

A 8008

PRÉVISION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE L'ORGE POUR LE PORC A PARTIR DES TENEURS EN CONSTITUANTS MEMBRANAIRES

J.M. PEREZ, Brigitte RAMOELINTSALAMA, D. BOURDON (*)

I.N.R.A. Station de Recherches sur l'Élevage des Porcs 78350 JOUY-EN-JOSAS

On constate en France depuis quelques années une certaine stagnation dans l'utilisation de l'orge pour l'alimentation animale. Cette relative désaffection des fabricants d'aliment, vis-à-vis de cette céréale, s'explique principalement (en-dehors des aspects économiques) par la variabilité de sa composition. Les utilisateurs reprochent à l'orge sa teneur élevée et surtout irrégulière en "cellulose" qui rend difficile l'appréciation de sa valeur alimentaire dans les conditions de la pratique.

La richesse en cellulose de l'orge vêtue est en relation avec le pourcentage d'enveloppes fibreuses, adhérentes au grain, dont l'importance varie notamment selon le type d'orge. A cet égard, l'hétérogénéité de composition observée avec cette céréale, provient en premier lieu du fait que la dénomination "Orge" recouvre en réalité plusieurs types très différents de la même espèce : d'une part l'orge traditionnelle de printemps à 2 rangs, d'autre part l'orge d'hiver à 6 rangs (ou escourgeon) plus cellulosique, dont la culture s'est développée considérablement ces dernières années. A ces deux types principaux il convient d'ajouter les variétés d'hiver à 2 rangs de création récente, qui se rapprochent sur le plan de la composition chimique de leurs homologues de printemps, et aussi la catégorie particulière des orges nues dont les glumelles non adhérentes au caryopse sont éliminées au battage.

Un effort de caractérisation des orges françaises a été entrepris depuis 1975 aux plans analytique et nutritionnel dans le cadre d'une convention INRA-ITAVI-ITCF-SNIA-SYNCOPAC (LELONG et al., 1978 ; GUILLAUME, 1978) et plus récemment sous l'égide de l'ONIC (enquêtes sur la qualité des orges). Ces études ont mis l'accent en particulière sur le taux de cellulose brute, qui s'avère supérieur de 1,5 point en moyenne (pour la récolte 1978) chez les orges d'hiver à 6 rangs par rapport aux orges à 2 rangs (d'hiver ou de printemps). Le classement des orges dans l'une de ces deux catégories permettrait donc, déjà à lui seul, de réduire sensiblement les écarts de teneur en cellulose et de faciliter l'évaluation de la valeur alimentaire. Néanmoins, au niveau de l'utilisateur, il n'est pas facile d'effectuer cette répartition, car à ce stade les lots ne sont plus identifiés, ou correspondent souvent à des mélanges de variétés, voire à des tris de calibrage d'orges de brasserie.

En tout état de cause, le problème est de savoir dans quelles proportions les variations de composition (prévisibles ou mesurées) des orges et principalement de la teneur en cellulose brute, affectent leur valeur énergétique, en particulier pour le porc, qui demeure le plus gros consommateur de cette céréale. La variabilité de composition conduit très souvent le formateur à attribuer à l'orge une faible valeur énergétique moyenne ce qui sous-estime inévitablement la valeur réelle de certains lots. Les utilisateurs souhaitent ainsi disposer d'un moyen d'ajuster la valeur énergétique des matières premières en tenant compte des écarts par rapport à une composition moyenne standard, donnée dans les tables par exemple.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de ces préoccupations. Il a pour objectif la prévision de la valeur énergétique de l'orge au moyen de critères simples (analyse, tests physiques) sur la base de mesures de digestibilité effectuées sur différents types d'orge. Il fait suite à l'étude préliminaire d'HENRY et BOURDON (1975) qui proposaient une correction de la valeur alimentaire en fonction du taux de cellulose, calculée par extrapolation à partir de résultats

(*) Avec la collaboration technique de Chantal BLONDEL, Catherine DUCHATEAU, G. DUCHASTEL et R. LEVREL.

obtenus sur deux types d'orge extrêmes (une orge nue et un escourgeon). L'expérience rapportée ici, fait partie d'un ensemble plus vaste qui comprend en outre l'étude de la digestibilité des constituants membranaires, des bilans azotés, ainsi que des essais en lots (en collaboration avec l'ITCF) chez le porc en croissance-finition.

De plus, parallèlement des études nutritionnelles sont réalisées sur poulet et sur rat avec les mêmes lots d'orge (mesures d'énergie métabolisable, énergie digestible, tests de croissance) en collaboration avec nos collègues de la Station de Recherches Avicoles de l'INRA et la Station du Magneraud. Nous ne présenterons que les principaux résultats de l'étude sur porc.

I - CARACTÉRISTIQUES DES ORGES

1/ Origine des lots utilisés et schéma expérimental

Nous avons procédé à la **comparaison de sept types d'orges** : deux orges d'hiver à 6 rangs (escourgeons), deux orges d'hiver à 2 rangs, une orge de printemps et deux orges nues. Les différentes orges testées, en particulier les orges vêtues, appartiennent à des variétés présentant un intérêt agronomique actuel :

1 - *Escourgeon Astrix*. C'est la variété d'orge d'hiver la plus cultivée actuellement (15 % des surfaces). Le lot utilisé provient du domaine de l'INRA (Villacoublay, Yvelines), où il a été récolté en juillet 1978.

2 - *Escourgeon Sympa*, produit par la station expérimentale de l'ITCF de Boigneville (Essonne) et récolté fin juillet 1978.

3 - *Orge d'hiver à 2 rangs Alpha*, récoltée sur le domaine de l'INRA (Villacoublay) en juillet 1978.

4 - *Orge d'hiver à 2 rangs Sonja*. C'est une variété à gros grain, de bonne valeur brassicole, qui est la plus répandue dans sa catégorie. Ce lot a été récolté dans l'Essonne en 1978.

5 - *Orge de printemps Aramir*. Cette variété demeure la plus cultivée avec 10 % des ensemencements en 1978. Ce lot nous a été fourni par un sélectionneur et a été récolté dans la Marne en août 1978.

6 - *Orge nue CF 113*. Cette orge nue de printemps résulte des travaux de nos collègues de la station d'amélioration des plantes de l'INRA à Clermont-Ferrand. Cette variété est apparentée à l'orge vêtue Bérénice. Nous avons pu obtenir un lot de 200 kg récolté début août 1978 sur le domaine expérimental de Crouelle (Puy-de-Dôme).

7 - *Orge nue Nudinka*. Cette variété est la première orge nue inscrite au catalogue officiel français. C'est une variété de printemps dont le rendement est de l'ordre de 90 % de celui d'Aramir. Le lot utilisé a été cultivé en Allemagne (Bavière) et récolté en 1978.

