

PRÉVISION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE L'AVOINE A PARTIR DES TENEURS EN CONSTITUANTS PARIÉTAUX

J.M. PEREZ et D. BOURDON

I.N.R.A. – Station de Recherches Porcines – Saint-Gilles – 35590 L'HERMITAGE

*Avec la collaboration technique de Chantal BLONDEL, Nadine MEZIERE,
G. DUCHATEL, J.P. HAUTDUCŒUR et R. LEVREL*

Avec plus de 500 000 hectares cultivés et une production approchant les deux millions de tonnes, l'avoine arrive actuellement au 4ème rang des céréales françaises. Résistante en sol humide, avec une bonne faculté de tallage, l'avoine trouve encore sa place dans certains systèmes d'exploitation.

Comme cela a déjà été souligné dans des revues récentes (PEREZ *et al.*, 1978 ; HENRY *et al.*, 1979), l'intérêt nutritionnel de l'avoine réside essentiellement dans le bon équilibre de sa fraction azotée. Son introduction à taux modéré dans la ration du jeune porcelet pourrait également favoriser le développement des fonctions digestives et limiter la fréquence des diarrhées, si l'on se réfère aux travaux de RIVERA *et al.* (1978).

Cependant, l'avoine est le plus souvent écartée des régimes des monogastriques, à cause des proportions importantes d'enveloppes fibreuses (30 % du poids du grain) qui réduisent sa valeur énergétique.

L'apparition des variétés à grain nu et les traitements technologiques comme le décortiquage ont ouvert des perspectives intéressantes, mais ils ne sont pas sans inconvénient pour la conservation des produits (rancissement des graisses fortement insaturées). Ainsi, l'emploi d'avoine nue ou de grains décortiqués peut s'accompagner de baisses de consommation chez le porc en croissance (HENRY et BOURDON, 1971 a) et d'accidents sanitaires (diarrhées) chez le porcelet (AUMAITRE, 1969).

Les résultats bibliographiques concernant la valeur énergétique de l'avoine pour le porc sont extrêmement discordants, en raison probablement de la grande variabilité dans la finesse des glumelles chez cette céréale (DHORNE et GRIGNAC, 1978). Ainsi, il nous a paru intéressant d'essayer de relier la valeur alimentaire de l'avoine aux critères de composition chimique, en tenant compte en particulier de l'importance de la paroi végétale et de certains de ses constituants. Notre objectif est de proposer aux utilisateurs un moyen de prédiction de la valeur énergétique, sur la base de mesures de digestibilité, comme cela a été fait antérieurement pour l'orge (PEREZ *et al.*, 1980).

I – CARACTÉRISTIQUES DES AVOINES

Nous avons comparé trois types d'avoines appartenant toutes à des variétés d'hiver : une avoine nue (542 X), et deux avoines vêtues de variété *Peniarth* et *Fringante*, respectivement blanche et noire. Tous les lots testés proviennent du domaine de l'I.N.R.A. (Villacoublay, Yvelines), où ils ont été récoltés en août 1978.

Les principales caractéristiques des avoines sont consignées dans le tableau 1. Les matières grasses sont extraites en continu à l'hexane pendant trois heures après hydrolyse à chaud par l'acide chlorhydrique. La cellulose brute correspond au dosage classique défini par la Station de Weende. Les constituants pariétaux totaux (résidu au détergent neutre ou N.D.F.), la lignocellulose (résidu au détergent acide ou A.D.F.) et la lignine (A.D.L.), sont analysés selon la technique de fractionnement de la paroi végétale proposée par VAN SOEST (1963, 1967), en utilisant une méthode semi-automatique (équipement Fibertec). L'amidon est dosé par la méthode enzymatique (THIVEND *et al.*, 1965) à l'aide d'une amyloglucosidase.

TABLEAU 1
COMPOSITION CHIMIQUE DES AVOINES

Type d'avoine	Nue 542 X	Blanche Peniarth	Noire Fringante
Matière sèche	87,6	89,0	89,5
Composition % matière sèche :			
Matière organique	97,7	97,0	97,2
Matières azotées (N x 6,25)	13,3	10,6	9,2
Matières grasses	6,3	6,1	5,7
Cellulose brute	2,9	11,8	15,0
N.D.F.	8,4	27,5	36,1
A.D.F.	2,9	14,2	16,8
Lignine	1,5	4,8	3,7
Amidon enzymatique	50,6	39,3	33,7
Énergie brute, Kcal/kg M.S.	4579	4619	4678

Conformément à l'objectif que l'on s'était fixé dans le choix des matières premières, on constate de grandes différences dans la composition des échantillons, particulièrement pour les constituants pariétaux. On observe que les teneurs en A.D.F. et N.D.F. évoluent parallèlement à la cellulose brute. On vérifie aussi que la proportion d'amidon est en relation inverse avec les teneurs en glucides pariétaux. On peut remarquer que le pourcentage de matière organique est plus important avec l'avoine nue, puisque les enveloppes sont riches en matières minérales. De même, les matières grasses sont plus abondantes chez les avoines les moins celluloses en raison d'une localisation préférentielle des graisses dans l'amande.

