Calcium	0,48	0,32		0,17	0,01		0,13	0,05		0,04	-	

Moyennes obtenues à partir des sources suivantes :

(1) INRA - 1984.

(2) Feedstuffs - 1988.

(3) WPSA - 1988

(4) National Academy of Sciences (Washington, DC) - 1969.

(5) International feedstuffs institute - 1982.

(6) ENSMINGER et OLENTINE - 1978.

(7) GERNA - 1972.

(8) Feedstuffs - 1987.

(9) Burch Hart Schneider - 1947.

Adrian et Jacquot (1964) mentionnent, au tableau 3, les avantages et inconvénients de ces sous-produits en rapport avec leur composition chimique ce qui nous permet parallèlement de faire certaines comparaisons interspécifiques.

Le second point dans l'établissement de la valeur alimentaire d'une matière première est représenté par la détermination de la valeur énergétique, qui s'effectue par plusieurs méthodes, faisant l'objet de la troisième partie de ce rapport.

3. EVALUATION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES MATIERES PREMIERES

Toutes les caractéristiques nutritionnelles d'un aliment sont importantes ; mais dans un aliment équilibré les concentrations en énergie et protéines sont les valeurs les plus critiques d'un point de vue économique. (L'énergie et les protéines représentent, en effet, plus de 90 p.100 du prix brut d'un aliment pour volailles). Les chercheurs et techniciens doivent par conséquent accorder plus d'attention à ces deux types de caractéristiques nutritionnelles, qu'à d'autres (Picard et al., 1986).

Les trois modes d'expression de la valeur énergétique des matières premières et des mélanges sont :

- l'énergie digestible (ED) ;
- l'énergie métabolisable (EM) apparente ou vraie
- l'énergie nette (EN) (figure 4, Henry, Perez, 1982).

Les principes communs à leur établissement sont :

- le bilan matière pour l'ED et l'EM ;
- la mesure de la production totale de chaleur ou de l'énergie fixée pour EN, par calorimétrie (directe ou indirecte) ou par analyse chimique corporelle.

Nous nous limiterons, dans ce travail à la détermination de l'énergie digestible et métabolisable qui sont les modes d'expression de la valeur énergétique les plus utilisés dans l'alimentation du porc et des volailles.

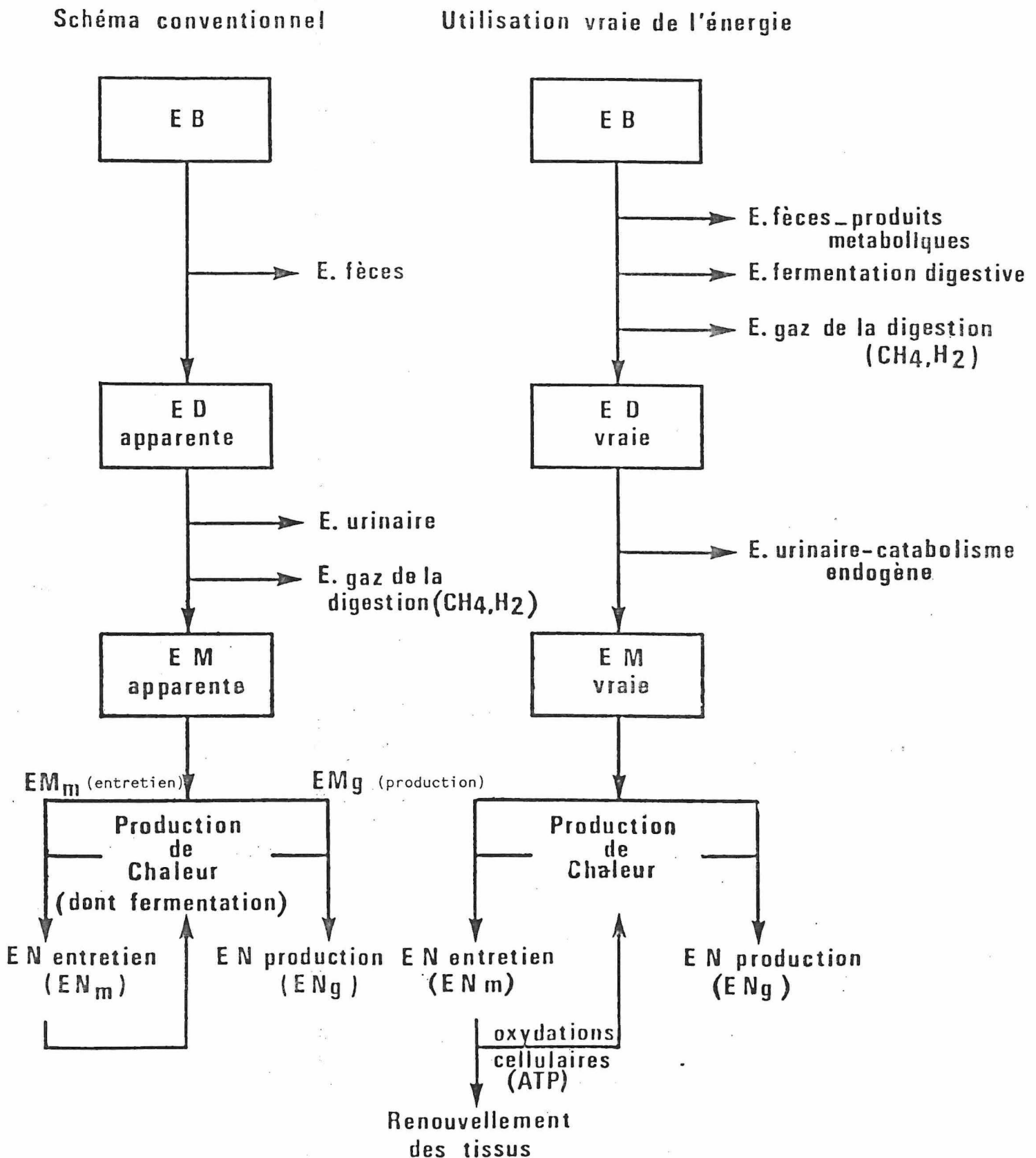
Tant pour la formulation que pour la prévision des performances, le praticien doit disposer de données précises sur la valeur énergétique des aliments qu'il est amené à utiliser. Pour cela, il a le choix entre la mesure directe (bilans digestifs sur animaux) ou l'estimation indirecte grâce à une ou plusieurs équations, mettant en relation l'EM (ou l'ED) et la composition chimique du produit (Leclercq, 1985).

Tableau 3 - Comparaison gluten meal et gluten feed de sorgho et de maïs.

Sous-produit	AVANTAGES		INCONVENIENTS	
	Sorgho	Maïs	Sorgho	Maïs
Gluten feed	Richesse en vitamines du groupe B	Richesse en vitamines B inférieure à celle du sorgho. Richesse en calcium supérieure	Beaucoup de cellulose Taux protidique moyen. Déficit en lysine.	Idem Idem Idem + tryptophane
Gluten meal	Taux protidique élevé Peu de cellulose	Idem Idem	Déficit très marqué en lysine	Insuffisance de qualité des protéines
				Idem + tryptophane

(Source : ADRIAN ; JACQUOT, 1964)

Figure 4 - Schéma de l'utilisation de l'énergie.



(Source : Y. HENRY et J.M. PEREZ, 1982).

3.1. Méthodes directes de détermination de la valeur énergétique : mesures in vivo

3.1.1. Chez le porc : rappels bibliographiques

L'évaluation énergétique est encore plus délicate chez le porc que chez les volailles, à cause des caractéristiques anatomiques de l'animal et des matières premières qu'il consomme. Le porc a un gros intestin très actif. Le transit digestif est plus lent et il est à peu près impossible de vider le tube digestif complètement ; or les micro-organismes agissent significativement sur la digestion des protéines et des fibres végétales (cellulose...).

Il n'est pas aisé de travailler sur des porcs adultes mâles et on utilise en général des jeunes en croissance. Toutefois, un animal en croissance a des besoins nutritionnels élevés, ce qui complique les essais de bilan.

On utilise souvent de hautes concentrations en sous-produits dans la fabrication des aliments pour porcs. Mais, il faut noter que leur teneur élevée en fibres végétales augmente l'activité du gros intestin affectant ainsi la précision des essais de bilan (Picard et al., 1986).

Nous décrivons dans ce qui suit, un type de technique de bilan sur porcs, illustrant ainsi la méthode directe de détermination de la valeur énergétique des aliments.

3.1.1.1. Matériel et méthode

. Matériel animal

On utilise en général des mâles, pesant entre 30 et 80 kg, pour éviter le mélange des urines et des fèces. Le poids vif peut être ajusté selon le type de matière première étudié. Ainsi, les animaux de plus de 50 kg supportent bien des régimes riches en sous-produits et en fibres (Picard et al., 1986).

. Aliment testé

L'aliment expérimental doit être équilibré pour permettre une croissance suboptimale. Mais comme pour les coqs des niveaux élevés de la matière première permettent de réduire la variabilité résiduelle des tests. D'un autre côté, des concentrations trop élevées affectent la réalité des résultats dans la pratique, pour certaines matières premières (Perez et al., 1981).

Une légère restriction alimentaire est nécessaire pour homogénéiser les niveaux d'ingestion. En climat chaud, 80 à 90 g d'aliment sec par kg de poids métabolique et par jour semble être un bon compromis (Picard et al., 1986).

. Matériel

Les cages de bilan utilisées pour le porc sont ajustables à la taille de l'animal, afin d'en limiter les mouvements et permettre ainsi une récupération totale des fèces (en évitant les mélanges fèces/urines). On fait appel également à divers appareils : lyophilisateur, broyeurs etc. détaillés au paragraphe 3.1.2.1.

3.1.1.2. Chronologie et déroulement de l'essai

En raison du transit digestif lent, il faut des périodes d'adaptation au régime et des périodes de collecte plus longues que chez les volailles. L'essai débute par une phase d'adaptation aux cages de dix jours avec traitement antiparasitaire interne et externe. Puis le porc est utilisé pour chaque aliment pendant des périodes de deux semaines : une semaine d'adaptation au régime suivie d'une semaine de récolte complète des fèces. (Certains chercheurs préfèrent des périodes de collecte plus longues, de 10 à 14 jours).

Le nombre de répétitions est limité par le coût de tel travaux (de 4 à 8 porcs par régime). On utilise donc le système des périodes alternées.

Les différents régimes sont testés successivement sur le même porc (deux semaines pour chaque régime). L'ordre de distribution dans le temps est différent d'un porc à l'autre.

La distribution de l'aliment à lieu deux fois par jour (matin et soir) avec de l'eau. Un repas d'eau supplémentaire à midi, avec contrôle de la consommation, peut être intéressant pour mesurer l'effet éventuel du régime sur le besoin en eau (détection d'un excès minéral par exemple). En cages de digestibilité, l'abreuvement n'est pas *ad libitum* car certains animaux jouent avec l'eau et boivent trop, ce qui affecte leur santé.

L'animal est pesé chaque semaine ou toutes les deux semaines pour contrôler sa croissance (Picard et al., 1986).

3.1.1.3. Méthodes de calcul de l'énergie digestible et de l'énergie métabolisable

Pour les porcs trois systèmes différents coexistent dans le monde :

- l'énergie digestible (ED)
 - l'énergie métabolisable (EM)
- } apparentes
- les énergies nettes (EN) : EN d'entretien et EN de production.

L'énergie digestible est le système le plus simple et se mesure par un essai de bilan comme décrit plus haut.

Selon Henry et Perez (1982), c'est un système souple (il permet d'obtenir assez rapidement des valeurs pour des aliments nouveaux) et précis. En effet, l'énergie digestible est estimée avec une grande précision et le CUD de l'énergie est très faiblement influencé par l'âge, le sexe et le type génétique.

Les valeurs de l'énergie digestible obtenues chez l'animal en croissance peuvent s'appliquer avec une bonne approximation aux porcs adultes.