2/ Composition des Orges

Les principales caractéristiques analytiques des orges (mesures physiques, composition chimique) sont consignées dans le tableau 1.

Le poids spécifique (P.S.) a été mesuré dans les mêmes conditions au niléalitre simultanément pour toutes les orges. On observe des écarts importants pour ce critère entre les différents lots (61,1 à 74,1). Pour chaque type d'orge les valeurs obtenues sont conformes aux données de l'enquête nationale sur la qualité des orges récoltées en 1978, sauf pour l'orge Alpha qui présente un P.S. inférieur de 6 points à la moyenne enregistrée dans sa catégorie (orge d'hiver à 2 rangs).

TABLEAU 1
CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES DES ORGES

TYPE D'ORGE	Escourgeon ASTRIX	Escourgeon SYMPA	Hiver 2R ALPHA	Hiver 2R SONJA	Printemps ARAMIR	Nue CF 113	Nue NUDINKA
Poids spécifique (1)	61,1	62,7	65,8	71,6	73,5	74,1	73,4
Poids 1000 grains, g	36,8	39,1	35,5	42,8	35,3	37,5	33,3
Mat. sèche, %	86,8	85,9	85,5	86,0	85,7	86,8	85,7
Composition % M.S.							
Mat. organique	97,2	97,4	97,3	97,6	97,9	98,0	97,9
Mat. azotées (2)	11,4	8,5	10,7	9,4	12,7	9,8	14,9
Amidon (3)	45,4	54,3	45,3	62,3	62,8	66,1	52,5
Mat. grasses (4)	1,7	1,8	1,9	1,9	2,3	2,3	2,3
Cellulose brute (5)	6,59	6,14	5,45	4,71	4,51	2,43	2,21
A.D.F. (6)	7,4	7,7	6,5	5,3	5,4	2,4	2,0
N.D.F.(7)	20,0	19,2	18,7	15,4	13,5	13,6	11,1
Lignine	1,2	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,5
Energie brute, Kcal/Kg M.S.	4.361	4.359	4.335	4.367	4.394	4.335	4.438

(1) Mesuré dans le mêmes conditions au nilémalitre (Laboratoire des céréales de l'ITCF) et exprimé en kg/hl.

(2) N x 6,25.

(3) L'amidon est dosé par la méthode enzymatique à l'aide d'une amyloglucosidase.

(4) Extraction à l'éther éthylique 6 heures au Soxhlet (dosage effectué à la Station de Recherches Avicoles, INRA Nouzilly).

(5) Cellulose Weende : la valeur attribuée à chaque orge correspond à la moyenne de 12 déterminations.

(6) Acid Detergent Fiber selon Van Soest (1963).

(7) Neutral Detergent Fiber selon Van Soest et Wine (1967).

La cellulose brute correspond au dosage conventionnel classique défini par la Station de Recherches de Weende. La valeur attribuée à chaque orge, (tableau 1), représente la moyenne de 12 déterminations. Les teneurs en cellulose brute s'échelonnent régulièrement, dans une large gamme, de 2,21 (Orge nue Nudinka) à 6,59 % de la matière sèche (escourgeon Astrix) conformément à l'objectif que l'on s'était fixé dans le choix des matières premières pour cette étude. En outre, les orges utilisées sont à cet égard, assez représentatives de leurs catégories respectives : 6,4 % de cellulose brute en moyenne pour les deux escourgeons, 5,1 % en moyenne pour les deux orges d'hiver à 2 rangs, 4,5 % pour l'orge de printemps et 2,3 % pour les orges nues. Compte tenu des limites, maintes fois soulignées, de la détermination de la cellulose Weende, nous avons également utilisé la méthode de fractionnement des constituants membranaires proposée par VAN SOEST. Pour le dosage de N.D.F. ("Neutral Detergent Fiber") nous avons appliqué la technique de VAN SOEST et WINE (1967) après extraction préalable de l'amidon. Les variations dans les teneurs en N.D.F. sont importantes, avec environ 8 points d'écart entre les orges extrêmes (orges nues et escourgeons). Les teneurs en A.D.F. ("Acid Detergent Fiber") selon VAN SOEST (1963) évoluent parallèlement à la cellulose brute. Les hémicelluloses sont représentées approximativement par la différence N.D.F. — A.D.F. Les résultats sont sensiblement comparables à ceux obtenus par ailleurs sur les mêmes échantillons par GIGER suivant une méthode semi-automatique (équipement Fibertec) adaptée de celle de VAN SOEST (GIGER et al., 1979).

L'amidon est dosé par la méthode enzymatique (THIVEND et al., 1965) à l'aide d'une amyloglucosidase. Le dosage de l'amidon demeure délicat et les résultats doivent être interprétés avec prudence.

Les matières grasses sont extraites à l'éther éthylique pendant 6 heures au Soxhlet.

II - ÉTUDE DE DIGESTIBILITÉ : MODALITÉS EXPÉRIMENTALES

Vingt-huit porcs mâles castrés de race Large White de 25 à 30 kg de poids vif 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 $29,9 \pm 1,8$ kg et âgés de 89 jours, sont répartis en sept lots de quatre animaux homogènes d'après l'âge et le poids, suivant un dispositif en blocs complets (soit quatre répétitions par traitement); les animaux des différents lots reçoivent alors leurs régimes respectifs. Après une période d'accoutumance de 7 jours aux aliments expérimentaux (période de pré-collecte), on procède durant dix jours consécutifs à la collecte totale des excréta (féces et urine) suivant une méthodologie voisine (1) de celle décrite antérieurement (HENRY et RERAT, 1966). Au cours de cette période les animaux sont soumis à une alimentation égalisée 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'orge, le complément étant fourni sous forme de minéraux et de vitamines (2). Les régimes constitués exclusivement de céréales sont simplement rééquilibrés par de la lysine de synthèse (3). Cette méthode permet d'estimer directement avec précision (coefficient de variation voisin de 1 %) la valeur énergétique des céréales, en l'occurrence l'orge, à partir de la matière organique des régimes.