II – ÉTUDE DE DIGESTIBILITÉ : MODALITÉS EXPÉRIMENTALES

Douze porcs mâles castrés de race Large White sont placés en cages de digestibilité et sont soumis pendant dix jours à un régime identique. A l'issue de cette période d'adaptation à la vie en cage individuelle, les porcs d'un poids moyen initial de 31,7 kg et âgés de 92 jours, sont répartis en trois lots de quatre animaux homogènes d'après l'âge et le poids, suivant un dispositif en blocs complets ; les animaux des différents lots reçoivent alors leurs régimes respectifs. Après une période d'accoutumance de sept jours aux aliments expérimentaux (période de précollecte), on procède durant dix jours consécutifs à la collecte totale des excréta (fèces et urine) suivant une méthodologie déjà décrite. Au cours de cette période les animaux sont soumis à une alimentation équilibrée à raison de trois repas sous forme de farine humide par jour ; l'eau est distribuée à volonté en dehors des repas. Les régimes renferment 97 % d'avoine, le complément étant fourni sous forme de minéraux et de vitamines. La présence d'une seule source de matière organique dans les régimes permet d'estimer directement avec précision la valeur énergétique des céréales.

III – RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats moyens de digestibilité et les performances des animaux au cours de la période de collecte sont rassemblés dans le tableau 2. En conformité avec le protocole, le niveau d'ingestion de matière sèche est identique pour tous les animaux ($1\,341 \pm 4$ g), de telle sorte que les croûts journaliers et les indices de consommation sont en relation étroite avec la concentration énergétique des aliments. Les coefficients d'utilisation digestive apparente (C.U.D.a) de l'énergie diffèrent significativement entre régimes ($P < 0,01$). Il en est de même pour le C.U.D. de la matière sèche et de la matière organique qui évoluent parallèlement.

TABLEAU 2
COMPOSITION CHIMIQUE DES RÉGIMES ET RÉSULTATS DE DIGESTIBILITÉ

Régimes Type d'avoine	1 Nue	2 Blanche	3 Noire	Signification (1) statistique	
				S \bar{x} (CV)	Test F
Matière sèche	89,0	90,1	89,5		
Matière organique, % M.S.	94,8	94,3	94,4		
Matières azotées, % M.S.	12,1	10,7	8,5		
Énergie brute, Kcal/kg M.S.	4492	4556	4503		
Résultats zootechniques (2)					
Gain moyen/j, g	495a	370b	345b	19 (9,7)	**
Consommation/j., g M.S.	1332	1352	1343	2 (0,3)	—
Indice de consom., g M.S./g	2,70a	3,67b	3,92b	0,16 (9,7)	**
Utilisation de l'énergie					
C.U.D.a Matière sèche	87,8a	66,6b	61,5c	0,5 (1,4)	**
C.U.D.a Matière organique	90,0a	68,3b	62,4c	0,5 (1,2)	**
C.U.D.a Énergie	86,7a	67,4b	62,0c	0,4 (1,1)	**
Utilisation de l'azote					
C.U.D.a azote	81,7a	78,8a	71,8b	1,1 (2,8)	**
N retenu/j, g	9,8a	8,3b	6,2c	0,3 (8,1)	**
C.R.N. (3)	46,1	44,1	47,2	1,8 (7,7)	N.S.
C.U.P.N. (4)	37,7	35,9	35,9	1,3 (7,3)	N.S.

(1) S \bar{x} Écart-type de la moyenne — Entre parenthèses, coefficient de variation.

(2) Période de collecte (10 jours).

(3) C.R.N. (coefficient de rétention azotée) = N retenu \times 100 / N absorbé.

(4) C.U.P.N. (coefficient d'utilisation pratique de l'azote) = N retenu \times 100 / N ingéré.