Mais, l'inconvénient de ce système est qu'il surestime les matières premières riches en protéines (car il ne tient pas compte des pertes urinaires d'azote) ni de l'énergie des gaz de la digestion (CH₄, H₂) et sous estime la valeur d'utilisation relative des graisses pour la formation de dépôts gras.

Le second système consiste à mesurer ou à estimer l'EM. Le passage de l'ED à l'EM implique de connaître à la fois les pertes d'énergie sous forme de gaz de fermentation (méthane principalement) et sous forme urinaire, nécessitant la mise en oeuvre d'une méthodologie lourde (Henry et Perez, 1982).

Actuellement, il existe toujours peu de résultats publiés mesurant l'élimination urinaire azotée pendant les essais de bilan. La technique est difficile et les pertes peuvent être importantes. Cependant, on peut estimer la teneur en EM d'un aliment avec l'équation suivante (Picard et al., 1986) :

$$\frac{EM}{ED} \times 100 = 100 - 1 - 0,07 \frac{PD}{ED}$$

EM = énergie métabolisable Mcal/kg

l = pertes d'énergie sous forme de gaz ; représente 1 p.100 de l'ED.

Mesurées par un test de bilan :

ED = énergie digestible Mcal/kg

PD = protéine digestible g/kg

0,07 = coefficient tenant compte d'une rétention de 50 p.100 des protéines digestibles et d'une élimination de 9 kcalories par g. d'azote urinaire (mesure expérimentale).

Par rapport à l'ED, le système sur l'EM estimée à l'avantage de mieux refléter la valeur énergétique des aliments riches en protéines ou contenant des glucides fermentescibles, générateurs de pertes plus ou moins importantes sous forme de méthane. Mais en raison des difficultés de mesure rigoureuse de la valeur EM, les données disponibles et dignes d'intérêt sont trop peu nombreuses pour servir de base à la confection de tables de valeur énergétique des aliments (Henry et Perez, 1982).

La mesure de l'EN est très compliquée (mesures des variations de la composition corporelle ou échanges respiratoires). Les valeurs sont difficiles à mesurer et peu de travaux sont réellement disponibles.

Aussi, actuellement en France on considère que les systèmes d'EN ne sont pas suffisamment maîtrisés pour une application pratique et on leur préfère l'ED ou l'EM apparentes (Picard et al., 1986).

Pour des raisons pratiques, nous n'avons pas effectué d'essai de bilan digestif sur porcs pour les sons de mil, maïs et sorgho.

3.1.2. Chez les volailles : rappels bibliographiques et expérimentation

Parmi les échantillons que nous avons analysé à l'IEMVT, deux sons de maïs, trois de mil et un de sorgho ; provenant du Sénégal ; nous ont permis de réaliser un essai de bilan digestif sur coqs. Les tableaux 4 et 4 bis en présentent les caractéristiques techniques et la composition chimique.

Cet essai nous a permis, outre une approche de la valeur énergétique de ces sous-produits, d'être confronté aux problèmes pratiques et théoriques de l'expérimentation, avec plus particulièrement le choix même de la méthode, qui conditionne toute l'opération.

Tableau 4 - Caractéristiques des sons utilisés pour l'essai de bilan digestif.

SOUS-PRODUIT	OBSERVATIONS
Son de maïs industriel	Sous-produit d'usinage.
Son de maïs semi-industriel	Obtenu par passage dans une abraseuse à disques dans le cadre d'une petite unité de traitement des céréales.
Son de mil artisanal	Obtenu par pilonnage traditionnel du mil humidifié. Ce son a donc été séché en couche mince à l'air et à l'ombre.
Son de mil industriel (1)	Obtenu après le premier passage du mil dans des rouleaux à émeri. Provient d'une unité de traitement industrielle.
Son de mil industriel (2)	Obtenu après le second passage du mil dans des rouleaux. Provient de la même unité de traitement que le précédent.
Son de sorgho artisanal	Obtenu par pilonnage artisanal après humidification du sorgho. Séchage du son en couche mince, à l'air et à l'ombre.

Tableau 4 bis - Composition chimique des sons testés.

Composition chimique (en p.100 de la MS)	Régime n° 4 Son mil artisanal	Régime n° 5 Son sorgho artisanal	Régime n° 6 Son maïs industriel	Régime n° 7 Son mil industriel (1)	Régime n° 8 Son mil industriel (2)	Régime n° 9 Son maïs semi-industriel
Matière azotée totale	14,9	10,8	6,3	12,1	12,7	10,5
Constituants pariétaux :						
Cellulose brute (Weende)	5,8	7,0	17,3	5,8	2,3	8,4
Parois totales (NDF)	25,8	36,3	77,9	31,7	13,9	44,9
Lignocellulose (ADF)	7,8	12,1	20,1	9,0	3,2	9,6
Parois végétales insolubles dans l'eau	27,8	33,7	76,9	27,9	12,5	41,6
Matière grasse	8,8	2,8	2,6	4,4	8,0	6,6
Extractif non azoté	60,78	70,22	72,30	71,98	74,66	72,04
Amidon	21,66	20,90	9,58	21,29	51,61	25,71
Cendres	9,76	9,25	1,51	5,72	2,25	2,45
Insoluble chlorhydrique	6,10	6,41	0,13	3,65	0,50	0,38
Phosphore total	0,60	0,50	0,15	0,29	0,41	0,36
Calcium	0,09	0,15	0,04	0,08	0,03	0,06
Energie brute (Kcal/kg MS)	4566	4251	4524	4440	4688	4693

3.1.2.1. Choix de la méthode

Trois types d'alimentation peuvent être employés :

- alimentation ad libitum : l'aliment est distribué à volonté dans des mangeoires individuelles anti-gaspillage (figure 5) ;

- gavage semi-liquide : un mélange eau-aliment en proportions déterminées pour chacun des sons (tableau 7), est administré en gavage aux oiseaux ;

- gavage sec : l'aliment est administré tel quel ou après broyage. L'alimentation ad libitum est celle qui se rapproche, physiologiquement, le plus de la réalité mais nécessite :

- . une quantité suffisante d'échantillon (environ 150 g par jour et par oiseau) ;
- . que les oiseaux consomment sans réticence cet aliment.

Le son de sorgho, en quantité insuffisante, a été orienté d'office vers une administration en gavage.

Les cinq autres sous-produits ont été distribué durant un week-end afin d'évaluer le niveau de consommation volontaire.

Les résultats obtenus (tableau 5) font apparaître une très grande variabilité entre les produits et pour un même lot de coqs.

Aussi avons nous choisi de nous orienter vers la méthode de gavage. Là encore un choix s'impose : gavage sec ou semi-liquide ?

Pour réaliser un gavage semi-liquide, il est nécessaire que l'aliment se prête bien à la formation d'une pâte homogène qui ne se démêle pas d'avec l'eau dans la seringue de gavage. Aussi, chaque son a-t-il ainsi été testé à différentes dilutions. Il est à signaler ici, que certains produits ont dû être rebroyés (à la grille 0,5 mm) pour obtenir une meilleure pâte.

Le gavage semi-liquide est préféré au gavage sec, car il permet d'administrer aux oiseaux une quantité plus importante d'aliment sec (120 à 150 g contre 50 g en gavage sec), ce qui améliore la précision des mesures d'énergie métabolisable. Il est néanmoins plus long et plus contraignant sur le plan pratique.

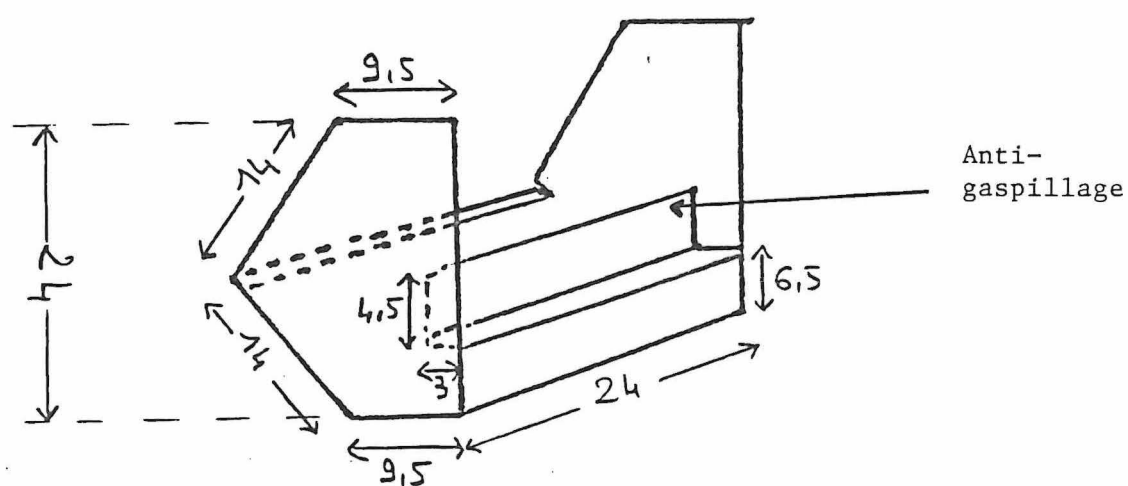


Figure 5 - Type de mangeoire anti-gaspillage.
(Source : Picard *et al.*, 1986).

NB : valeurs en cm.

Tableau 5 - Consommation des différents sons distribués en ad libitum du 15 juillet (matin) au 17 juillet (matin).

Régime	N° Coq	Consommation (g) pour deux jours
4 Son mil artisanal	47	142
	61	137
	62	85
	63	103
	65	24
	70	19
5 Aliment standard le son de sorgho étant prévu en gavage	37	112
	45	131
	49	132
	58	117
	66	104
	68	161
6 Son maïs industriel	38	12
	42	7
	44	17
	57	8
	60	7
	71	9
7 Son mil industriel (1)	43	110
	50	5
	51	6
	52	53
	59	6
	67	199
8 Son mil industriel (2)	40	198
	46	104
	53	80
	54	117
	56	167
	69	90
9 Son maïs semi-industriel	39	125
	41	87
	48	130
	55	2
	64	37
	72	3

Suite aux différents essais de dilution, seul le son de maïs industriel a dû être administré en gavage sec car même broyé il se mélangeait très mal avec l'eau et formait un bouchon d'aliment dans le pistolet de gavage.

Le choix de la méthode pour chaque sous-produit s'est imposé de lui-même, conditionné par le comportement alimentaire des animaux, la nature de l'aliment et la recherche d'une précision optimale des résultats.

Cette démarche par éliminations successives, nous a permis d'appréhender les avantages et les inconvénients de chaque méthode, qui sont repris dans le tableau 6.

3.1.2.2. Matériel

. Matériel animal

Notre essai s'est effectué sur coqs adultes de souche pondeuse demi-lourde ISA-BROWN.

Les coqs adultes, en conditions d'entretien, supportent en effet très bien le jeûne et les aliments pauvres. De plus, ils s'utilisent longtemps.

Le problème est de savoir, si on peut extrapoler les résultats obtenus sur coqs à d'autres types de volailles. Toutefois, les différences si elles existent, ne sont pas grandes et s'expliquent soit :

- par une rétention azotée supérieure avec les animaux en production ;

- par des variations de la digestion des graisses selon l'âge (supérieure chez les adultes par rapport aux poussins). (Dans ces deux cas, des corrections existent pour adapter les valeurs obtenues sur coqs, au type de volaille concerné) ;

- par une différence d'excrétion d'azote selon l'âge et l'espèce, dans le cas de l'EM apparente (EMA), (Picard et al., 1986).