TABLEAU 2
COMPOSITION CHIMIQUE DES RÉGIMES ET RÉSULTATS DE DIGESTIBILITÉ

RÉGIMES NATURE DE L'ORGE	1 Escourgeon ASTRIX	2 Escourgeon SYMPA	3 Hiver 2R ALPHA	4 Hiver 2R SONJA	5 Printemps ARAMIR	6 Nue CF 113	7 Nue NUDINKA	Signification statistique S \bar{X} (CV) (1)
Matière sèche, %	88,3	88,1	87,6	86,6	86,4	87,3	86,6	
Composit. % M.S.								
Matière organique	94,5	93,9	94,6	94,1	94,0	94,5	94,8	
Matières azotées	11,0	9,4	10,8	9,3	11,4	9,7	14,2	
Cellulose brute	6,41	5,92	5,30	4,54	4,34	2,34	2,14	
A.D.F.	7,3	7,4	6,3	5,1	5,1	2,3	1,9	
N.D.F.	19,4	18,4	18,2	14,9	12,9	13,1	10,7	
Energie brute Kcal/kg M.S.	4.210	4.217	4.206	4.225	4.235	4.213	4.287	
Utilis. de l'énergie								
CUDa Mat. sèche	79,14 _a	79,52 _a	79,27 _a	82,45 _b	82,01 _b	87,69 _c	88,39 _c	0,40 (0,9)***
CUDa Mat. organ.	80,96 _a	81,38 _a	81,14 _a	84,41 _b	83,86 _b	89,83 _c	90,49 _c	0,39 (0,9)***
CUDa Énergie	78,00 _a	78,83 _a	77,83 _a	81,75 _b	80,86 _b	86,63 _c	87,40 _c	0,47 (1,1)***
Énergie digestible, Kcal/kg M.S.	3.284 _a ± 27	3.324 _a ± 40	3.265 _a ± 24	3.454 _b ± 16	3.424 _b ± 26	3.650 _c ± 30	3.747 _c ± 18	20,14 (1,1)***

(1) Différences significatives au seuil * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil $P < 0,01$.

S \bar{X} écart type de la moyenne. Entre parenthèses, coefficient de variation.

III - RÉSULTATS

Les résultats moyens de digestibilité (tableau 2) indiquent une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les coefficients d'utilisation digestive apparente (C.U.D. a) de l'énergie des différents régimes. Il en est de même pour les C.U.D. de la matière sèche et de la matière organique qui évoluent parallèlement. On note une baisse de la digestibilité des

(1) L'énergie brute est mesurée à l'aide d'une bombe calorimétrique sur les excréta lyophilisés.

(2) HENRY et BOURDON, 1973.

(3) L-lysine HCl (produit à 78,8 % de produit pur) en % de l'aliment : 0,15 - 0,08 - 0,14 - 0,10 - 0,19 - 0,11 - 0,25 respectivement pour les régimes 1 à 7 (ce qui correspond à un pourcentage constant de lysine dans les protéines).

éléments de la ration, en relation avec le pourcentage d'enveloppe des grains, qui se traduit par un écart de 10 points environ des C.U.D. entre les types d'orges extrêmes (escourgeons - orges nues). Ces différences peuvent être attribuées essentiellement aux variations dans les teneurs en cellulose brute des orges. Les comparaisons multiples de moyennes effectuées (test de NEWMAN et KEULS) permettent ainsi de classer les régimes en trois groupes distincts pour l'utilisation digestive des éléments de la ration (M.S., M.O., énergie) correspondant à trois niveaux dans les contenus en cellulose brute des aliments : les lots 1,2 et 3 (escourgeons et orge d'hiver Alpha) avec une teneur moyenne de 5,9 % dans la matière sèche, les lots 4 et 5 (orge d'hiver Sonja et orge de printemps Aramir) avec un taux de 4,4 % et enfin les lots 6 et 7 (orges nues) avec une teneur de 2,4 %.

Le niveau d'ingestion moyen, au cours de l'expérience s'élevait à 1.336 ± 13 g de matière sèche soit une consommation quasiment identique pour tous les animaux conformément au protocole. Compte tenu de l'apport égalisé de matière sèche, la consommation d'énergie par les porcs est en relation directe avec la valeur énergétique mesurée des régimes (tableau 2). Ainsi par exemple, les animaux du lot 7 consomment 11 % d'énergie en plus comparativement au lot 1. Il en résulte, malgré la brièveté de la période d'observation (17 jours), des écarts dans le gain journalier et l'indice de consommation en faveur des régimes les moins cellulosiques, mais les différences ne sont significatives qu'entre les lots extrêmes (escourgeon - orge nue). Par ailleurs, l'abaissement de l'indice de consommation pondéral (kg mat. sèche par kg de gain) enregistré avec le régime à base d'orge nue n'apparaît plus lorsqu'on l'exprime en Kcal d'énergie digestible (indice énergétique).

TABLEAU 3
VALEUR ÉNERGÉTIQUE DES ORGES

TYPE D'ORGE	Escourgeon ASTRIX	Escourgeon SYMPA	Hiver 2R ALPHA	Hiver 2R SONJA	Printemps ARAMIR	Nue CF 113	Nue NUDINKA	Signification statistique S \bar{x} (CV) (1)
Poids spécifique	61,1	62,7	65,8	71,6	73,5	74,1	73,4	
Cellul. brute % M.S.	6,59	6,14	5,45	4,71	4,51	2,43	2,21	
A.D.F. % M.S.	7,4	7,7	6,5	5,3	5,4	2,4	2,0	
N.D.F. % M.S.	20,0	19,2	18,7	15,4	13,5	13,6	11,1	
CUDA Energie	77,44 _a ± 0,63	79,10 _a ± 0,96	77,65 _a ± 0,40	81,96 _b ± 0,49	81,10 _b ± 0,65	87,28 _c ± 0,72	86,62 _c ± 0,87	0,49 (1,2)***
Énergie digestible, Kcal/kg M.S.	3.377 _a ± 28	3.448 _a ± 41	3.366 _a ± 17	3.580 _b ± 21	3.563 _b ± 28	3.784 _c ± 31	3.867 _c ± 19	20,39 (1,1)***

(1) Voir tableau 2.

On observe avec **les orges** seules (tableau 3), le même classement qu'avec les régimes pour l'utilisation de l'énergie par le porc. Les orges utilisées dans notre étude se classent donc en trois groupes qui reflètent d'ailleurs les différentes catégories au sein de l'espèce "orge" : c'est-à-dire d'une part les escourgeons, les orges de Printemps pour les types les plus répandus, et d'autre part la catégorie particulière des orges nues. En ce qui concerne les nouvelles variétés d'orges d'hiver à 2 rangs, elles se répartissent en fonction de leurs teneurs en substances cellulosiques, soit dans le groupe des escourgeons (c'est le cas d'Alpha), soit avec l'orge de printemps (cas de Sonja). Il apparaît en fait, une diminution linéaire significative du **C.U.D. de l'énergie** des orges avec l'accroissement des teneurs en cellulose brute, qui se traduit par une décroissance de **moins 2,27 points du C.U.D. par point supplémentaire de cellulose brute** dans la matière sèche du grain :

$$\text{C.U.D. E} = 91,99 - 2,27 \text{ Cellulose Brute \% M.S.} \quad r = -0,965^{**}$$