L'avoine constituant la seule source de matière organique des régimes, nous avons déduit, à partir des résultats précédents, les caractéristiques nutritionnelles des céréales seules qui figurent au tableau 3. La comparaison de ces données fait apparaître une différence de près de 10 % (290 Kcal) dans le contenu en énergie digestible des deux échantillons d'avoines vêtues, alors que l'écart entre lots extrêmes dépasse 30 %.

TABLEAU 3
VALEUR ÉNERGÉTIQUE DES AVOINES

Type d'avoine	Nue 542 X	Blanche Peniarth	Noire Fringante
C.U.D.a Énergie (1)	87,7 $\pm 0,9$ (1,1)	68,5 $\pm 1,5$ (2,2)	61,5 $\pm 1,1$ (1,7)
Énergie Digestible, Kcal/kg M.S.	4016 ± 22 (1,1)	3164 ± 34 (2,2)	2878 ± 25 (1,7)

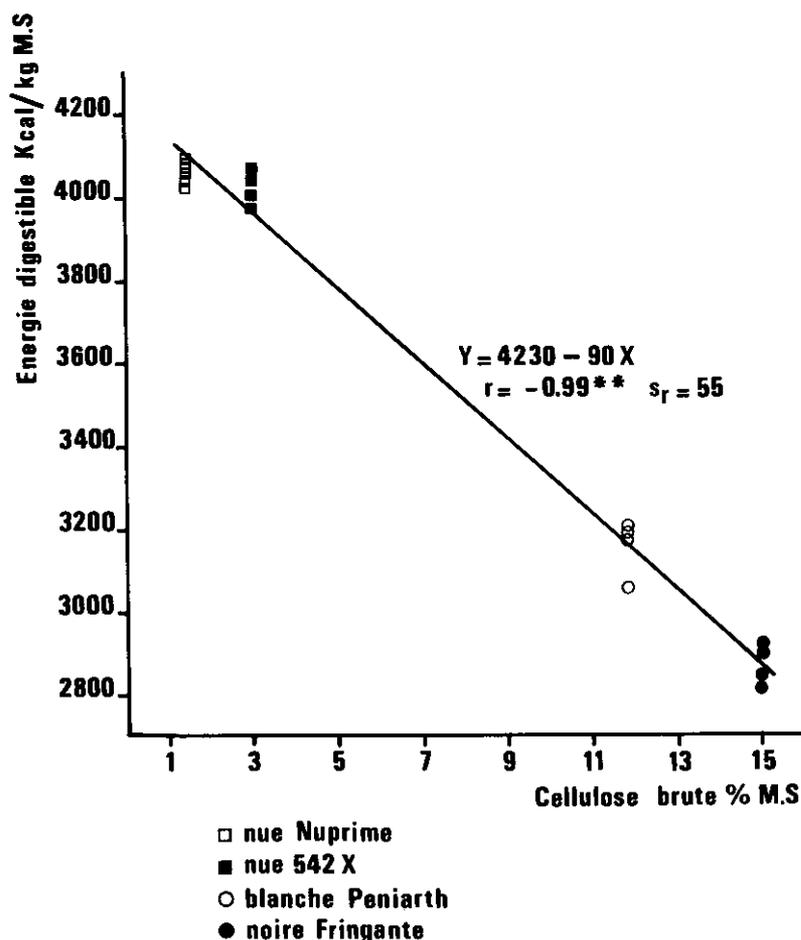
(1) \pm S \bar{x} Écart-type de la moyenne — Entre parenthèses, coefficient de variation en pour cent.

Pour l'avoine nue nous trouvons une valeur énergétique de 4016 Kcal (1), ce qui corrobore la première estimation effectuée dans notre laboratoire par HENRY et BOURDON (1971b) avec la variété de printemps *Nuprime* (4081 Kcal). Avec l'avoine décortiquée, THOMKE (1960) obtient une valeur particulièrement élevée (4300 Kcal), de même NEHRING *et al.* (1972), JUST *et al.* (1979) qui proposent respectivement 4274 et 4176 Kcal d'énergie digestible.

Les valeurs enregistrées avec les deux échantillons d'avoines vêtues (3164 et 2878 Kcal) se situent dans la gamme des résultats disponibles. En regroupant l'ensemble des données bibliographiques on aboutit, à partir de 19 déterminations, à une valeur moyenne pour l'avoine vêtue de 3100 Kcal avec un écart-type de 260 Kcal ; les valeurs s'échelonnant entre 2256 Kcal (TAKAHASHI *et al.*, 1968) et 3430 Kcal (THOMKE, 1960). En dehors des aspects purement méthodologiques, l'amplitude des écarts observés dans les estimations de la valeur énergétique de l'avoine, s'explique par la variabilité de composition de cette céréale.