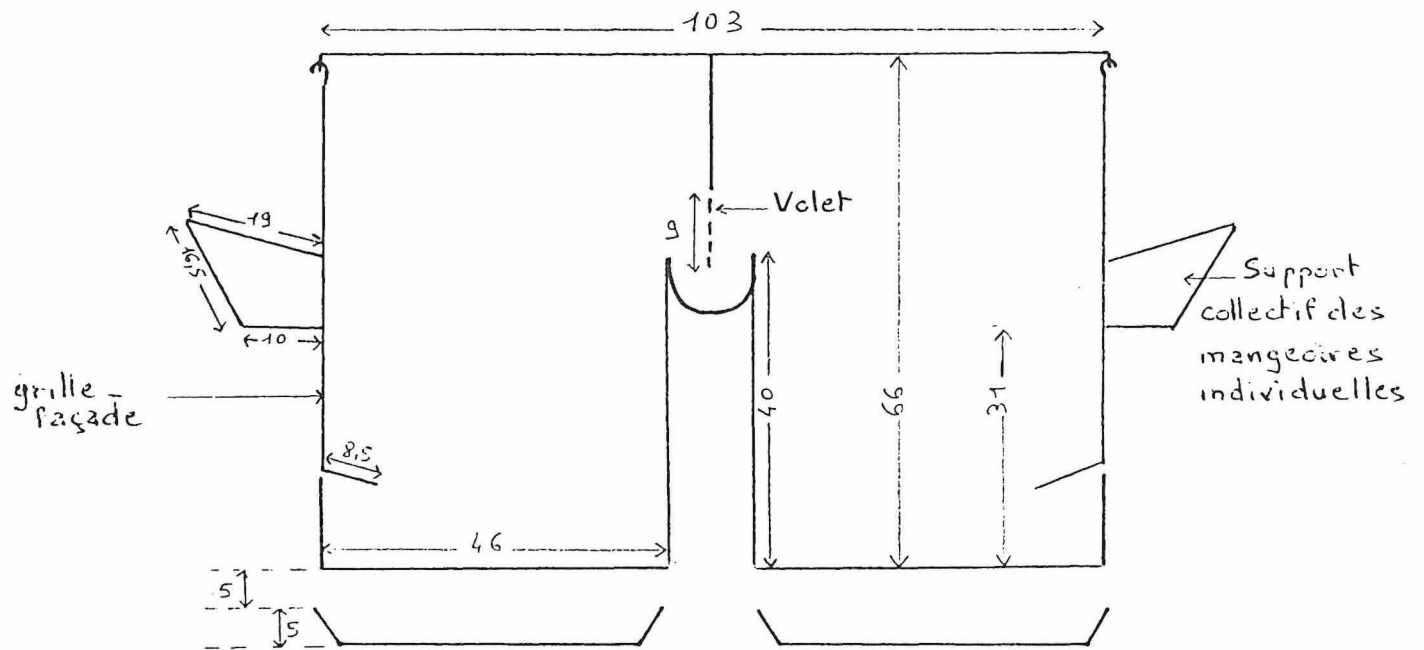
Pour les besoins de l'essai, les coqs sont placés individuellement en cages de digestibilité et numérotés de 37 à 72.

. Matériel d'expérimentation

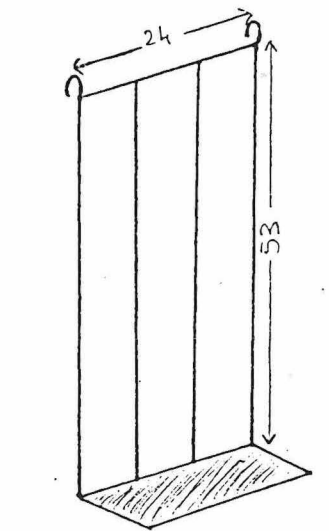
Les cages de digestibilité, construites selon le plan présenté à la figure 6, sont disposées en batteries dans une cellule à ambiance conditionnée (éclairage artificiel, ventilation ; température ambiante correspondant à celle de l'extérieur).

Tableau 6 - Avantages et inconvénients de chaque méthode d'alimentation.

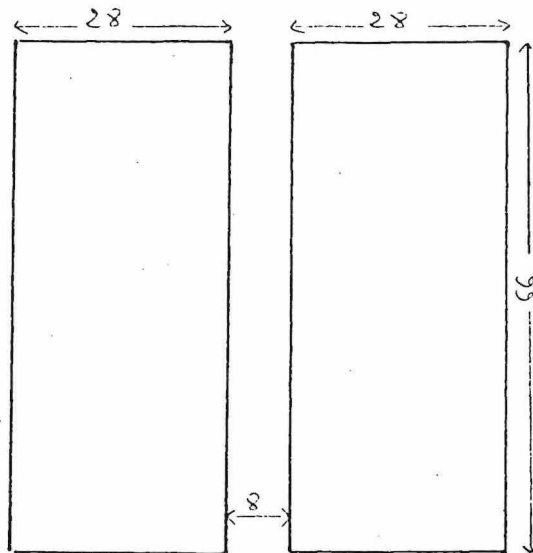
METHODE	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Ad libitum	- Pas de manipulation des oiseaux - Se rapproche plus des conditions physiologiques normales	- Nécessite beaucoup d'aliment ($\cong 2,5$ kg pour six coqs pour la durée d'expérimentation). - Estimation du gaspillage plus difficile. - Les animaux doivent accepter de consommer l'aliment. - Quantité de fèces plus importante (en tenir compte pour une bonne lyophilisation).
Gavage semi-liquide	- Quantité consommée plus grande qu'en gavage sec. - Quantité de fèces moins importante qu'en ad libitum d'où une lyophilisation plus rapide.	- Effets du gavage sur la physiologie de la digestion. - Manipulations plus astreignantes (main-d'oeuvre, temps). - Risque de mortalité par fausse déglutition lors de régurgitation. - Pertes par régurgitations. - L'aliment doit se prêter à une dilution homogène.
Gavage sec (Sibbald)	- Un seul gavage. - Encore moins de fèces qu'avec le gavage semi-liquide. - Valable quand échantillon en faible quantité (50 g. sont nécessaires/animal)	- Assez long et nécessitant trois personnes. - Risque de rétention d'aliment dans le jabot, plus important ici. - Faible quantité administrée (résultats moins précis). - Durée prolongée du jeun.



CÔTÉS



GRILLE - FAÇADE



FACES

NB: valeurs en cm.

Figure 6 - Cages de digestibilité

(Source : Picard et al - 1986)

Sous chaque cage, est placé un plateau de récolte des fèces. D'autres plateaux, plus petits, en aluminium, permettent la congélation puis la lyophilisation des excréments pour la durée du bilan.

Le matériel de gavage diffère selon le type de gavage :

- gavage semi-liquide : figure 7. Le tuyau en caoutchouc est introduit dans l'oesophage et descendu jusqu'au jabot ;
- gavage sec : figure 8. Par un mouvement régulier de la tige métallique, on fait descendre et on tasse l'aliment dans le jabot..

Outre, ces éléments essentiels, nous avons été amené à utiliser divers broyeurs : type moulin à café (Moulinex) pour les fèces ; petit moulin (Retsch) pour les matières premières. La lyophilisation des fèces s'est faite dans un appareil CIRP CS 25 et la mesure de l'EB (fèces et aliments) avec le calorimètre adiabatique Gallenkamp autobomb. Le dosage de l'azote total, après minéralisation et distillation des échantillons, est automatique (Titrator Mettler).

. Aliment testé

Comme nous l'avons vu précédemment, trois types de sons ont été testés en gavage, à des taux de dilution variés (tableau 7). Ces sons ont été administrés à l'état pur, c'est-à-dire sans incorporation à une ration de base. En effet, la teneur moyenne en protéines des sons (environ 10 p.100) leur permet d'assurer seuls la couverture du besoin journalier des oiseaux.

D'autre part, l'incorporation à une ration de base (maïs broyé par exemple), présente deux inconvénients :

- il faut d'une part, plus de temps pour que les oiseaux ingèrent une quantité équivalente de son ;
- d'autre part, aux erreurs d'estimation de la valeur énergétique du son testé, s'ajoutent celles du maïs, ce qui affecte notablement la précision des résultats.

Il faut néanmoins, reconnaître que cette technique est quand même moins astreignante que le gavage.

Ayant définis la méthode et le matériel employé, voyons à présent comment se déroule un essai de bilan et les résultats que nous avons obtenu pour ces divers sous-produits.

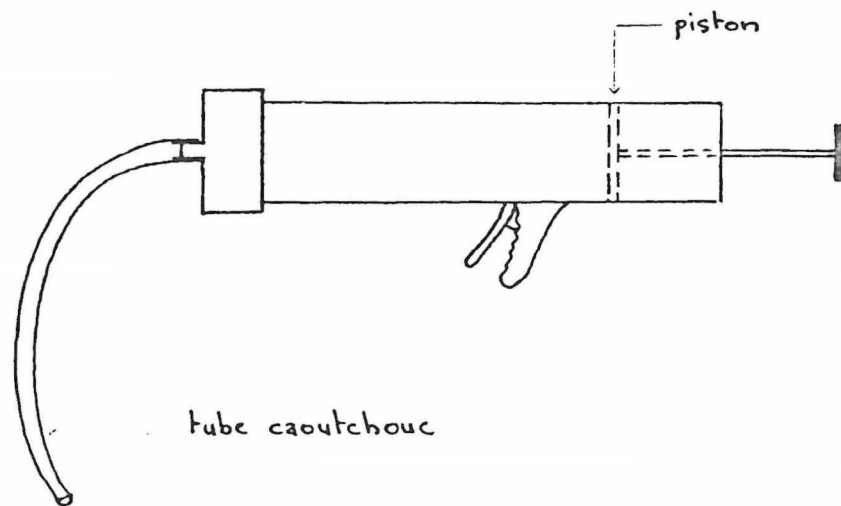


Figure 7 - Pistolet pour gavage semi-liquide

(Modèle fabrication I.N.R.A.)

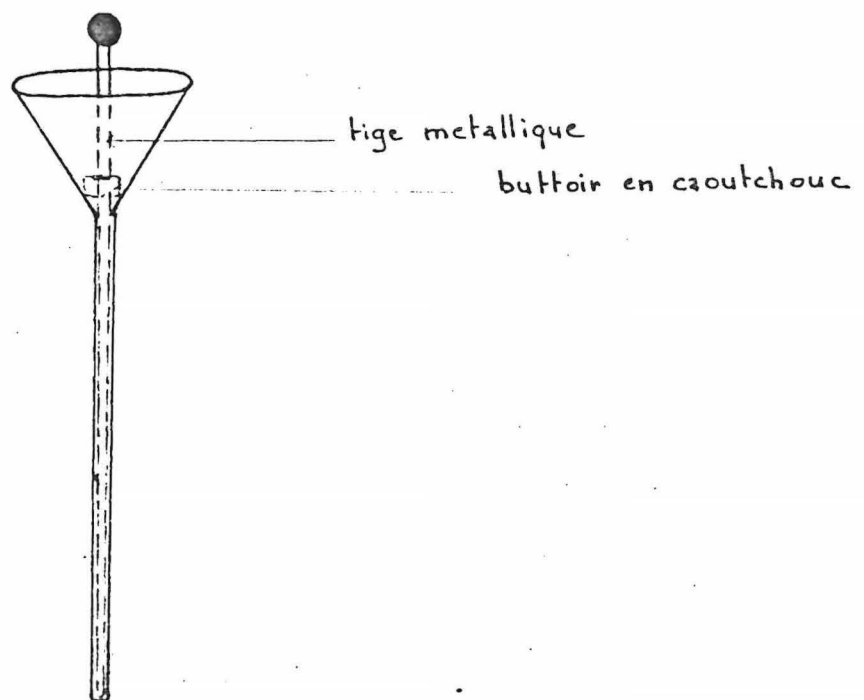


Figure 8 - Entonnoir pour gavage sec

(source : Note personnelle)

Tableau 7 - Préparation des aliments distribués aux coqs.