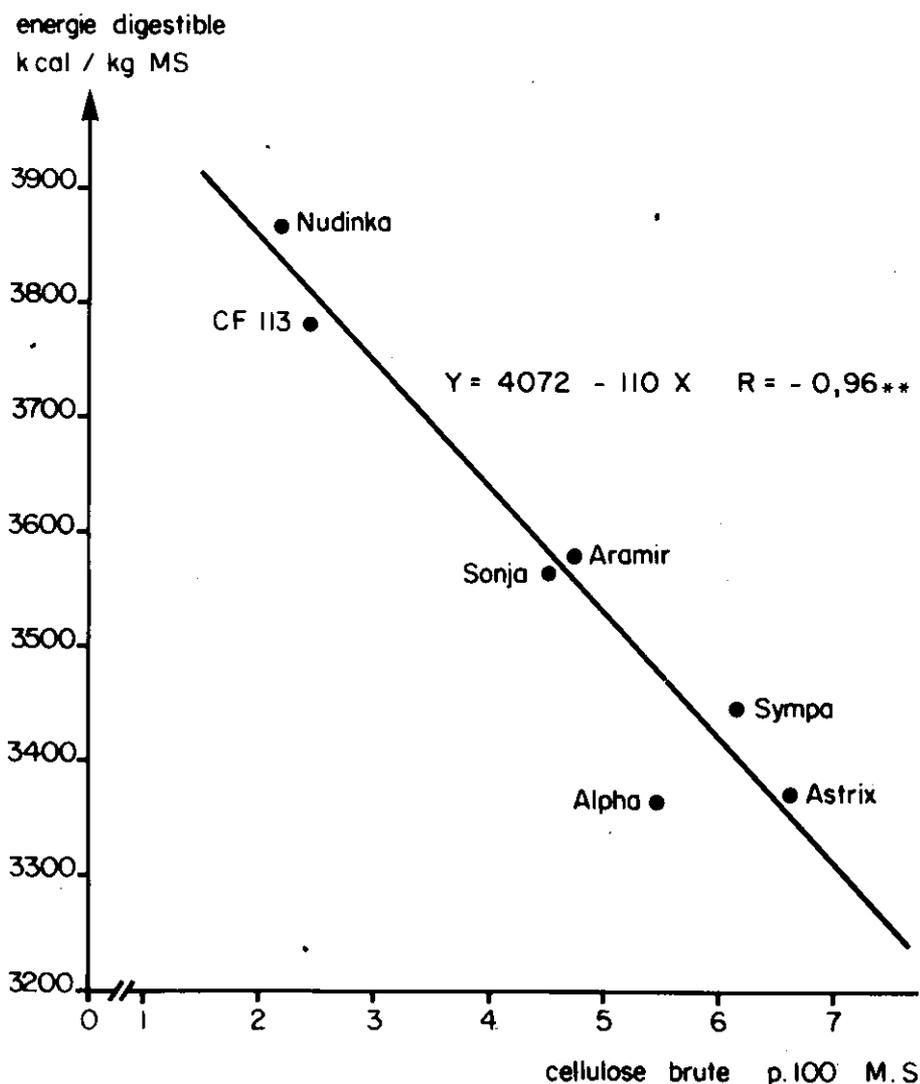
De la même façon, le C.U.D. de l'énergie des orges décroît linéairement et de manière significative, avec l'augmentation des teneurs en A.D.F. (résidu au détergent acide) et en N.D.F. (résidu au détergent neutre) dans les orges suivant les relations :

$$\begin{aligned} \text{C.U.D. E} &= 90,43 - 1,69 \text{ A.D.F. \% M.S.} & r &= -0,961^{**} \\ \text{C.U.D. E} &= 98,11 - 1,04 \text{ N.D.F. \% M.S.} & r &= -0,881^* \end{aligned}$$

Les céréales, introduites au taux de 97 % dans les régimes, constituent la seule source de matière organique (méthode directe). Par suite, nous avons déduit les valeurs énergétiques des orges, qui figurent au tableau 3, à partir des teneurs en énergie rapportées à la matière organique des régimes. La comparaison de ces données fait apparaître comme précédemment, un effet très hautement significatif de la nature de l'orge sur la valeur énergétique. On enregistre ainsi un écart de 500 Kcal d'énergie digestible entre les lots les plus extrêmes (orge d'hiver Alpha - Orge nue Nudinka) soit près de 15 %. Cet écart considérable se réduit à 200 Kcal environ si l'on ne considère dans notre gamme que les 5 orges vêtues de variétés courantes, ce qui correspond néanmoins à une différence de plus de 6 % dans la valeur énergétique. Le principal facteur de variation semble être le pourcentage de constituants cellulosiques. De fait, il existe une corrélation étroite ($r = -0,96$) entre la valeur énergétique des orges et leur contenu en cellulose Weende comme l'illustre la figure 1. L'analyse de régression de l'énergie digestible sur le taux de cellulose brute conduit à la relation suivante :

$$\text{Energie Digestible (Kcal/Kg M.S.)} = 4.072 - 110 \text{ cellulose brute \% M.S.} \quad r = -0,961^{**}$$

FIGURE 1
VALEUR ÉNERGÉTIQUE DES ORGES EN FONCTION DU TAUX DE CELLULOSE BRUTE
(PEREZ et al., 1980)



Cette régression est hautement significative ($P < 0,01$). L'équation précédente permet donc de prévoir la valeur énergétique d'un lot d'orge pour le porc à partir du dosage classique de la cellulose brute. Elle indique un facteur de correction de **moins 110 Kcal d'énergie digestible par point de cellulose brute supplémentaire dans la matière sèche du grain**. Les teneurs en

constituants membranaires totaux (N.D.F.) mais surtout en lignocellulose (A.D.F.) expliquent aussi, significativement, les écarts de valeur énergétique des orges :

$$\text{Énergie Digestible (Kcal/Kg M.S.)} = 3.998 - 82 \text{ A.D.F. \% M.S.} \quad r = -0,961^{**}$$

$$\text{Énergie Digestible (Kcal/Kg M.S.)} = 4.406 - 53 \text{ N.D.F. \% M.S.} \quad r = -0,921^*$$

Nous avons également obtenu une relation significative entre le **poids spécifique** (Kg/hl) et la valeur énergétique des orges, qui peut s'exprimer ainsi :

$$\text{Énergie Digestible (Kcal/Kg M.S.)} = 1.578 + 29 \text{ P.S.} \quad r = +0,823^*$$