A partir des mesures effectuées dans notre Laboratoire sur quatre échantillons d'avoine (y compris l'avoine nue *Nuprime* testée antérieurement selon la même méthodologie), nous trouvons une corrélation très étroite ($r = -0,99^{**}$) entre la valeur énergétique des avoines et leur contenu en cellulose brute (C.B.). Ainsi, comme l'illustre la figure 1, la valeur en énergie

FIGURE 1
VALEUR ÉNERGÉTIQUE DES AVOINES EN FONCTION DU TAUX DE CELLULOSE BRUTE
(PEREZ *et al.*, 1983)



(1) Les valeurs d'énergie digestible et les caractéristiques de composition figurant dans le texte sont toutes rapportées à la matière sèche.

digestible (ED) diminue de manière linéaire à mesure que s'accroît le taux de cellulose. L'analyse de régression de l'ED sur la cellulose Weende, effectuée sur les 18 données individuelles (1), conduit à la relation suivante :

$$\begin{aligned} \text{E.D.} &= 4230 - 90 \text{ C.B. \% M.S.} \\ (n = 18, r &= -0,995^{**}, Sr = 55, CVr = 1,5 \%) \end{aligned}$$

Cette équation permet de prévoir avec précision (CVr = 1,5 %) la valeur E.D. de l'avoine avec une correction de 90 ($\pm 2,3$) Kcal par point de cellulose brute.

Comme elles apparaissent étroitement corrélées avec le résidu cellulosique de Weende, les teneurs en paroi végétale (N.D.F.) et en lignocellulose (A.D.F.) expliquent aussi significativement les écarts de valeur énergétique des avoines :

$$\begin{aligned} \text{E.D.} &= 4352 - 41,7 \text{ N.D.F. \% M.S.} \\ (n = 12, r &= -0,993^{**}, Sr = 62, CVr = 1,9 \%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{E.D.} &= 4255 - 79,9 \text{ A.D.F. \% M.S.} \\ (n = 12, r &= -0,993^{**}, Sr = 63, CVr = 1,9 \%) \end{aligned}$$

Mais on constate que le fractionnement de la paroi végétale proposé par VAN SOEST ne permet pas d'améliorer la précision de l'estimation de la valeur énergétique par rapport à la méthode de Weende. Bien au contraire, les écarts-types résiduels apparaissent un peu plus élevés, ce qui rejoint les conclusions de notre étude sur les orges (PEREZ *et al.*, 1980). En d'autres termes, cela signifie que le dosage de la cellulose brute conserve un grand intérêt pour la prévision de la valeur énergétique au sein d'une catégorie d'aliment donné.

On obtient aussi, sur les trois échantillons d'avoine d'hiver, une relation significative ($R^2 = 0,98$) mais non linéaire (régression quadratique) avec le pourcentage d'amidon. L'équation de régression calculée avec les matières grasses est également beaucoup moins précise que celle faisant intervenir la cellulose brute ($r = +0,89$, CVr = 7 %). De la même façon, la combinaison des différents paramètres pariétaux (C.B., A.D.F., N.D.F., lignine) et les autres critères de composition chimique (amidon, matières grasses) n'aboutit pas à une amélioration significative de la précision.

En définitive, comme pour l'orge, l'analyse classique de Weende, plus facile à mettre en œuvre que les autres techniques de dosage, a fourni une précision égale ou supérieure aux autres paramètres chimiques pour l'estimation de la valeur énergétique. Le faible nombre d'échantillons testés dans cette étude doit néanmoins conduire à une certaine prudence dans les conclusions. C'est pourquoi, nous avons reporté dans la figure 2, outre la droite de régression calculée à partir de nos données, les résultats bibliographiques où l'on disposait des teneurs en cellulose brute des avoines ($n = 21$). On peut constater que les valeurs de la bibliographie se regroupent assez bien autour de la droite de correction que nous proposons. Seules s'écartent sensiblement de notre prévision les trois valeurs d'avoines décortiquées précédemment citées. En prenant en compte toutes ces données ($n = 21$) on obtient une corrélation hautement significative ($r = -0,96^{**}$), mais avec une variation résiduelle de 5,3 %. Avec l'ensemble des avoines nues et vêtues ($n = 18$), la corrélation est du même ordre ($r = -0,95^{**}$), mais on gagne en précision (CVr = 3,2 %), et on trouve pour la cellulose brute un terme correctif de 90 (± 7) Kcal identique à celui établi à partir de nos propres échantillons.