PRODUIT	N° REGIME	PROPORTION DE LA DILUTION EN GAVAGE SEMI-LIQUIDE	OBSERVATIONS
Son de mil artisanal	4	50 g son + 85 g eau	rebroyé à la grille 0,5 mm
Son de mil industriel (1)	7	50 g son + 70 g eau	-
Son de mil industriel (2)	8	50 g son + 58 g eau	rebroyé à la grille 0,5 mm
Son de maïs Semi-industriel	9	50 g son + 90 g eau	-
Son de sorgho artisanal	5	50 g son + 95 g eau	rebroyé à la grille 0,5 mm

3.1.2.3. Déroulement et chronologie de l'essai de bilan digestif

On distingue deux étapes principales :

3.1.2.3.1 Pré-expérience

Jeudi 13.07 : Les coqs sont pesés et répartis en six lots de six individus d'un poids vif moyen de 3,54 kg à 3,55 kg (tableau 8). On prépare pour chaque animal un seau contenant le régime alimentaire qui lui est destiné.

Samedi 15.07 : Début de la période d'adaptation à l'issue de laquelle, on peut voir si l'aliment est bien accepté ou pas. Cette phase d'alimentation ad libitum, contrôlée individuellement est fondamentale pour le choix de la méthode comme nous l'avons exposé précédemment.

3.1.2.3.2. Expérience

Lundi 17.07 : Après pesée des quantités d'aliments restantes, nous avons orienté notre choix vers la technique de gavage et avons, pour cela, procédé aux essais de dilution pour la réalisation de pâtes semi-liquides. Parallèlement à cela tous les oiseaux sont mis à jeûn dès 10 h.

Mardi 18.07 : Début du gavage semi-liquide l'après-midi avec détermination de la teneur en matière sèche de l'aliment sec et de la pâtée semi-liquide. Pour chaque coq, on relève l'heure exacte de gavage et l'on place immédiatement les plateaux de récolte des fèces sous les cages. Puis on tare les plateaux de conservation des matières fécales.

Tableau 8 - Poids vif des coqs

REGIMES	4	5	6	7	8	9
Poids vif (kg)	2,97	2,98	3,00	3,08	3,15	3,16
Numéro coq	62	49	44	50	46	55
	3,40	3,39	3,46	3,33	3,24	3,18
	47	58	38	59	69	39
	3,43	3,35	3,49	3,49	3,50	3,68
	61	66	60	67	53	72
	3,65	3,62	3,58	3,55	3,53	3,52
	63	37	57	43	54	41
	3,50	3,70	3,71	3,82	3,83	3,85
	70	45	71	51	40	48
	4,38	4,27	4,03	4,03	3,97	3,88
	65	68	42	52	56	64
Moyenne	3,555	3,552	3,546	3,550	3,537	3,545
Ecart-Type	0,423	0,395	0,309	0,310	0,294	0,292

Mercredi 19.07 : Gavage à sec des oiseaux soumis au régime 6 (son de maïs industriel) à raison de 50 g par animal et mise en place des plateaux de récolte des fèces. On procède également à un deuxième gavage semi-liquide des autres oiseaux pour lesquels, la première récolte de fèces aura lieu l'après-midi. Il est important, à chaque collecte d'éliminer les plumes et autres souillures et de noter la présence éventuelle d'eau ou de régurgitations. Les matières fécales sont ensuite conservées à - 18°C avant leur lyophilisation.

Jeudi 20.07 : L'après-midi a lieu la dernière récolte de fèces pour les oiseaux gavés en semi-liquide. Celle-ci doit démarrer à la même heure que le premier gavage du premier coq et être synchrone pour les suivants :

Exemple : Coq 37
gavage à 14h45 - récolte le 20.07 à 14h45.

Exemple : Coq 39
gavage à 16h - récolte le 20.07 à 16h.

Ceci est très important à respecter pour que tous les coqs soient dans les mêmes conditions. Afin de récupérer les fientes en totalité, on rince les plateaux de collecte à l'eau. On procède ensuite à la première récolte des fèces, de ceux gavés en sec. Elles sont également conservées à - 18°C.

Vendredi 21.07 : **Matin**

Récolte, en synchronisation également avec l'heure de gavage, de fèces des oiseaux gavés à sec (début à 9h05). Les coqs sont ensuite tous réalimentés avec un aliment standard.

L'après-midi

Les fientes sont mises à lyophiliser jusqu'au lundi suivant à 9h.

Pour une meilleure appréciation de ce planning de travail, nous en avons repris, sur la figure 9, les étapes essentielles

Lundi 24.07 : La journée du lundi est consacrée au traitement des fèces. Après la sortie du lyophilisateur, il est nécessaire de laisser les fientes se rééquilibrer, pendant deux heures, avec l'humidité ambiante.
Puis chaque plateau est pesé et les fèces broyées.
Avant leur mise en sachet plastique, on procède une dernière fois à l'élimination des plumes.
Le dosage de l'azote total et la détermination de l'EB constitueront la suite du traitement des fèces.

3.1.2.4. Mesures obtenues et calcul de l'EM

Après mesure des quantités ingérées et excrétées, les dernières données nécessaires au calcul de l'EM sont celles de l'EB et de la teneur en azote total des matières premières et des fèces (tableau 9).

L'EB mesurée sur calorimètre adiabatique, s'obtient en appliquant la formule suivante :

EB (cal/g) =

(température finale - température initiale) x 2531 cal/°C

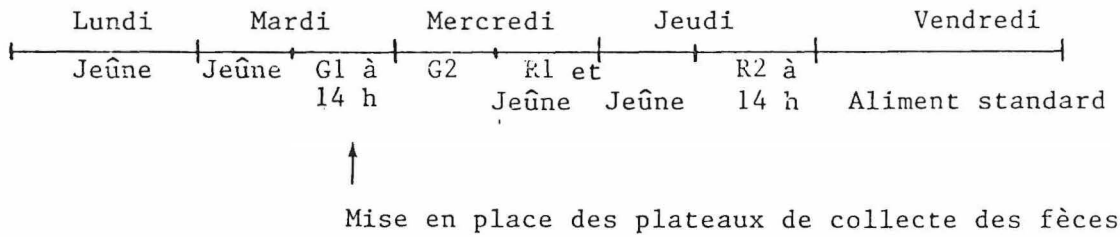
poids net de la prise d'essai (g)

La valeur du calorimètre (2531 calories/°C) est déterminée pour chaque appareil en faisant plusieurs déterminations calorimétriques concordantes avec de l'acide benzoïque, dont le pouvoir calorifique est connu. La teneur en azote obtenue selon la méthode de Kjeldahl, est calculée directement par l'appareil.

A partir de toutes ces données, il est possible de calculer l'EM des matières premières étudiées.

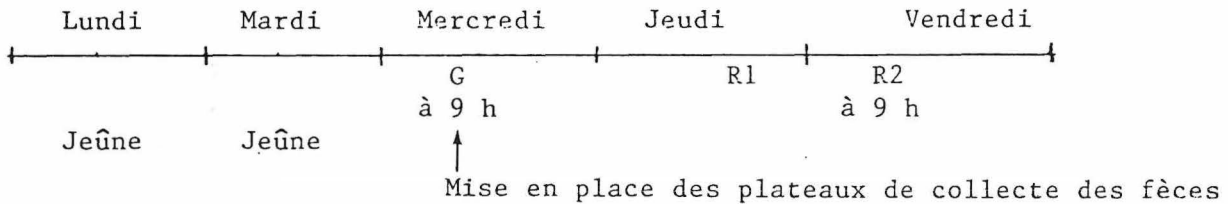
Figure 9 - Chronologie des gavages

1. Gavage semi-liquide



Administration de 100 à 150 g de son par oiseau, au total, en fonction de leur capacité d'ingestion.

2. Gavage sec



On administre 50 g de son par animal.

G = gavage (G1 = premier gavage ; G2 = 2e gavage).

R = récolte fèces (R1 = première récolte)

(R2 = 2ème récolte)

Tableau 9 - Résultats des mesures de l'EB et de l'azote des sons et fèces.

Régime	EB (cal/g de son)	Azote (p.100 du produit brut)	N° Coq	EB fèces (cal/g MS)	N fèces (p.100 de MS)
4	4129	2,170	47	3531	4,323
			61	3497	4,899
			62	3474	4,839
			63	3378	5,521
			65	3496	4,425
			70	3425	4,210
5	3759	1,549	37	3435	4,552
			45	3411	4,214
			49	3374	4,551
			58	3432	3,902
			66	3444	4,179
			68	3476	4,272
6	4017	0,915	38	3109	14,58
			42	3755	3,162
			44	3859	3,851
			57	3926	3,505
			60	3688	5,564
			71	3785	5,332
7	3978	1,770	43	3948	3,950
			50	3904	3,737
			51	3908	3,765
			52	3746	4,283
			59	3765	3,319
			67	3629	3,917
8	4197	1,814	40	3801	6,936
			46	3855	4,886
			53	3747	7,618
			54	4591	7,216
			56	3591	7,988
			69	3773	6,266
9	4260	1,502	39	3941	3,628
			41	3957	3,504
			48	3960	3,937
			55	3893	3,021
			64	3990	3,300
			72	3852	3,546

Calcul de l'EM

La première EM que l'on peut obtenir est l'EMA (énergie métabolisable apparente) qui ne tient pas compte des pertes azotées et qui s'obtient par la formule suivante :

$$\text{EMA (cal/g)} = \frac{\begin{matrix} \text{(Cal/g)} & & \text{(g.)} & & \text{(cal/g)} \\ \text{[EB de l'aliment} & \times & \text{consommation alimentaire]} & - & \text{[EB fèces} & \times & \text{quantité de fèces (g.)]} \end{matrix}}{\text{Consommation alimentaire (g.)}}$$

(Tableaux 10 - 11 - 12).

Cette EMA corrigée pour la rétention azotée (EMAn), permet la comparaison entre animaux à des stades physiologiques différents, mais également entre ses propres résultats et les diverses publications.

On élimine ainsi une source de variation.

La correction apportée varie de 8,22 à 8,73 kcal/g d'azote retenu, selon les auteurs.

$$\text{EMANn (kcal/kg)} =$$

$$\text{EMA} = \frac{\begin{matrix} \text{(g)} & & \text{(g)} \\ \text{(N consommé} & - & \text{N excrété)} \end{matrix} \times 8,22 \text{ kcal/g}}{\text{consommation (kg) d'aliment}}$$

(Tableau 12).

L'adulte à l'entretien ne retenant pas d'N, on considère que son bilan azoté est nul. Il est en effet très faible comme le montre notre essai (tableau 12). Mais pour les animaux produisant des oeufs ou de la viande, il est nécessaire de faire une correction qui tienne compte de leur rétention azotée positive.

A ce sujet, l'INRA distingue plusieurs valeurs d'EM :

- L'EM "poussin" pour les animaux de moins de 21 jours, qui utilisent particulièrement mal certaines matières premières ; elle tient compte d'une rétention azotée s'élevant à 40 p.100 de l'azote ingéré ;
- L'EM "poulet et pondeuse" pour les jeunes de plus de 21 jours et les femelles en ponte. Elle tient compte d'une rétention azotée de 30 p.100. (INRA - 1984).

Tableau 10 - Consommation alimentaire et excrétion fécale.