IV - DISCUSSION

La présente étude nous a permis d'estimer par mesure directe la valeur en énergie digestible de sept types d'orges se différenciant par leurs caractéristiques morphologiques (vêtue ou nue, printemps ou hiver, 2 rangs ou 6 rangs) et par leur composition chimique notamment le pourcentage de constituants membranaires. Pour les cinq variétés d'orge vêtues utilisées, nous avons obtenu une valeur de 3.466 Kcal d'énergie digestible par Kg de M.S. pour un taux moyen de 5,48 % de cellulose brute dans la matière sèche (1). On dispose dans la bibliographie de quelques travaux indiquant la valeur énergétique de l'orge pour le porc, mais les résultats ne sont pas toujours comparables. Les valeurs E.D. proposées résultent quelquefois de calcul (N.R.C., à partir des T.D.N.) ou sont issues de mesures de digestibilité peu précises comme les méthodes indirectes utilisant des marqueurs (MITCHALL et al., 1976 ; BHATTY et al., 1979). Les valeurs d'énergie digestible de l'orge obtenues par mesure directe (régimes exclusivement à base d'orge) avec collecte totale des excréta sont peu nombreuses (ROBINSON et al., 1965 ; CORNEJO et al., 1973 ; HENRY, 1968 ; HENRY et BOURDON, 1975). Le plus souvent la valeur énergétique est estimée par la méthode de substitution et calculée par différence (NEHRING et al., 1963 ; HENRY, 1976) ou par régression (YOUNG et FORSHAW, 1969 ; KROMANN et al., 1976 ; YOUNG et al., 1977). Malgré les différences dans la méthodologie, il nous a paru intéressant de regrouper l'ensemble des données bibliographiques disponibles. Nous avons ainsi obtenu une valeur moyenne en énergie digestible, pour l'orge vêtue, de 3.508 ± 131 Kcal par Kg de matière sèche à partir de 26 déterminations, avec des valeurs extrêmes de 3.273 Kcal (MAY et BELL, 1971) et 3.782 Kcal (EWAN 1979, communication personnelle). Si l'on inclut les cinq valeurs supplémentaires de notre étude, on obtient 3.501 Kcal ($n = 31$) avec un écart-type de 126 Kcal, ce qui correspond en moyenne exactement à la valeur que nous avons proposée (3.500 Kcal) dans une revue récente (PEREZ, BOURDON et HENRY, 1978) à partir d'un nombre plus restreint de données.

Malheureusement, dans la plupart des études, les auteurs ne mentionnent ni les caractéristiques des orges utilisées, ni leur teneur en cellulose brute parallèlement à leur valeur énergétique. Par suite, la comparaison des valeurs enregistrées demeure délicate et il n'est pas possible d'établir de relation entre l'énergie digestible et la cellulose à partir des données bibliographiques et ce d'autant que les méthodes d'analyse ne sont pas nécessairement comparables. Les résultats obtenus dans notre étude (3.377 Kcal E.D. pour 6,6 % de cellulose brute, 3.448 Kcal pour 6,1 %, 3.366 Kcal pour 5,5 %, 3.580 Kcal pour 4,7 % et 3.563 Kcal pour 4,5 %) sont peu différents des quelques valeurs citées dans la littérature pour des taux de cellulose brute comparables : 3.610 Kcal E.D. selon MORGAN et al., (1975) pour deux orges titrant 4 et 4,5 % de cellulose brute ; 3.530 Kcal E.D. d'après HENRY (1976) pour 5 % de cellulose, tandis que BOURDON (résultats non publiés) obtient 3.508 Kcal E.D. pour 5,3 %. NEHRING et al. (1972) indiquent les valeurs 3.541 Kcal et 3.572 Kcal E.D. pour deux orges d'hiver et de printemps renfermant respectivement 4,5 et 5 % de cellulose. KROMANN et al., (1976) proposent une valeur de 3.467 Kcal E.D. et le N.R.C. (1971) 3.506 Kcal pour 6 % de cellulose. De leur côté HENRY (1968) et ROBINSON et al., (1965) rapportent des valeurs un peu plus faibles, soit respectivement 3.489 Kcal E.D. pour 4,1 % de cellulose et 3.420 Kcal E.D. pour 5 % de cellulose.

En ce qui concerne les orges nues nous trouvons respectivement 3.784 Kcal pour 2,4 % de cellulose (C.F. 113) et 3.867 Kcal pour 2,2 % (Nudinka). Cette dernière valeur correspond exactement à celle proposée par TAKAHASHI et al. (1968). Nos résultats sont également en accord avec ceux obtenus sur l'orge nue par HENRY et BOURDON (1975), soit 3.757 Kcal pour 2,8 % de cellulose. Toutes ces données suggèrent que l'orge nue à une valeur énergétique

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

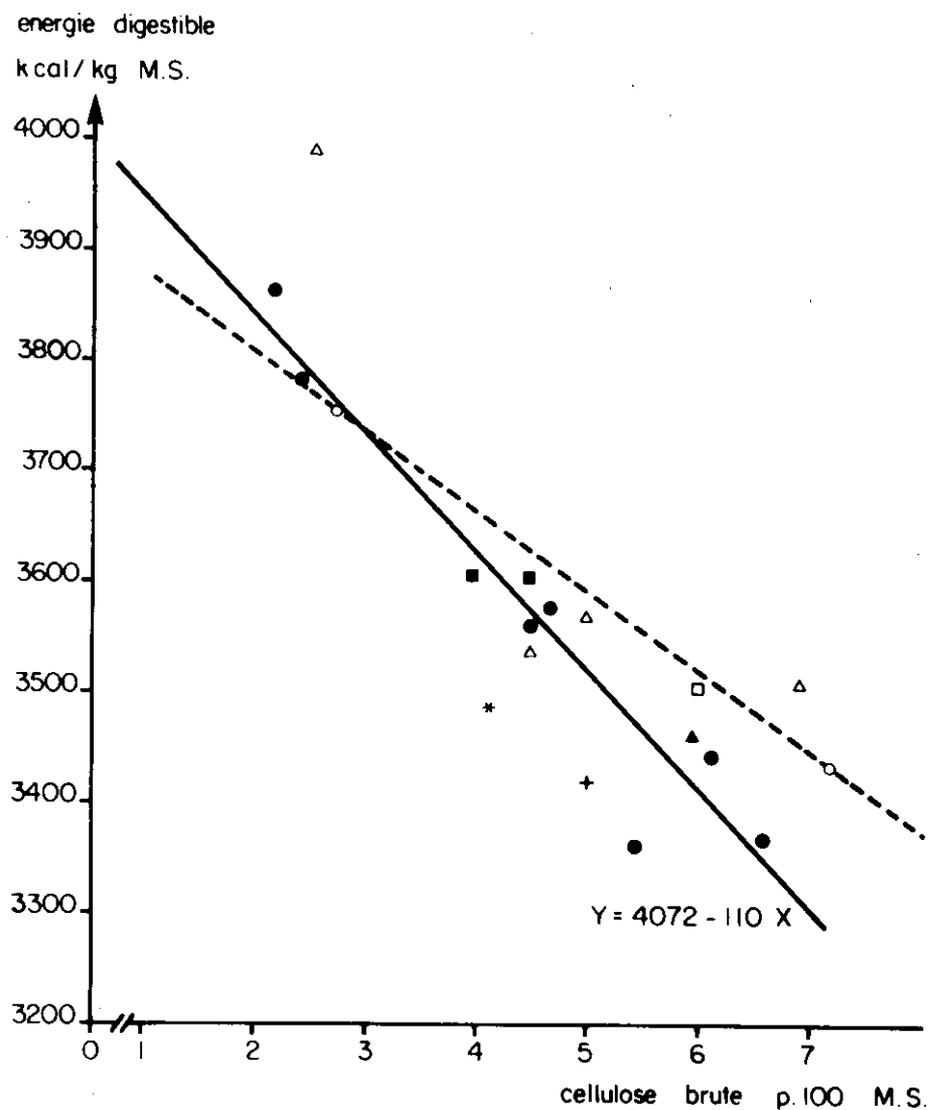
comparable à celle du blé (3.850 Kcal d'après PEREZ et al., 1978), ce qui corrobore les estimations de MITCHALL et al. (1976), BHATTY et al. (1979) ainsi que les conclusions d'expériences en lots (GILL et al., 1966 ; NEWMANN et ESLICK, 1970). En revanche, les valeurs de 3.990 Kcal E.D. avec un C.U.D. de l'énergie de 90 % données par les tables allemandes de NEHRING et al., (1972), pour une orge nue à 2,6 % de cellulose, nous paraissent surestimées.