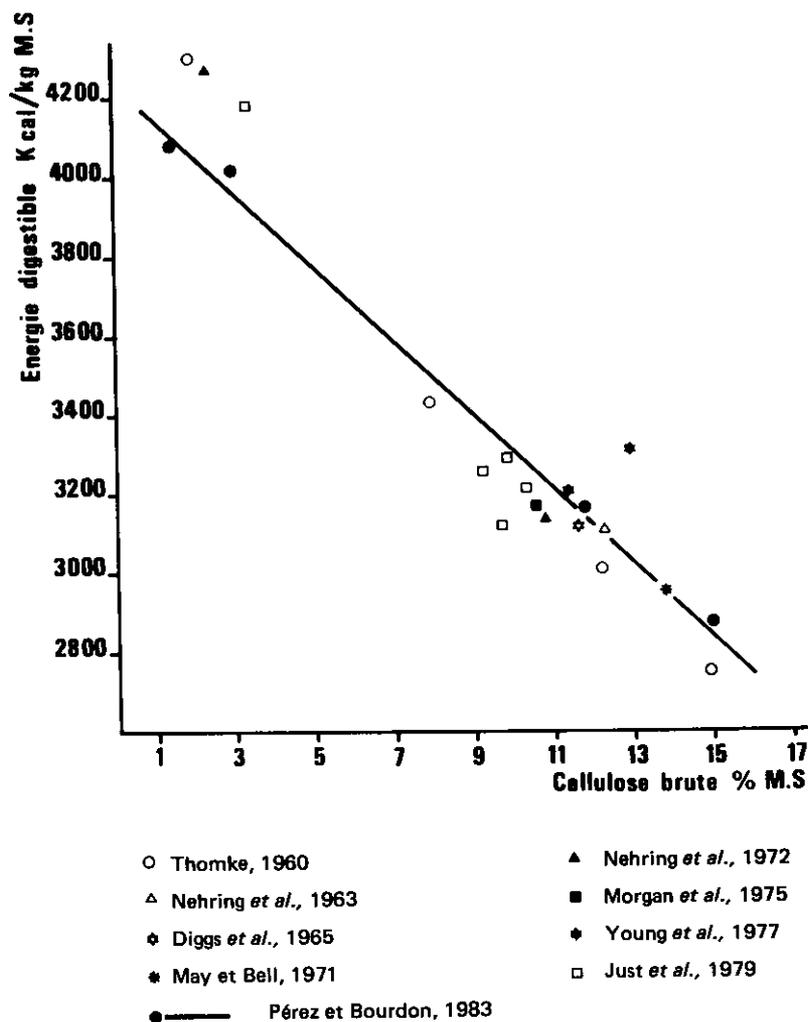
Comme pour l'énergie digestible, on obtient des relations significatives entre le C.U.D. de l'énergie et les composants pariétaux :

$$\begin{aligned} \text{C.U.D.E.} &= 92,14 - 2,02 \text{ C.B. \% M.S.} (n = 18, r = -0,994^{**}, CVr = 1,7 \%) \\ \text{C.U.D.E.} &= 91,85 - 1,76 \text{ A.D.F. \% M.S.} (n = 12, r = -0,995^{**}, CVr = 1,6 \%) \\ \text{C.U.D.E.} &= 93,88 - 0,91 \text{ N.D.F. \% M.S.} (n = 12, r = -0,990^{**}, CVr = 2,2 \%) \end{aligned}$$

(1) On aboutit à la même relation en excluant la variété *Nuprime* (testée par HENRY et BOURDON, 1971) et en utilisant seulement les 12 données individuelles, correspondant aux trois échantillons d'avoine de la récolte 1978.

FIGURE 2

RELATION ENTRE LA TENEUR CELLULOSE BRUTE ET LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE L'AVOINE :
COMPARAISON DES DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES AVEC NOS RÉSULTATS



Il est intéressant de remarquer que le taux de diminution du C.U.D. de l'énergie par point de cellulose trouvé pour l'avoine (2,02) est légèrement inférieur à celui proposé antérieurement pour l'orge (2,27). Cela s'explique par une proportion plus faible d'hémicelluloses dans la paroi végétale chez l'avoine. A cet égard, la correction théorique que l'on pouvait escompter pour cette céréale, en se basant sur sa composition glucidique pariétale (rapport A.D.F./N.D.F. par exemple), confirme parfaitement nos données expérimentales (voir revue d'HENRY et PEREZ, 1982).