Régime	N° Coq	Poids vif (en g.)	Quantité pâtée humide consommée (en g.)	Quantité aliment sec consommée au total (en g.)	Moyenne	E.T. (s)	Quantité de fèces éliminée (g.) (lyophilisées)	Moyenne	E.T. (s)
4 Son mil artisanal	47	3400	320,2	118,48	128,67	12,06	51,6	58,35	6,37
	61	3430	332,0	122,84			55,2		
	62	2970	337,4	124,84			58,0		
	63*	3650	323,3	119,62			54,2		
	65	4380	403,4	149,26			69,2		
	70	3500	370,2	136,98			61,9		
5 Son sorgho artisanal	37	3620	391,6	137,06	130,08	11,33	60,8	59,74	4,19
	45	3700	399,0	139,65			60,9		
	49	2980	327,4	114,59			54,1		
	58	3390	400,2	140,07			63,7		
	66	3350	335,6	117,46			55,1		
	68	4270	376,2	131,67			63,8		
6 Son maïs industriel	38	3460	-	50	49,92	0,20	16,5 *	37,78 (44,45)	11,57 (1,77)
	42	4030	-	50			45,3		
	44	3000	-	50			45,2		
	57	3585	-	50			41,8		
	60	3490	-	49,5			32,4 *		
	71	3710	-	50			45,5		
7 Son mil industriel	43	3550	340,5	143,01	131,71	14,21	63,8	65,68 (59,20)	11,13 (5,73)
	50	3080	350,7	147,30			81,5 *		
	51	3820	337,9	141,92			75,8 *		
	52	4030	285,3	119,83			54,0		
	59	3330	268,9	112,94			54,5		
	67	3490	298,3	125,29			64,5		
8 Son mil industriel	40	3830	275,9	126,92	134,74	12,80	25,3	31,55 (27,74)	9,71 (3,00)
	46	3150	319,6	147,02			50,6 *		
	53	3500	265,0	121,90			25,4		
	54	3530	310,8	142,97			27,9		
	56	3970	263,3	121,12			27,4		
	69	3240	322,9	148,53			32,7		
9 Son maïs semi- industriel	39	3180	363,9	131,01	123,55	8,43	60,4	58,98	3,78
	41	3520	300,0	108,00			51,8		
	48 *	3850	344,0	123,84			60,2		
	55	3160	360,3	129,71			59,5		
	64	3880	353,9	127,40			63,0		
	72	3680	337,0	121,33			59,0		

48 Régurgitation (déduites de la quantité consommée)

63 Estimation suite à une coupure de courant à la balance.

Les valeurs () représentent la moyenne et l'E.T. obtenus après élimination des valeurs (*).

Tableau 11 - Estimation (en fonction de la dilution) et mesure de la teneur en matière sèche (MS) des régimes.

Régime	MS matière première (p.100)	(1) MS de la pâtée semi-liquide : valeur observée lors du gavage (p.100)	(2) MS de la pâtée : valeur théorique calculée à partir du mélange matière première + eau (p.100)
4	91,06	34,81	33,72
5	89,24	32,38	30,77
6	90,46	-	-
7	91,25	38,30	38,02
8	90,97	42,47	42,12
9	90,86	32,01	32,45

Les valeurs (1) et (2) se recoupent relativement bien, ce qui confirme la précision de la dilution.

Tableau 12 - Résultats du calcul des différentes énergies métabolisables pour les régimes testés.

Régime	N° Coq	Azote consommé - Azote éliminé (en g.)	Quantité d'aliment consommée (en g.)	EMA (kcal/kg de son)	EMAn (kcal/kg de son)			EMVn (kcal/kg de son)		
					Calculs	$\bar{x}$	s	Calculs	$\bar{x}$	s
Son mil artisanal 4	47	0,340	118,5	2591	2568	2555	43,9	2652	2633	49,0
	61	- 0,039	122,8	2558	2560			2641		
	62	- 0,097	124,8	2515	2521			2601		
	63	- 0,397	119,6	2598	2626			2710		
	65	0,176	149,3	2508	2498			2565		
	70	0,366	137,0	2581	2559			2632		
Son sorgho artisanal 5	37	- 0,644	137,1	2235	2274	2216	64,7	2347	2293	62,4
	45	- 0,403	139,6	2271	2295			2367		
	49	- 0,686	114,6	2166	2215			2302		
	58	- 0,315	140,1	2198	2217			2288		
	66	- 0,483	117,5	2143	2177			2262		
	68	- 0,686	131,7	2075	2177			2193		
Son maïs industriel 6	38	- 1,934	50	2997	3315	1409	1017,9	3515	1609	1018,1
	42	- 0,975	50	615	775			975		
	44	- 1,283	50	528	739			939		
	57	- 1,008	50	735	900			1100		
	60	- 1,350	49,5	1603	1827			2029		
	71	- 1,968	50	573	896			1096		
Son mil industriel (1) 7	43	0,011	143,0	2217	2216	2098	182,1	2286	2174	187,8
	50	- 0,438	147,3	1818	1842			1910		
	51	- 0,341	141,9	1891	1910			1980		
	52	- 0,191	119,8	2290	2308			2386		
	59	- 0,355	112,9	2161	2187			2275		
	67	- 0,308	125,3	2110	2130			2210		
Son mil industriel (2) 8	40	0,547	126,9	3439	3404	3274	209,7	3483	3349	214,3
	46	0,194	147,0	2870	2859			2927		
	53	0,276	121,9	3416	3398			3480		
	54	0,580	143,0	3301	3268			3338		
	56	0,008	121,1	3385	3384			3467		
	69	0,645	148,5	3366	3331			3398		
Son maïs semi- industriel 9	39	- 0,224	131,0	2443	2457	2395	62,0	2533	2476	60,7
	41	- 0,193	108,0	2362	2377			2370		
	48	- 0,510	123,8	2335	2369			2450		
	55	0,151	129,7	2474	2465			2542		
	64	- 0,166	127,4	2287	2298			2376		
	72	- 0,270	121,3	2387	2405			2487		

A l'issue de ces calculs, il apparaît que la valeur énergétique des sons de mil et de sorgho est très intéressante, notamment dans le cas des produits artisanaux (2555 et 2216 kcal/kg de son), pour lesquels les résultats obtenus sont bien homogènes (E.T. faibles : 43,9 et 64,7 kcal).

Le son de mil industriel (2) est nettement supérieur aux autres (3274 kcal/kg de son), en raison de son mode d'obtention, qui lui confère une plus grande proportion d'albumen du grain.

Le son de maïs semi-industriel est également plus énergétique (2395 kcal/kg de son) que le son industriel pour les mêmes raisons. Par contre, le son de maïs industriel, à 1409 kcal/kg de produit brut, présente des résultats extrêmement variables (E.T. = 1017,9 kcal), d'où une certaine prudence quant à l'appréciation de sa valeur énergétique.

L'EM peut aussi être corrigée par soustraction des pertes inéluctables de l'animal, non liées directement à l'ingestion d'aliments : pertes endogènes fécales et urinaires. On obtient alors, l'EM vraie supérieure de 5 à 10 p.100 à l'EMA.

Lorsque la quantité d'aliment consommée est grande (exemple en ad libitum) ou avec des produits peu digestibles, les pertes endogènes sont petites proportionnellement. L'erreur que l'on fait en les ignorant, est donc faible et l'EMA est une donnée correcte.

Au contraire, avec le gavage sec, les pertes endogènes sont assez grandes, et il devient alors nécessaire de corriger l'EMA en EM Vraie. En effet, la différence entre l'EMA et l'EMV, est nettement plus élevée dans le cas du régime 6 par rapport aux autres (200 kcal/kg contre 80 kcal/kg environ).

D'autre part, la correction pour la rétention azotée pouvant également s'appliquer à l'EMV, on obtient la formule suivante que nous avons utilisée pour le calcul de l'EMVn au tableau 12.

$$\text{EMVn} = \text{EMAn (kcal/kg)} + \frac{\text{EEn}}{\text{ingéré (kg)}} \quad (\text{kcal/kg})$$

EEn = excrétion endogène, estimée à 5 kcal/j.

Quels commentaires, quelles critiques et quelles conclusions pouvons-nous tirer de cet essai ?

3.1.2.5. Discussion

Précision et rigueur, tant dans la chronologie du bilan que dans les pesées, dilution de l'aliment sec..., doivent être le souci constant de l'opérateur afin de ne pas aggraver les nombreuses sources d'imprécision déjà liées à la méthode de mesure, à savoir :

- la représentativité des échantillons employés ;
- la variabilité individuelle et journalière de la consommation ;
- les pertes d'aliment par gaspillage, régurgitation qui sont quelquefois difficilement appréciables dans leur totalité ;
- les fluctuations de la teneur en matière sèche des aliments ;
- la contamination des fèces par les plumes et desquamations ;
- les erreurs de mesures au laboratoire.

A ce sujet, plusieurs critiques peuvent être formulées concernant notre essai.

Nous avons vu précédemment (paragraphe 3.1.2.1.) ce qui nous a amené à choisir les techniques de gavage sec et humide. L'inconvénient est que tous les oiseaux ne subissent pas le même type de traitement : double manipulation des oiseaux, pour le gavage semi-liquide ; quantités absorbées et durées de jeûne différentes, etc.. D'où, des sources de variations supplémentaires.

La variabilité de l'ingéré des coqs, au cours des deux jours précédant l'essai, est liée principalement à l'appétabilité des différents sons. A ce sujet, le son du régime 6, sous forme de particules, aurait peut être été mieux consommé après broyage.

Elle peut être également la conséquence :

- d'un ramassage incorrect de l'aliment refusé ;
- d'un plus grand gaspillage par certains oiseaux (d'où une consommation apparemment élevée).

Quoi qu'il en soit, ces variations de consommation placent les oiseaux, dès le début du test, dans un état digestif et métabolique différent.

Concernant le gavage semi-liquide les différences de consommation que l'on observe sont dues à l'opérateur et il aurait été préférable de placer tous les oiseaux à un même niveau de consommation par un troisième gavage. Mais ceci n'a pu s'effectuer pour des raisons de délai d'expérimentation.

D'autre part, sachant que le broyage influence quelque peu la digestibilité des matières premières en facilitant l'action des enzymes, il aurait été plus judicieux de repasser tous les sons à la grille 0,5 mm (et non pas uniquement les régimes 4, 8 et 5).

L'influence du facteur individuel sur le transit digestif apparaît nettement au tableau 10, notamment lorsque l'on considère l'excrétion fécale des coqs numéro 46 (régime 8) ; 50, 51 (régime 7) ; 38 et 60 (régime 6). Pour ces deux derniers la présentation du son en pellicules, non broyé, a pu aggraver le phénomène de rétention d'aliment, au niveau du jabot, qui survient particulièrement avec le gavage sec. Ceci se vérifie par une palpation minutieuse du jabot de chaque oiseau. Notre erreur a été de ne la faire que pour un coq sur deux. Pour les autres lots, l'action laxative des sons peut être à l'origine des différences d'excrétion fécale observées entre certains oiseaux.

On note également, au niveau du dosage de l'azote fécal, une valeur nettement supérieure pour le coq numéro 38 du régime 6. En effet, il est possible que suite à la rétention d'aliment dans le jabot, cet animal se soit trouvé proche des conditions de jeûne au cours duquel l'excrétion d'azote d'origine endogène est plus forte (consécutive à la destruction des protéines corporelles de l'animal).

Le problème de fluctuation de la teneur en matière sèche des matières premières étudiées est moins apparent avec la technique de gavage qu'avec la distribution ad libitum. En effet, dans le dernier cas, l'humidification de l'aliment, dans les mangeoires (par les oiseaux ou par fuites d'abreuvoir), peut faire varier considérablement le taux de matière sèche. D'où la nécessité d'une mesure de l'humidité du produit consommé, au début et à la fin de l'essai. Dans le cas de notre test, nous n'avons pas eu de problèmes à ce niveau-là. Néanmoins, d'un coq à l'autre, la teneur en matière sèche de la pâtée semi-liquide est malgré tout variable ; le mélange eau-aliment n'étant jamais parfaitement constant à chaque administration.

Les résultats du tableau 12, ne donnent qu'une première approche de la valeur énergétique (EM) des sons de mil, maïs, sorgho, car une étude sur six échantillons (dont un seul, pour le sorgho) peut difficilement être généralisée.

D'autre part, dans le cas du son de maïs industriel (régime 6), les fortes variations de l'EMAn (3315 à 739

kcal/kg produit brut) rendent difficile leur appréciation, mais le faible nombre de mesures, dont nous disposons, ne nous permet pas d'éliminer les plus hétérogènes.

Néanmoins, en considérant le soin apporté aux différentes phases de cet essai, nous pouvons estimer ces quelques résultats de mesure de l'EM, comme assez fiables, excepté pour le régime 6.

Pour une même céréale, la valeur énergétique d'un son varie de façon notable d'un échantillon à l'autre.

Ainsi le son de mil industriel obtenu par deuxième passage des grains dans les rouleaux, apparaît plus énergétique que celui issu du premier passage (EM = 3349 kcal/kg contre 2174 kcal/kg). Ceci est compréhensible, puisqu'une plus grande partie de l'albumen du grain se trouve emporté avec le son, lors d'un deuxième remoulage.