A partir des résultats de digestibilité obtenus sur 7 échantillons d'orge très variables sur le plan de leur teneur en cellulose (y compris deux orges nues), nous avons pu établir une équation de prédiction de la valeur en énergie digestible de l'orge en fonction de son contenu en cellulose brute. Cette relation illustrée par les figures 1 et 2, prévoit une correction de moins 110 Kcal pour un accroissement de un point du taux de cellulose brute dans la matière sèche. Nous avons reporté sur la figure 2, outre la droite de régression calculée à partir de nos données, les résultats bibliographiques cités précédemment, où l'on disposait des teneurs en cellulose des orges. Nous avons également représenté graphiquement la correction proposée antérieurement par HENRY et BOURDON (1975), qui résulte en fait d'un calcul d'extrapolation à partir de l'estimation de l'énergie digestible de deux types d'orges extrêmes en cellulose (un escourgeon et une orge nue). Cette correction est plus faible que dans la présente étude, puisqu'elle correspond à moins 75 Kcal E.D. par point de cellulose brute supplémentaire dans la matière sèche.

Les valeurs de la bibliographie semblent, comme le montre la figure 2, davantage se regrouper autour de la droite que nous proposons. La comparaison des valeurs réelles mesurées par différents auteurs, aux valeurs calculées à partir de la cellulose brute à l'aide de notre équation de prédiction ($Y = 4.072 - 110 X$), fait apparaître des écarts inférieurs à 1,5 % dans plus de la moitié des cas, c'est-à-dire à la limite de la précision de l'estimation de l'énergie digestible (50 Kcal). Au sein de notre gamme c'est avec l'orge Alpha que l'ajustement à partir de la cellulose brute est le moins bon (bien que le dosage de la cellulose ait été répété douze fois). La valeur en énergie digestible de cette orge est un peu faible relativement à son contenu en cellulose mais d'autres éléments tels que les glucides assimilables (faible teneur en amidon...) ou d'autres facteurs moins prépondérants (tannins, béta-glucanes...) peuvent expliquer certains écarts. Le même lot d'orge a d'ailleurs conduit à de mauvaises performances chez les volailles (BLUM et LECLERCQ communication personnelle). Nous avons pu également tester la validité de l'équation précédente sur un ensemble de données brutes (JUST 1979, communication personnelle) correspondant à 22 orges expérimentées au DANEMARK, dont la teneur en cellulose brute s'échelonnait de 4,3 à 5,7 % (4,96 % en moyenne) et la valeur énergétique s'élevait à 3.578 ± 134 Kcal E.D. Néanmoins, certaines valeurs citées dans la bibliographie s'écartent de notre prévision, c'est le cas précisément pour l'escourgeon testé par HENRY et BOURDON (1975). A cet égard, le taux de 7,2 % de cellulose déterminé pour cette orge semble élevé, relativement à la valeur énergétique évaluée à 3.432 Kcal. Dans cette hypothèse, on comprend qu'une petite variation dans l'estimation de la teneur en cellulose puisse modifier sensiblement la pente d'une droite qui n'est caractérisée que par deux points. La correction proposée par HENRY et BOURDON (1975) semble ainsi surestimer la valeur énergétique des orges les plus celluloses, comme en témoignent d'ailleurs les résultats des essais de BOUARD et al. (1979) basés sur cette correction (indice énergétique plus élevé avec l'escourgeon le plus riche en cellulose pour un même apport supposé d'énergie digestible). La valeur de 3.510 Kcal E.D. rapportée par NEHRING et al. (1963) pour 6,9 % de cellulose nous paraît également surestimée. De la même façon, les tables de l'A.E.C. (1978) indiquent une valeur énergétique de 3.598 Kcal E.D. pour l'orge titrant 5,75 % de cellulose brute, ce qui représenterait une surestimation d'environ 160 Kcal (+ 4,6 %) du contenu en énergie digestible par rapport à notre calcul basé sur le taux de cellulose. Pour une même teneur en cellulose (5,73 %) les dernières tables du N.R.C. (1979) proposent 3.467 Kcal E.D. en accord avec nos résultats.

Les résultats de notre étude permettent donc de conclure à une correction de 110 Kcal E.D. correspondant à une diminution linéaire de 2,27 points du C.U.D. de l'énergie, pour un accroissement de 1 point du taux de cellulose brute dans la matière sèche du grain d'orge. De nombreux auteurs s'accordent à observer une forte corrélation négative entre le C.U.D.E. des aliments et leur teneur en constituants membranaires (DRENNAN et MAGUIRE, 1970 ; HENRY, 1971...) mais les estimations sont variables, selon le type d'aliment utilisé, la nature des constituants membranaires et les méthodes d'analyse choisies pour caractériser la fraction cellulosique de la ration. Pour des régimes à base de céréales la correction du C.U.D.E., en fonction du

FIGURE 2
RELATION ENTRE LA TENEUR EN CELLULOSE BRUTE ET LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE DE L'ORGE
COMPARAISON DES DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES AVEC NOS RÉSULTATS



△ Nehring et al., 1963 - 1972
 + Robinson et al., 1965
 * Henry, 1968
 □ N R C, 1971 - 1973
 ■ Morgan et al., 1975
 ▲ Kromann et al., 1976

