

VALEUR NUTRITIONNELLE DE TREIZE MATIÈRES PREMIÈRES POUR LE PORC EN CROISSANCE

1. Teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette. Conséquences du choix du système énergétique.

J. NOBLET, H. FORTUNE, C. DUPIRE, S. DUBOIS

INRA, Station de Recherches Porcines, Saint-Gilles, 35590 L'HERMITAGE.

avec la collaboration technique de A. ROGER pour les mesures sur animaux, Annick BLANCHARD, Martine FILLAUT et Nadine MÉZIÈRE pour les analyses de laboratoire. Ont participé à l'analyse des échantillons de matières premières et de régimes les laboratoires de CCPA, 95529 Osny, GUYOMARC'H NUTRITION ANIMALE, 56006 Vannes, ITCF, 91720 Maisse, LANGLOIS NUTRITION ANIMALE, 35040 Rennes, SANDERS ALIMENTS, 91201 Athis Mons, UCAAB, 02400 Chateau-Thierry et UFAC, 95450 Vigny.

Dix sept régimes complexes faisant appel à 13 matières premières (blé, orge, maïs, manioc, patate douce, tourteaux de soja, colza et tournesol, pois, corn distillers, corn gluten feed, mélasse de canne et graisse 15) ont été constitués de façon à déterminer, par régression multiple et chez le porc en croissance, leurs teneurs en énergie digestible (ED), métabolisable (EM) et nette (EN) et en éléments digestibles. Le choix du système énergétique affecte la hiérarchie entre les matières premières : si la teneur en énergie du blé est considérée comme base 100, celles du tourteau de soja, du manioc ou de la graisse 15 sont, respectivement, 101, 98 et 184 dans le système ED, 97, 99 et 187 dans le système EM et 66, 106 et 241 dans le système EN. Les teneurs en EN mesurées sur les matières premières sont en accord avec celles calculées à partir de leurs teneurs en éléments digestibles et des équations de prédiction de l'EN proposées par l'INRA. Elles sont par contre en désaccord avec celles obtenues à partir du système «NEF» et du système «danois», ces 2 systèmes surestimant la teneur en EN des sources de protéines et sousestimant celle des produits riches en amidon. Cette étude met également en évidence l'estimation trop élevée des teneurs en ED ou en éléments digestibles des matières premières riches en fibres, de la mélasse et des graisses lorsque ces produits sont utilisés dans des régimes complexes. En conclusion, cette étude confirme la nécessité d'apprécier la valeur énergétique des aliments du porc dans un système EN.

Nutritional value of thirteen feedstuffs in growing pigs.

1. Digestible, metabolizable and net energy contents. Consequences of choice of energy evaluation system.

Seventeen complex diets containing 13 different ingredients (wheat, barley, maize, tapioca, sweet potatoes, soyabean meal, rapeseed meal, sunflower meal, peas, corn distillers, corn gluten feed, cane molasses and animal fat) were prepared in order to determine by multiple regression techniques, their digestible (DE), metabolizable (ME) and net (NE) energy and digestible nutrients contents for growing pigs. Energy evaluation systems (DE vs ME vs NE) affects clearly the hierarchy between the ingredients : when the energy value of wheat is considered as 100, the energy values of soyabean meal, tapioca and animal fat were 101, 98 and 184 on a DE basis, 97, 99 and 187 on a ME basis and 66, 106 and 241 on a NE basis, respectively. Measured NE contents of the considered feedstuffs agree with those calculated from their digestible nutrients contents and equations for prediction of NE proposed by INRA. On the other hand, the agreement is not satisfactory with those calculated according to the «NEF» or «danish» NE systems that overestimate the energy value of protein-rich feedstuffs and underestimate the energy content of starch-rich ingredients. The study indicates that tabular DE content or nutrients digestibility coefficients of fiber rich ingredients, molasses or animal fat are overestimated when these feedstuffs are included in complex diets. Finally, this study emphasizes the necessity for estimating the energy value of pig feeds on a NE basis.