Par contre, le son de mil obtenu artisanalement (pilonnage) est de valeur intermédiaire aux deux précédents (EM = 2633 kcal/kg contre 2174 et 3349 kcal/kg). Ceci est intéressant sur le plan économique (coût différent des matières premières), mais il faut souligner qu'avec les produits artisanaux, persiste le problème de leur standardisation.

Concernant le son de maïs industriel et semi-industriel, les modalités de traitement influencent de la même manière la valeur énergétique (respectivement 1609 et 2476 kcal/kg). Les commémoratifs accompagnant le son de maïs semi-industriel précisent que "la teneur en amidon de ce son serait plus élevée que dans un son classique", ce qui explique sa valeur énergétique plus élevée.

Ces considérations peuvent laisser supposer qu'un son de sorgho obtenu industriellement aura une valeur énergétique inférieure à celle d'un son obtenu artisanalement.

Outre une première appréciation qualitative des produits, nous avons tenté d'établir des relations entre l'EM et la composition chimique. Des liaisons significatives ont été mises en évidence entre les teneurs en EM et celles en constituants pariétaux (CB, PAR) mais aucune corrélation multiple significative n'a pu être établie.

Toutefois, le faible nombre d'échantillons (6) d'une part et d'autre part les difficultés d'interprétation de la valeur EM mesurée sur l'échantillon 6 ne nous permettent pas de présenter ici les relations obtenues. Elles se caractérisent d'ailleurs par un écart-type résiduel très élevé (205 kcal) comparativement à ceux des équations extraites de la bibliographie.

- sous-produits du blé (Janssen et Carré, 1985) :

EM (kcal/kg = 3930 - 182 CB (p.100) avec ETR = 60 kcal/kg

- sous-produits de l'orge (Janssen et Carré, 1985) ;

EM (kcal/kg) = 3700 - 115 CB (p.100) avec ETR = 100 kcal/kg

- son de blé et corn gluten feed (Carré, 1988) :

EM (kcal/kg) = 3639 - 167 CB (p.100) avec ETR = 101 kcal/kg.

Ce type d'équation présente un intérêt certain pour les fabricants d'aliments car, comme nous le verrons plus loin, très peu de tables alimentaires donnent la valeur énergétique des sons de mil et sorgho ; mais pour ces aliments il est nécessaire d'effectuer d'autres essais.

Aussi proposons-nous, pour une poursuite du travail :

- de faire de nouveaux essais de bilan sur son de maïs industriel (régime 6), maïs broyé et incorporé à une ration de base (en raison des fortes variations observées sur cet échantillon) ;

- de réaliser d'autres bilans digestifs sur coqs, en ad libitum cette fois, soit en réalisant un mélange avec une ration de base, soit en augmentant la période d'adaptation (les oiseaux se mettent parfois à consommer le produit tel quel après un temps d'adaptation plus long). Les quantités consommées en ad libitum étant en général plus élevées, la mesure de l'EM est donc plus précise ;

- de faire en double les mesures d'EB sur les fèces, afin de diminuer les sources d'erreurs liées à l'opérateur ;

- de travailler sur un plus grand nombre d'échantillons, pour en tirer des équations spécifiques. Choisir des produits obtenus par différents modes de traitement (artisanal, industriel, semi-industriel...) et issus de régions diverses ; ce qui permettrait d'évaluer l'importance des variations de la valeur énergétique selon la provenance du son ;

- enfin, de réaliser des essais alimentaires pour établir d'une part, leurs limites d'incorporation dans les rations, ainsi que leurs effets sur les performances zootechniques des oiseaux.

3.2. Méthodes indirectes de détermination de la valeur énergétique : équations de prédiction

Le plus souvent, l'estimation de la valeur énergétique des aliments fait appel à des équations de prédiction, dont nous avons eu un aperçu précédemment.

En effet, faute de pouvoir mesurer directement les valeurs énergétiques, beaucoup de praticiens ont recours aux équations de prédiction, classées en deux catégories selon qu'elles s'adressent aux mélanges ou aux matières premières (Leclercq, 1985).

La valeur énergétique obtenue à l'aide de ces équations est estimée soit à partir des teneurs en éléments digestibles, ce qui suppose la mesure de la digestibilité, soit à partir de la seule analyse chimique des aliments, ce que nous utilisons ci-dessous.

Il convient de noter cependant, que ces équations ont souvent une valeur très relative et temporaire. En effet, les critères analytiques employés peuvent être amenés à évoluer ou même à disparaître, (Leclercq, 1985).

3.2.1. Aliment pour porc

Henry et Perez (1983), notent que l'estimation de la teneur en énergie digestible (ED) des matières premières à partir des éléments digestibles demeure imprécise, en raison des problèmes de choix du coefficient d'utilisation digestive (CUD), de la fiabilité des CUD de la matière grasse et de la cellulose brute, et des limites du fractionnement des glucides, selon Weende. D'autre part, plus les coefficients sont nombreux, plus on augmente le pourcentage d'erreur.

Aussi, selon ces auteurs, est-il préférable d'estimer directement l'ED d'une matière première par la méthode globale qui permet un ajustement en fonction de la composition chimique. L'application de cette méthode, n'est pas possible lorsque l'on dispose seulement des coefficients de digestibilité moyens pour les différents principes alimentaires.

Ils proposent donc la démarche suivante pour les matières premières et les aliments composés :

$$\begin{array}{ccccc} \text{ED} & = & \text{EB} & \times & \text{CUD E} \\ (\text{kcal/kg}) & & (\text{kcal/kg}) & & (\text{p.100}) \end{array}$$

avec

$$\begin{array}{llll} \text{CUD.E} = 96,3 - 1,39 \text{ ADF} & - 0,56 (\text{NDF} - \text{ADF}) & (\text{Henry, 1976}) \\ (\text{p.100} & (\text{p.100} & (\text{p.100} \\ \text{de MS}) & \text{de MS}) & \text{de MS}) \end{array}$$

ADF = Acid detergent fiber, correspond à la fraction lignocellulose ;

NDF = Neutral detergent fiber qui représente l'hémicellulose (Van Soest, 1963).

On sait en effet que les variations du CUD de l'énergie (CUD.E) dépendent non seulement de la teneur en parois totales (ou en cellulose brute), mais aussi de la répartition de ces constituants entre hémicellulose, cellulose et lignine.

Les méthodes de prévision de la digestibilité font donc de plus en plus appel au fractionnement des constituants pariétaux, par la méthode de Van Soest (1963), comme le montre l'équation proposée ci-dessus :

L'énergie brute (EB) quant à elle, est obtenue soit par mesure calorimétrique, soit en appliquant l'équation proposée par Schiemann et al. (1971) :

$$\begin{array}{llllll} \text{EB} & = & 5,72 \text{ MAT} & + & 9,50 \text{ MG} & + & 4,79 \text{ CB} & + & 4,17 \text{ ENA} & + & i \\ (\text{kcal/kg}) & & (\text{g/kg}) & & (\text{g/kg}) & & (\text{g/kg}) & & (\text{g/kg}) & & \end{array}$$

Δi étant un facteur de correction pour un type d'aliment donné et obtenu par différence entre l'EB mesurée et calculée sur une série d'échantillons. Disposant de l'EB mesurée et de la composition chimique, nous pouvons calculer ce i pour les sons de maïs, mil et sorgho.

On obtient donc :

Ecart-type

- pour le son de maïs	$\Delta i = 17 \text{ kcal/kg}$	113	$n = 14$
- pour le son de mil	$\Delta i = - 34 \text{ kcal/kg}$	157	$n = 15$
- pour le son de sorgho	$\Delta i = 57 \text{ kcal/kg}$	66	$n = 3$

Ces valeurs sont faibles, ce qui prouve que l'équation de Schiemann et al. (1971), est très fiable.

Tableau 13 - Comparaison ED calculée et ED extraite des tables alimentaires.

		SON MAÏS N = 13			SON MIL N = 15			SON SORGHO N = 3		
		EB = f (MAT, MG, CB, ENA)	CUDE = f (ADF, NDF)	ED = EB x CUDE	EB = f (MAT, MG, CB, ENA)	CUDE = f (ADF, NDF)	ED = CB x CUDE	EB = f (MAT, MG, CB, ENA)	CUDE = f (ADF, NDF)	ED = EB x CUDE
ED CALCULEE	$\bar{x}$	4640	63	2869	4558	74	3404	4384	66,49	2915
	s	129,6	11,0	538,5	311,5	4,6	383,2	207,6	2,0	181,5
ED TABLES		-	-	2809 (1) 3532 (2) 3601 (3) 3678 (3) 3638 (3)	-	-	-	-	-	-

* EB, ED en Kcal/kg MS

* CUDE en p.100 de la MS

(1) : INRA - 1984

(2) : ENSMINGER ET OLENTINE, 1978

(3) : INTERNATIONAL FEEDSTUFFS INSTITUTE, 1982.

Nous avons calculé l'ED pour un certain nombre d'échantillons des sons étudiés et nous avons tenté de la comparer avec les valeurs de ED données dans les tables (Tableau 13).

Le son de mil présente une valeur énergétique plus élevée que celle du son de maïs (3404 kcal/kg MS contre 2869 kcal/kg MS) lequel est à peu près équivalent au son de sorgho (2869 et 2915 kcal/kg MS).

L'ED du son de maïs donnée par les tables de l'INRA est la plus proche de la valeur calculée. C'est aussi la valeur la plus récente par rapport aux autres.

Pour les sons de mil et sorgho, nous n'avons pu obtenir de références bibliographiques.

3.2.2. Aliment pour volaille

3.2.2.1. Application des équations de prédiction de la bibliographie

Pour la détermination de l'énergie métabolisable (EM), chez les volailles, il existe des équations de prédiction spécifiques à certaines matières premières. Cependant, hormis pour le son de maïs, nous n'avons pas trouvé dans la littérature, d'équations spécifiques pour les sons de mil et sorgho.

Aussi avons nous choisi de leur appliquer les formules utilisées pour les sous-produits de l'orge, du blé et du maïs. Les équations que nous utilisons sont reprises au tableau 14. Disposant de valeurs d'EM mesurées ou estimées d'après les équations ci-dessus pour six échantillons, nous avons (grossièrement) déterminé les équations les plus adaptées à des issues de céréales tropicales d'origines diverses. Nous avons ensuite appliqué ces équations sélectionnées, à l'ensemble des échantillons dont nous disposions.

Par contre, nous n'avons pas utilisé ici, la relation établie précédemment (paragraphe 3.1.2.5) à partir des six mesures in vivo de l'EM ($EM = f(CBw)$), car son manque de précision n'autorise pas, à notre avis, une application à d'autres échantillons.

3.2.2.2. Résultats et interprétations

Les valeurs mesurées et estimées sont portées au tableau 15. Les écarts entre ces deux valeurs, au tableau 16. Les sons de maïs, industriel et semi-industriel, sont les plus cellulositiques des trois types de sons (17 et 8 p.100 de la MS) et la valeur EM calculée, la plus proche de celle mesurée, est obtenue avec l'équation n°3 adaptée aux sous-

Tableau 14 - Equations de prédiction de l'EM chez les volailles, appliquées aux échantillons.