--- ○ Henry et Bourdon
 1975
 — ● Perez et al., 1980

taux de cellulose brute, oscille entre 2,22 et 2,98 points suivant les auteurs. Dans le cas particulier de l'orge, les tables hollandaises (1970) indiquent une correction du C.U.D.E. et de 1,9 point (par point de cellulose supplémentaire), alors qu'en extrapolant les résultats de BHATTY et al. (1979) correspondant à deux orges extrêmes (vêtue et nue), on aboutit à 2,1 points. Nous avons obtenu par analyse de régression un coefficient de $-2,39$ ($r = -0,57$) à partir des données de PEERS et TAYLOR (1977) relatives à neuf orges se situant dans une gamme étroite de cellulose (4,6 à 5,4 %), bien que ces auteurs considèrent que la teneur en matières azotées des orges est le principal facteur de variation de la valeur énergétique, ce qui n'est pas l'avis de WISEMAN et al., (1978). Le facteur de correction que nous proposons (2,27 points) paraît donc en accord avec les quelques résultats bibliographiques. Le terme correctif de 1,5 point indiqué par HENRY et BOURDON (1975) paraît sous-estimé pour les raisons évoquées précédemment. HENRY (1976) suggère d'ailleurs une correction plus forte en se basant sur la composition de la fraction cellulosique de l'orge (pourcentage respectif de cellulose, lignine et hémicelluloses, illustré par le rapport A.D.F./N.D.F.). Le taux de diminution du C.U.D. E par point de **cellulose brute** varie en effet très fortement (de 1 à 3 points) selon l'aliment en fonction de la nature des constituants cellulosiques, puisque le dosage de la cellulose brute (Weende) ne prend en compte qu'une partie seulement des glucides membranaires, en excluant notamment les hémicelluloses. Ce facteur de correction est donc, pour un aliment donné, d'autant plus élevé que celui-ci est riche en hémicelluloses, comme c'est le cas par exemple pour le son de blé (correctif égal à 3 points) vis-à-vis de la féverole (1,2 point) dont les téguments sont constitués essentiellement de cellulose et de lignine. A cet égard, pour l'orge qui renferme un pourcentage important d'hémicelluloses (de 10 à 13 % d'après nos analyses, tableau 1) la correction devrait théoriquement être au moins égale à 2, en conformité avec nos résultats. Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que THOMKE (1960) propose un terme correctif de 2,2 pour l'avoine.

Les arguments développés ci-dessus soulignent l'intérêt d'utiliser en particulier le "détergent neutre" (c'est-à-dire les constituants membranaires totaux) pour prédire la valeur énergétique, surtout lorsqu'il s'agit d'une ration mixte ou d'un ensemble d'aliments hétérogènes du point de vue de leur composition en substances cellulosiques. Les équations de prédiction de la valeur E.D. (et du C.U.D. E) que nous avons obtenues pour l'orge à partir des fractions A.D.F. et N.D.F., sont voisines de celles enregistrées avec des régimes complexes par KING et TAVERNER (1975) et HENRY (1976). Dans notre étude la méthode de fractionnement des constituants membranaires proposée par VAN SOEST n'a pas permis cependant, d'affiner la prévision de la valeur énergétique par rapport à la méthode de Weende et cela pour trois raisons essentielles : d'une part la corrélation obtenue avec la cellulose brute est déjà très élevée ($r = -0,96$) ; d'autre part l'étude ne concerne qu'une seule classe homogène d'aliment, en l'occurrence les orges ; enfin la prédiction de l'E.D. à partir de la composition chimique est liée à la précision même des analyses et à cet égard le dosage de N.D.F. demeure délicat dans les aliments riches en amidon. De la même façon l'utilisation d'autres critères chimiques (glucides assimilables...) ou combinaison de critères n'ont pas abouti à une meilleure prévision que celle obtenue à partir de la cellulose Weende. L'introduction de l'énergie brute dans notre équation n'a pas conduit non plus à une amélioration de la prédiction, compte tenu certainement des faibles écarts observés pour ce critère entre les orges étudiées. Il serait néanmoins utile de préciser la variabilité du contenu en énergie brute des orges françaises.

CONCLUSION

En définitive, la cellulose Weende, dont le dosage est largement utilisé en pratique, est un critère qui conserve un grand intérêt pour la prévision de la valeur énergétique au sein d'une catégorie d'aliment donné. Dans le cas particulier de l'orge la **cellulose brute** semble être le principal facteur de variation de la valeur alimentaire pour le porc puisqu'il explique à lui seul, dans notre étude, **93 % de la variation de la valeur en énergie digestible**. Le présent travail qui porte sur sept types d'orge bien différenciés sur le plan morphologique et analytique, a permis d'établir un moyen commode de prévision de la valeur en énergie digestible d'un lot d'orge à partir de la cellulose brute, sur la base d'une **correction de moins 110 Kcal par point de cellulose supplémentaire** dans la matière sèche du grain. Ce résultat suppose implicitement, pour être appliqué un bon échantillonnage et un dosage très précis de la cellulose brute. Sur un plan plus général, un autre exemple d'application nous est donné par la dernière enquête (ITCF-SCEES-ONIC, 1978) sur la qualité des orges qui indique un écart moyen de teneur en cellulose de 1,5 point entre les orges à 2 rangs (hiver ou printemps) et à 6 rangs, ce qui correspond d'après notre estimation à une différence d'environ 5 % entre les valeurs moyennes en énergie digestible pour le porc des deux grandes catégories d'orges françaises.

Dans nos conditions expérimentales, nous avons pu également établir une **relation** originale entre le **poids spécifique et la valeur énergétique** de l'orge pour le porc, avec une corrélation intéressante ($r = + 0,82$). Ainsi lorsque l'on n'a pas recours à l'analyse, la détermination du P.S. pourrait être en pratique un moyen simple et surtout très rapide pour apprécier la valeur énergétique, à condition de prendre un certain nombre de précautions au moment de la mesure. Il convient néanmoins d'appliquer ce résultat avec prudence, car la signification du poids spécifique n'est pas toujours très claire et en particulier la corrélation avec la cellulose brute dans le cas de l'orge est loin d'être systématiquement vérifiée (nous avons obtenu dans notre étude une corrélation élevée $r = - 0,88$ pour les sept orges récoltées en 1978). Les relations entre la structure physico-chimique du grain et le poids spécifique nécessiteraient d'être analysées à grande échelle sur plusieurs années de récolte, avant d'utiliser cette mesure physique comme critère de prédiction de la valeur énergétique de l'orge.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. BERBIGIER, FRADIN, MARTIN de l'INRA, la Ferme des Anglais à Reims, et l'ITCF pour leur aide dans la fourniture de lots d'orge, ainsi que MM. GIBOULOT et ROY pour la fabrication des régimes expérimentaux (INRA, La Minière).

Nous remercions également la Station de Recherches Avicoles de l'I.N.R.A. (Nouzilly) pour le dosage des matières grasses, ainsi que le Laboratoire des Céréales de l'I.T.C.F. (rue de la Clef 75005 Paris) pour les mesures physiques réalisées sur les orges.