Enfin, en ce qui concerne l'utilisation de la fraction azotée, on enregistre une baisse de la digestibilité de l'azote avec l'avoine la plus cellulosique, mais la liaison négative avec les constituants pariétaux n'est pas étroite et l'effet dépressif est moins marqué que pour les éléments énergétiques. De la même façon, à partir de 17 résultats bibliographiques nous n'avons trouvé qu'une corrélation de $-0,8$ entre le C.U.D. de l'azote et les teneurs en cellulose brute de l'avoine :

$$\text{C.U.D.N.} = 89,83 - 1,25 \text{ C.B. \% M.S. } (n = 17, r = -0,81^{**}, \text{CVr} = 5,6 \%).$$

Cette relation indique une décroissance de $1,2 (\pm 0,2)$ point du coefficient d'utilisation digestive apparent des protéines par point de cellulose brute, ce qui est proche de la valeur proposée par JUST (1982) pour des aliments complets à base de céréales (1,4 point).

En conclusion, le taux de cellulose brute apparaît comme le principal facteur de variation de la valeur alimentaire de l'avoine pour le porc, puisqu'il explique à lui seul 99 % des variations du contenu en énergie digestible. Nous proposons ainsi un moyen simple de prévision de la valeur énergétique de l'avoine à partir de l'analyse classique de Weende, sur la base d'une correction de 90 Kcal en moins par point supplémentaire de cellulose dans la matière sèche du grain.

BIBLIOGRAPHIE

- AUMAITRE A., 1969. Ann. Zootech. **18**, 385-398.
- DE GOEY L.W. and EWAN R.C., 1975. J. Anim. Sci., **40**, 1042-1057.
- DHORNE D., GRIGNAC P., 1978. Ann. Amélior. Plantes **28**, 127-138.
- DIGGS B.G., BECKER D.E., JENSEN A.H. and NORTON H.W., 1965. J. Anim. Sci. **24**, 555-558.
- HENRY Y., BERNARD M., GUILLAUME J., JESTIN L., PEREZ J.M., PION R., POLLACSEK M., ROUSSET M., 1979. Bull. Tech. Inf. **340**, 237-251.
- HENRY Y. et BOURDON D., 1971 a. Journées Rech. Porcine en France, **3**, 153-159.
- HENRY Y. et BOURDON D., 1971 b. Ann. Zootech. **20**, 577-579.
- HENRY Y., PEREZ J.M., 1982. Dossiers de l'Élevage **5** (1), 51-66.
- JUST A., 1982. Livestock Prod. Sci., **8**, 541-555.
- JUST A., JORGENSEN H., FERNANDEZ J., 1979. Communication personnelle.
- MAY R.W., BELL J.M., 1971. Can. J. Anim. Sci., **51**, 271-278.
- MORGAN D.J., COLE D.J.A., LEWIS D., 1975. J. Agric. Sci., **84**, 7-28.
- NEHRING K., BEYER M., HOFFMANN B., 1972. Futtermittel tabellenwerk, 452 p. VEB Deutsche Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- NEHRING K., HOFFMANN L., SCHIEMANN R., 1963. Arch. Tierernähr., **13**, 147-161.
- PEREZ J.M., BOURDON D., HENRY Y., 1978. Bull. Tech. Inf. **331**, 335-361.
- PEREZ J.M., RAMOELINTSALAMA B., BOURDON D., 1980. Journées Rech. Porcine en France, **12**, 273-284.
- RIVERA E.R., ARMSTRONG W.D., CLAWSON A.J., LINNERUD A.C., 1978. J. Anim. Sci., **46**, 1685-1693.
- TAKAHASHI S., FURUYA S., JITSUKAWA Y., MORIMOTO M., 1968. Bull. Nat. Inst. Anim. Ind., **17**, 1-8.
- THIVEND P., MERCIER C., GUILBOT A., 1965. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., **5**, 513-526.
- THOMKE S., 1960. Ann. Roy. Agric. Coll. Sweden, **26**, 269-288.
- VAN SOEST P.J., 1963. J. Assoc. Off. Agric. Chem., **46**, 825-829.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1967. J. Assoc. Off. Agric. Chem., **50** (1), 50-55.
- YOUNG L.G., ASHTON G.C., SMITH G.C., 1977. J. Anim. Sci., **44**, 765-771.