N°	Type d'aliment	Equation de prédiction	ETR	R	Source
1	Sous-produits du maïs	EMAn = 17,72 MS - 17,72 C - 9,931 PB + 11,73 MG - 69,34 CB (KJ/kg) (g/kg) (g/kg) (g/kg) (g/kg) (g/kg)	458 KJ = 109 kcal	-	JANSSEN (1988)
2	Sous-produits du blé	EM = 3930 - 182 CB (kcal/kg) (p.100)	60 kcal	0,998	JANSSEN et CARRE (1985)
3	Sous-produits de l'orge	EM = 3700 - 115 CB (kcal/kg) (p.100)	100 kcal	-	JANSSEN et CARRE (1985)
4	Son de blé et corn gluten feed	EM = 3639 - 167 CB (kcal/kg) (p.100)	101 kcal	0,951	CARRE (1988)
5		EM = 3887 - 51,6 C - 37,5 PAR (kcal/kg) (p.100) (p.100)	56 kcal	0,985	
6		EM = - 871 + 1,056 EB - 46,43 PAR (kcal/kg) (kcal/kg) (p.100)	70 kcal	0,977	
7		EM = 31,3 PB + 66,3 L + 39,1 ENA PAR (kcal/kg) (p.100) (p.100) (p.100)	57 kcal	0,982	
8		EM = 1348 + 32,1 A (kcal/kg) (p.100)	137 kcal	0,908	
9	Matières premières	EMAn = 37,05 PB + 81,96 MG + 39,87 A + 31,08 S (kcal/kg) (p.100) (p.100) (p.100) (p.100)	-	-	CARRE (1988) Equation CEE

EMAn = énergie métabolisable apparente pour un bilan azoté nul.

EM = énergie métabolisable.

C = cendres, PB = protéines brutes ; L = MG = matière grasse ; CB = cellulose brute ; ENAPAR = extractif non azoté calculé à partir de la teneur en parois.

EB = énergie brute.

PAR = parois végétales insolubles dans l'eau.

A = amidon ; S = sucres totaux.

Tableau 15 - Teneurs en énergie métabolisable estimées et mesurées d'échantillons de son de maïs, mil et sorgho. Relations entre les valeurs mesurées et estimées.

	SON MAÏS		SON MIL			SON SORGHO	Coefficient de corrélation entre EM mesurée et calculée	ETR
	industriel	semi-industriel	Artisanal	industriel (1)	industriel (2)	Artisanal		
EM estimée (kcal/kg MS) JANSSEN (1988) sous-produits du maïs 1 : $EMA_n = f(MS, C, PB, MG, CB)$	1232	2676	2755	2871	3678	2511	0,935	265
JANSSEN et CARRE (1985) Sous-produits du blé 2 : $EM = f(CB)$	785	2403	3075	3320	3464	2661	0,801 NS	-
JANSSEN et CARRE (1985) Sous-produits de l'orge 3 : $EM = f(CB)$	1713	2735	3159	3315	3406	2898	0,801 NS	-
CARRE (1988) Sons de blé et corn gluten feed 4 : $EM = f(CB)$	753	2238	2854	3080	3211	2475	0,801 NS	-
5 : $EM = f(C, PAR)$	925	2201	2341	2547	3304	2147	0,922	289
6 : $EM = f(EB, PAR)$	335	2154	2659	2524	3501	2054	0,930	273
7 : $EM = f(PB, MG, ENA_{PAR})$	866	2285	2563	2624	3454	2224	0,931	272
8 : $EM = f(A)$	1655	2173	2043	2031	3005	2019	0,930	273
9 : $EM = f(PB, MG, A, S)$	892	2017	2196	1722	3250	1524	0,977	-
EM_{AN} mesurée (kcal/kg MS)	1558	2636	2806	2299	3599	2483	-	-

NS = non significatif
avec $S = 2 \text{ p.100}$ de la MS pour tous les sons

produits de l'orge ($EM = f(CBw)$). L'équation 1 ($EM = f(MS, C, PB, MG, CB)$), permet aussi une assez bonne estimation de la teneur en EM du son de maïs semi-industriel (probablement en raison de sa teneur en protéines brutes élevée).

Les remarques formulées pour le son de maïs semi-industriel peuvent aussi s'appliquer au son de mil artisanal (équations 1 et 4). L'équation 6 donne les moins mauvaises estimations pour les sons de mil industriels.

D'une manière générale, nous constatons que pour les produits artisanaux, ou issus d'une mouture plus poussée, dont la teneur en protéines brutes est supérieure à celle des produits industriels classiques, la moins mauvaise estimation de l'EM prend en compte la teneur en protéines brutes.

Ces quelques remarques ne sont cependant pas généralisables en raison du faible nombre de mesures sur lesquelles elles sont fondées. Pour l'ensemble des sons étudiés, nous avons pu relever, sur la base de la matrice des corrélations entre les valeurs mesurées et calculées sur six sons, quelles estimations présentent la meilleure corrélation avec la valeur mesurée (tableau 15). Ceci afin de déterminer une équation applicable, dans la pratique, aux sous-produits de céréales peu connus. Il s'agit des équations 1, 5, 6, 7 et 8.

Mais parmi celles-ci, l'équation 1 présente l'écart moyen ($EM \text{ mesurée} - EM \text{ estimée}$) et l'ET les plus faibles (tableau 16). Ce qui apparaît nettement sur le graphique de la figure 10 où nous avons représenté les différentes relations $EM \text{ mesurée} = f(EM \text{ estimée selon l'équation } n^{\circ} = x)$, qui sont les suivantes :

- (1) $EM \text{ mesurée} = 0,79 EM \text{ équation 1} + 503$ ETR = 265 R = 0,934
- (5) $EM \text{ mesurée} = 0,80 EM \text{ équation 5} + 775$ ETR = 289 R = 0,922
- (6) $EM \text{ mesurée} = 0,59 EM \text{ équation 6} + 1261$ ETR = 273 R = 0,930
- (7) $EM \text{ mesurée} = 0,74 EM \text{ équation 7} + 845$ ETR = 272 R = 0,931
- (8) $EM \text{ mesurée} = 1,37 EM \text{ équation 8} - 397$ ETR = 273 R = 0,930
- (9) $EM \text{ mesurée} = 0,827 EM \quad " \quad 9 + 964$ R = 0,977

Nous avons donc estimé les valeurs énergétiques des échantillons analysés au laboratoire, à l'aide de l'équation 1 de Janssen (1988) et en corrigeant le résultat obtenu par la relation obtenue entre cette estimation et les valeurs mesurées sur coqs (tableau 17). Ceci nous donne une meilleure précision des estimations. Il ressort de ce tableau que le son de mil présente une valeur énergétique supérieure à celles des sons de maïs, sorgho et blé. Ceci est intéressant à considérer tant sur le plan économique que pratique (réduc-

Tableau 16 - Différences entre les teneurs en énergie métabolisable mesurées et celles estimées par diverses équations adaptées aux sous-produits de céréales

EQUATIONS	SON DE MAIS		SON DE MIL			SON DE SORGHO	Moyenne	Ecart type
	Industriel	semi industriel	artisanal	industriel (1)	industriel (2)	artisanal		
1	326	- 40	51	- 572	- 79	- 28	- 57	292
2	773	233	- 269	- 1021	135	- 178	- 55	600
3	-155	- 99	- 353	- 1016	193	- 415	- 307	408
4	805	398	- 48	- 781	388	8	128	542
5	633	435	465	- 248	295	336	319	302
6	1223	482	147	- 225	98	429	359	494
7	692	351	243	- 325	145	259	227	330
8	- 97	463	763	268	594	464	409	297
9	666	619	610	577	349	959	630	196

Figure 10 - Représentation graphique de l'énergie métabolisable mesurée, en fonction de l'énergie métabolisable estimée par les équations 1 ; 5 ; 6 ; 7 et 8

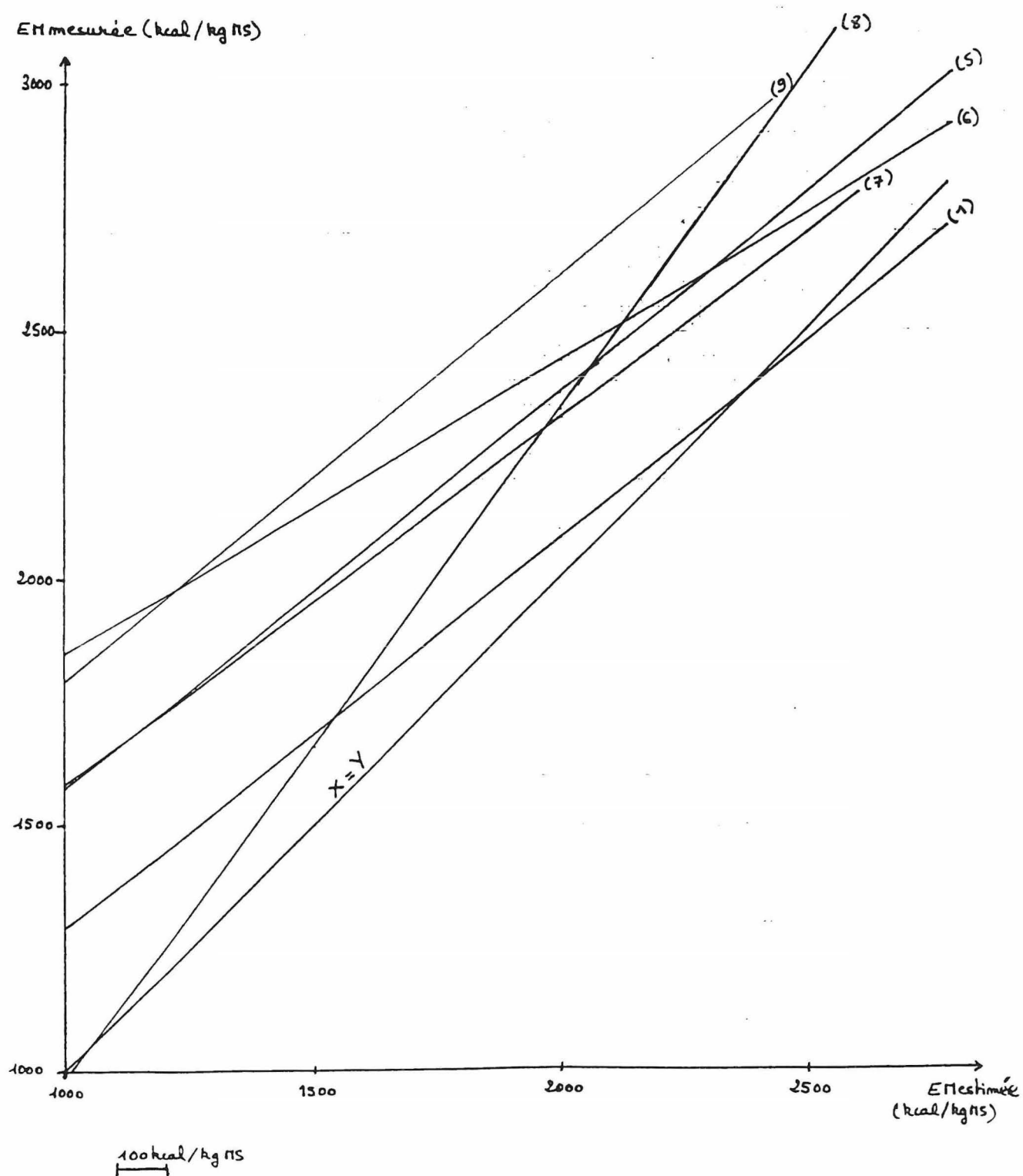


Tableau 17 - EMA estimée à l'aide de l'équation 1, pour les sons de maïs, mil et sorgho. Comparaison avec le son de blé.

	EMAn estimée (kcal/kg MS)		EM tables' (kcal/kg MS)
	- x	E.T.	
Son de maïs N = 13	2418	517	955 (2) 2240 (3)
Son de mil N = 17	2949	296	-
Son de sorgho N = 3	2461	153	-
Son de blé	-	-	1655 (1) 2520 (2) 1870 (3)

(1) INRA, 1984.

(2) International feedstuffs Institute, 1982.

(3) WPSA, 1988.

tion du coût des aliments complets, mise en valeur d'un sous-produit local). Reste néanmoins à considérer la régularité de son marché.

Les sons de maïs et de sorgho sont par contre d'une valeur énergétique sensiblement identique, permettant de les employer indistinctement selon les possibilités locales.

Le plus gros problème posé par les équations de prédiction n'est pas l'équation elle-même, mais la reproductibilité analytique (inter-laboratoire) des paramètres de l'équation. Leclercq (1985) donne comme exemple de coefficient de variation inter-laboratoire couramment observé :

- 3 p.100 pour l'amidon et les protéines brutes ;
- 10 p.100 pour la matière grasse et les sucres libres.