BIBLIOGRAPHIE

- A.E.C. (1978) - Document n° 4.
- BHATTY R.S., CHRISTISON G.I., ROSSNAGEL B.G. (1979) - Energy and protein digestibilities of hulled and hullless barley determined by swine-feeding. *Can J. Anim. Sci.*, **59**, 585-588.
- BOUARD J.P., CASTAING J., LEUILLET M., TIRILLY J.Y., (1979) - Utilisation comparée par le porc en croissance-finition des trois catégories d'orge française. *Journées Rech. Porcine en France*, **11**, 223-220, T.T.P., éd. Paris.
- CORNEJO S., POTOČNJAK J., HOLMES J.H.G., ROBINSON D.W. (1973) - Comparative nutritional value of triticale for swine, *J. Anim. Sci.*, **36**, 87-89.
- DRENNAN P., MAGUIRE J.F. (1970) - Prediction of the digestible and metabolizable energy content of pig diets from their fiber content. *Irish Journal of Agricultural Research* **9**, 197-202.
- EWAN R.C. (1979) - Communication personnelle.
- GIGER Sylvie, SAUVANT D., DORLEANS M., MORAND-FEHR P., (1979) - Détermination semi-automatique des constituants membranaires des aliments concentrés par la méthode de Van Soest. 30th Ann. Mtg. E.A.A.P., Harrogate England.
- GILL D.R., OLDFIELD J.E., ENGLAND D.C. (1966) - Comparative values of hullless barley, regular barley, corn and wheat for growing pigs, *J. Anim. Sci.* **25**, 34-36.
- GUILLAUME J. (1978) - Compte rendu final de la convention énergie métabolisable des principales matières premières employées en France dans l'alimentation des volailles. *Indust. Aliment. Anim.*, **314**, 11-30.
- HENRY Y., (1968) - Utilisation comparée des céréales comme seuls aliments du porc pendant la période de finition. *Ann. Zootech.*, **17**, 183-197.
- HENRY Y., (1971) - Essai de prévision de la valeur en énergie digestible des aliments pour le porc, à partir de leur teneur en constituants membranaires. *Journées Rech. Porcine en France*, **3**, 57-64, I.T.P., éd., Paris.
- HENRY Y., (1976) - Prediction of energy values of feeds for swine from fiber content. *Proc., First International Symposium Feed Composition Animal Requirement and computerization of diets*, Utah State University, Logan 270-281.

- HENRY Y., BOURDON D. (1973) - Utilisation digestive de l'énergie et des matières azotées de la féverole sous forme entière ou décortiquée, en comparaison avec le tourteau de soja. Journées Rech. Porcine en France, 5, 105-114, I.T.P., éd., Paris.
- HENRY Y., BOURDON D. (1975) - Valeur énergétique de deux types d'orge (vêtue et nue) et utilisation par le porc en croissance. Journées Rech. Porcine en France, 7, 71-80, I.T.P., éd., Paris.
- HENRY Y., RERAT A. (1966) - Utilisation des pommes de terre deshydratées et fraîches dans l'alimentation du porc en croissance en comparaison avec l'orge. Ann. Zootech., 15, 231-251.
- JUST A. (1979) - Communication personnelle.
- KING R.H., TAVERNER R.R. (1975) - Prediction of the digestible energy in pig diets from analyses of fiber content. Anim. Prod., 21, 275-284.
- KROMANN R.P., FROSETH J.A., MEISER W.E. (1976) - Interactional digestible, metabolizable and net energy values of wheat and barley in swine, J. anim., Sci., 42, 1451-1459.
- LELONG C., BOUSCAUD M., CHABBERT P., GUILLAUME J., GUYONVARCH A., LEUILLET M., MERLE F., PEREZ J.M. (1978) - L'orge d'hiver dans l'alimentation animale. Perspectives Agricoles, 11, 18-27 (N° spécial).
- MAY R.W., BELL J.M. (1971) - Digestible and metabolizable energy values of some feeds for the growing pig. Can. J. Anim. Sci., 51, 271-278.
- MITCHALL G., BELL J.M., SOSULSKI F.W. (1976) - Digestibility and feeding value of hullless barley for pigs. Can. J. Anim. Sci., 56, 505-511.
- MORGAN D.J., COLE D.J.A., LEWIS D. (1975) - Energy values in pig nutrition. 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) - Die energetische Verwertung der Futterstoffe. 3. Mitteilung. Die energetische Verwertung der Kraftfutterstoffe durch Schweine. Arch. Tierernähr., 13, 147-161.
- NEWMANN C., ESLICK R. (1970) - Barley varieties for swine diets (Abstr.) J. Anim. Sci., 30, 1038-1039.
- N.R.C. (National Research Council) (1971) - Atlas of Nutritional Data on United States and Canadian feeds, 772 p., Nat. Acad., Sci., Washington D.C.
- N.R.C. (1973) - Nutrient requirements of domestic animals n° 2. Nutrient requirements of swine, 56 p., Nat. Acad. Sci., Washington D.C.
- N.R.C. (1979) - Nutrient requirements of domestic animals, n° 2. Nutrient requirements of swine, 8 th. ed., 52 p., Nat. Acad. Sci., Washington D.C.
- PEERS D.G., TAYLOR A.G. (1977) - The influence of the variety of barley and level of nitrogen fertilisation on the digestibility and metabolisable energy value of barley meal in the pig J. Sci. Food Agric., 28, 602-606.
- PEREZ J.M., BOURDON D., HENRY Y. (1978) - Les céréales dans l'alimentation du porc B.T.I. 331, 335-361.
- ROBINSON D.W., PRESCOTT J.M.O., LEWIS D. (1965) - The protein and energy nutrition of the bacon pig IV. digestible energy values of cereals in pig diets. J. Agric. Sci. 64, 59-66.
- TABLES HOLLANDAISES (1970) - Veevoedertabel, Centraal Veevoederbureau, Wageningen, Nederland.
- TAKAHASHI S., FURUYA S., JITSUKAWA Y., MORIMOTO M (1968) - Studies on the nutritive value of feedstuffs for pigs. I. Grains and potatoes. Bull. Nat. Inst. Anim. Ind., 17, 1-8.
- THIVEND P., MERCIER C., GUILBOT A. (1965) - Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys. 5, 513-526.
- THOMKE S. (1960) - Studies on the digestibility of oats by pigs. Ann. Roy. Agric. Coll. Sweden, 26, 269-288.
- VAN SOEST P.J. (1963) - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds, I - Preparation of fiber residues of low nitrogen content ; II - A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Assoc. Off. Agric. Chem., 46, 825-829.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H. (1967) - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV - Determination of plant cell-wall constituents. J. Assoc. Off. Agric. chem., 50 (1) 50-55.
- WISEMAN J., COLE D.J.A., LEWIS D. (1978) - The energy evaluation of barley in diets for growing pigs. Anim. Prod., 26, 394 (Abstr.).
- YOUNG L.G., FORSHAW R.P. (1969) - Energy values of corn, barley and soybeanmeal. J. Anim. Sci., 29, 150 (Abstr.).
- YOUNG L.G., ASHTON G.C., SMITH G.C. (1977) - Estimating the energy value of some feeds for pigs using regression equations. J. Anim. Sci., 44, 765-771.