En revanche, celui de l'énergie brute est au maximum de 1 p.100.

Il constate également que l'intervalle de confiance d'une valeur énergétique calculée par équation de prédiction, peut être réduit si l'on dispose d'excellents prédicteurs, parfaitement reproductibles.

A ce sujet, la reproductibilité de la nouvelle méthode de dosage des parois végétales insolubles dans l'eau (Carré, 1988) est meilleure que celle de la cellulose brute. Son coefficient de variation inter-laboratoire est en effet plus faible que celui de la cellulose brute.

Quoi qu'il en soit, les équations de prédiction méritent d'être utilisées, surtout dans le cas des matières premières, car elles peuvent alors rendre des services appréciables aux fabricants d'aliments et aux praticiens (Leclercq, 1985).

CONCLUSION GENERALE

A travers l'analyse chimique et la détermination de la valeur énergétique de quelques échantillons de sons de maïs, de mil et de sorgho, nous avons pu exposer les premières étapes de l'étude de la valeur alimentaire des aliments. Leurs avantages et leurs inconvénients ainsi que les problèmes rencontrés y sont également évoqués.

Comparativement aux sons de blé et de riz, les sons de maïs, mil et sorgho présentent certaines particularités chimiques. Nous retenons essentiellement (tableau 18) :

- des teneurs en cellulose brute (Weende) nettement inférieures à celles des sons de riz et de blé ;

- un taux de matière grasse supérieur au son de blé mais inférieur au son de riz ;

- au niveau des teneurs en protéines brutes, on observe deux extrêmes représentés par le son de maïs (11 p.cent) et le son de blé (17.6 p.cent), les sons de mil, sorgho et riz, constituant un groupe intermédiaire.

- des teneurs en cendres inférieures à celles du riz pour le mil, le maïs et le sorgho et très faibles pour le maïs.

- une pauvreté en phosphore total par rapport aux sons de riz et de blé.

- enfin, tous les sons sont pauvres en calcium, particulièrement ceux de maïs, de mil et de riz.

NB : Les tables A.E.C. (1987) donnent la composition chimique de sons de riz et de blé européens, ce qui explique qu'elle diffère quelque peu de celle présentée au tableau 1 où il s'agit de sous-produits tropicaux.

L'estimation de la valeur énergétique soit par mesure in vivo soit par l'application d'équations de prédiction, montre que les sons de mil sont en moyenne plus riches en énergie métabolisable que ceux des autres espèces et que les sons de maïs et sorgho sont intermédiaires entre les sons de riz et les sons fins de blé.

Mais il faut rappeler qu'il existe d'autres sous-produits du riz et du blé (farines basses, rémoulages...) plus riches que les sons de ces diverses céréales.

Nous tenons enfin à préciser qu'une étude aussi succincte ne nous permet pas de poser de conclusions définitives

Tableau 18 - Composition chimique et valeur énergétique de divers sons de céréales

	Son de maïs	Son de mil	Son de sorgho	Son de riz	Son de blé (fin)
<u>Nutriments en p. cent</u> <u>de la MS :</u>					
Cendres	3.8	7.7	7.3	11.9	6.2
Matières azotées totales	11.0	13.6	12.7	14.2	17.6
Cellulose brute (Weende)	9.4	4.5	7.5	11.9	11.4
Matière grasse	7.0	9.2	6.1	15.3	4.5
Phosphore (total)	0.54	0.56	0.73	1.81	1.16
Calcium	0.05	0.09	0.21	0.07	0.17
E.M.A. estimée ($\bar{x}$)	2418	2949	2461	2772	1659
(kcal/ kg MS) valeurs extrêmes	(1476 - 3203)	(2058- 3409)	(2600 - 2487)		
mesurée	(2395)	(2555;2098;3247)	(2216)	-	-
nos résultats				Tables A.E.C. - 1987 Rhône - Poulenc	

et généralisables. Aussi espérons nous que cette première approche sera l'instigatrice de travaux complémentaires et plus précis.

D'autre part, en vue d'une utilisation pratique et rationnelle de ces sous-produits, il est nécessaire de tenir compte d'un certain nombre d'autres facteurs tels que :

- la régularité du marché local de ces produits,
- les problèmes de variation de leur composition selon leur origine et leur mode d'obtention,
- l'absence de réglementation, de normalisation en ce qui les concerne, etc...

Autant de difficultés à surmonter pour assurer un rationnement précis et fiable.

-

BIBLIOGRAPHIE

ADRIAN (J.) ; JACQUOT (R.) - Le sorgho et les mils en alimentation humaine et animale. Ed. Vigot (Paris) 1964, 187 pages.

BURCH HART SCHNEIDER (Ph. D.) - Feeds of the world. Their digestibility and composition. Ed. Agricultural experiment station. West Virginia University (Morgantown), 1947.

CARRE (B.), PREVOTEL (B.), LECLERCQ (B.) - Cell wall contents as a predictor of metabolisable energy value of poultry feedingsuffs. In British Poultry Science, 1984, 25 (4): 561-572.

CARRE (B.) - Les parois végétales, significations chimique et nutritionnelle chez les volailles. In comptes-rendus de la conférence avicole WPSA - SIMAVIP du 18 octobre 1985. Cahier n°1. Valeur énergétique et qualité des aliments. Ed. Groupe français de la WPSA (Association Mondiale des Sciences Avicoles).

CARRE (B.), PEREZ (J.M.), LEBAS (F.) - Rapport final de l'étude administrée par l'Institut de Recherches Technologiques agro-alimentaires des Céréales (IRTAC). "Mesure des fibres végétales dans les aliments pour animaux". INRA, décembre 1988.

CEI - Protector - Table de composition des matières premières destinées à l'alimentation animale. 1 - Valeurs chimiques ; 2 - Valeurs énergétiques. Ed. CEI Protector (Belgique), 1980.

CLEMENT (J.M.) - Dictionnaire des Industries alimentaires. Ed. Masson (Paris), 1978, 348 pages.

ENSMINGER (M.E.), OLENTINE (C.G.) - Feeds and nutrition - Complete - First edition. Ed. The Ensminger Publishing Company (Californie - USA), 1978, 1417 pages.

FAVIER (J.C.), CHEVASSUS-AGNES (S.), JOSEPH (A.), GALLON (G.) La technologie traditionnelle du sorgho au Cameroun. Influence de la mouture sur la valeur nutritive. In Annuaire de la nutrition et de l'alimentation. Ed. Centre National de la Recherche Scientifique (Paris), 1972, 26 (6) : 221-250.

FEEDSTUFFS - Reference Issue, 1987. July 29, 1987, volume 59, number 31.

FEEDSTUFFS - Reference Issue, 1988. July 27, 1988, volume 60, number 31.

FRAPE (D.L.), TUCK (M.G.), BOXALL (R.C.) - A proposed experimental method for determination of digestible energy of ingredients in pig feeds. *Journal of Agriculture Science*. 1976, 86 (2): 325-328.

GERNA (Groupement pour l'Encouragement à la Recherche en Nutrition Animale - Tables d'analyses des aliments des animaux. Moyennes d'après quelques données françaises. Ed. GERNA (Paris), 1972.

HARVEY (D.) - Tables of the amino-acides. Second edition in Foods and Feedingstuffs. Ed. Commonwealth agricultural bureaux (England), 1970, 105 pages.

HENRY (Y.) - Prediction of energy values of feeds for swine from fiber content. Proceed first. In Symposium Feed composition, Animal Nutrient Requirements and Computerization of diets. Utah State University, Logan, Utah, USA, 1976.

HENRY (Y.), PEREZ (J.M.) - Les systèmes d'évaluation de l'énergie dans l'alimentation du porc. In Les dossiers de l'élevage. Volume 5, n°1, 1982.

IEMVT - Manuel d'Aviculture en zone tropicale, 2e édition. Ed. Ministère des Relations Extérieures. Coopération et Développement, IEMVT (Paris), 1983, 186 pages.

INRA - L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volaille. Ed. INRA (Paris), 1984, 282 pages.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY - Symposium 1976 - Sorghum and millet for human food. Ed. Tropical Products Institute (London), 138 pages.

INTERNATIONAL FEEDSTUFFS INSTITUTE - Central an Southeast Asia. Tables of feed composition. Ed. International feedstuffs institute. Utah State University (Logan, USA), 1982, 513 pages.

LADJALI (T.) - Etude de bilan digestif sur coqs avec Canavalia ensiformis. Etude de comportement alimentaire et de toxicité chez le poussin en croissance. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du CES. Année 1985-1986.

LECLERCQ (B.) - Mesure et prédiction de la valeur énergétique : intérêt, signification, limites. In Comptes-rendus de la conférence avicole WPSA - SIMAVIP du 18 octobre 1985 - Cahier n°1 - Valeur énergétique et qualité des aliments. Ed. Groupe français de la WPSA (Association Mondiale des Sciences Avicoles).

MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES - Coopération et Développement. Mémento de l'agronome. 3e édition. Ed. Ministère des Relations Extérieures. Coopération et Développement, 1984, 1604 pages.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - Tables of feed composition. Second revision. Ed. National Academy of Sciences (Washington, DC.). Publication 1684, 1969.

PEREZ (J.M.), CASTAING (J.), GROSJEAN (F.), CHAUVEL (J.), BOURDON (D.), LEUILLET (M.) - Valeur énergétique de deux types de manioc et utilisation comparée dans les régimes du porc en croissance et du porcelet : synthèse des résultats d'une étude concertée, INRA - ITCF - ITP. Journées Recherches Porcines en France, 1981, 125-144.

PICARD (M.) - Techniques expérimentales de bilan pour l'évaluation des matières premières dans l'alimentation des monogastriques. Cours Mankon, 1986. INRA (Tours).

PICCIONI (M.) - Dictionnaire des aliments pour les animaux. Edizioni Agricole (Italie), 1965, 638 pages.

REVIERS (B. de), GAULIER (R.), SERRES (H.), GRANIER (P.) - Tables de digestibilité des principaux aliments du bétail disponibles à Madagascar. Leur emploi. Ed. IEMVT (Paris), mars 1970, 89 pages.

RHONE-POULENC - Tables AEC - Recommandations pour la nutrition animale 5e édition. Ed. Rhône Poulenc, 1987.

RIVIERE (R.) - Les sous-produits agro-industriels de la zone tropicale humide et les problèmes de leur utilisation. In Premier colloque international sur la recherche sur l'élevage bovin en zone tropicale humide. Ministère de la Recherche Scientifique. République de Côte-d'Ivoire, Bouaké 18-22 avril 1977 : 505-511.

RIVIERE (R.) - Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. 2e édition. Ed. Ministère de la Coopération. IEMVT (Paris), 1978, 527 pages.

SERRES (H.) - Précis d'élevage du porc en zone tropicale. Ed. Ministère des Relations Extérieures. Coopération et Développement. IEMVT (Paris), 1973, 223 pages.

SIBBALD (I.R.), PRICE (K.), BARETTE (J.P.) - True metabolizable energy values for poultry of commercial diets measured by bioassay and predicted from chemical data. In Poultry Science. 1980, 59: 808-811.

VAN SOEST (P.J.), WINE (R.H.) - Method for determination of lignin, cellulose and silica. Journal of Animal Science, 1967, 26: 940 (abstract).

VELASCO (M.E.), LORENZO (J.M.), ALFONSO (L.) - Niveles de uso del salvado de maiz en dietas para reemplazo de ponedoras white leghorn en clima subtropical. Revista Cubana de Ciencia Avicola (Cuba), 1984, 11 (1:2) : 77-88.

WORLD'S POULTRY SCIENCE ASSOCIATION (WPSA) - European table of energy value for poultry feedstuffs. 2e edition. Ed. Subcommittee Energy of the Working Group. Nr 2 - Nutrition of the European Federation of Branches of the World's Poultry Science Association, 1988.