INTRODUCTION

L'apport d'énergie représente une part prépondérante du coût de l'alimentation du porc en croissance. Aussi est-il important de disposer d'un mode d'évaluation de la valeur énergétique des aliments aussi précis que possible de façon à établir une hiérarchie entre matières premières et adapter les apports d'aliment aux besoins des animaux. Dans ce contexte, la teneur en énergie nette (EN) représente la meilleure estimation de la valeur énergétique «vraie» des aliments, la hiérarchie pouvant être très différente, notamment pour les matières premières, dans les systèmes faisant appel à l'estimation des teneurs en énergie digestible (ED) ou métabolisable (EM). La valeur EN, non mesurée directement, est calculée à partir d'une équation faisant appel soit aux teneurs en éléments digestibles (LEROY, 1948 ; SCHIEMANN et al., 1972) - ce dernier système a été largement diffusé par les tables hollandaises (CVB, 1983) -, soit à la teneur en EM (JUST, 1975). Les avantages et les importantes limites de ces systèmes ont été discutés par HENRY et PÉREZ (1982). Plus récemment, les conséquences du choix de ces systèmes au niveau de la formulation des aliments ont été analysées par BRETTE et al. (1986). C'est pourquoi des études complémentaires ont été conduites sur ce thème à l'INRA. Elles ont abouti à la mise au point d'un ensemble d'équations de prédiction de la teneur en EN des aliments du porc (NOBLET et al., 1989). Mais la fiabilité de l'estimation de la teneur en EN repose sur une évaluation précise des teneurs en éléments digestibles ou en ED ou en EM des aliments. Or les valeurs disponibles pour les matières premières (CVB, 1983 ; INRA, 1984) ont été généralement obtenues dans des situations de régimes simplifiés qui peuvent être relativement différentes de celles de la pratique (régimes complexes). Les objectifs de la présente étude sont, par conséquent, de :

1. déterminer les teneurs en éléments digestibles, ED, EM et EN - la valeur EN est appréciée directement - de 13 matières premières utilisées dans l'alimentation du porc, dans une situation de régimes complexes,

2. d'analyser les conséquences du mode d'évaluation de la valeur énergétique (ED, EM ou EN et différentes estimations de la teneur en EN) des régimes et surtout des matières premières sur leurs teneurs relatives en énergie.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

Treize matières premières, dont les compositions sont rapportées dans le tableau 1, ont été utilisées pour constituer 17 régimes complexes (au moins 6 matières premières par régime) dont les caractéristiques nutritionnelles (teneurs en acides aminés indispensables, notamment) correspondent aux besoins du porc en croissance. La composition centésimale de ces régimes (tableau 2) est telle que les coefficients de corrélation entre tous les taux d'introduction des différentes matières premières soient aussi faibles que possible. En fait, aucun coefficient n'est significatif au seuil 5%. Un tel dispositif autorise l'application de la méthode de la régression multiple, la variable expliquée étant un critère de valeur nutritionnelle d'un régime et les variables explicatives, les taux d'introduction des matières premières le constituant. Les coefficients affectés à chaque matière première correspondent aux valeurs nutritionnelles des matières premières pour ce critère. Le régime n°1, à base de céréales, de tourteau de soja et de faibles quantités de mélasse de canne et de graisses animales pourra être considéré comme un régime témoin.

TABLEAU 1

COMPOSITION CHIMIQUE (G/KG MS) ET VALEURS ÉNERGÉTIQUES (KCAL/KG MS) DES 13 MATIÈRES PREMIÈRES DE L'ÉTUDE (1)

Numéro	MO	MAT	CB	NDF	ADF	ADL	WICW	MG	Amidon	Sucres	ENA	EB	EDtables	ENn1
Matière première														
1 Blé	982	146	24	111	34	11	110	18	674	31	795	4418	3860	2705
2 Orge	974	106	47	163	53	10	142	23	611	37	797	4396	3550	2550
3 Mais	986	106	25	121	30	5	114	43	710	18	812	4545	4000	2830
4 Manioc	974	36	31	69	42	8	67	4	805	49	903	4113	3965	2750
5 Patate	969	44	29	69	42	7	66	6	731	73	889	4085	3500	2670
6 T.soja	926	514	69	135	79	7	207	24	68	86	320	4747	3975	2270
7 T.tourn.	910	326	258	401	291	112	448	15	36	63	311	4573	2600	1335
8 T.colza	926	377	132	307	223	103	360	21	48	116	397	4681	3295	1795
9 Pois	966	259	47	106	54	4	151	11	520	56	649	4442	4010	2590
10 Corn dist.	929	284	86	403	123	19	345	52	113	15	508	4856	3220	2190
11 Corn glut.	928	229	108	492	132	19	484	54	121	11	538	4662	2990	2010
12 Mélasse	866	47	-	-	-	-	-	-	-	647	819	3529	3045	2270
13 Graisses	1000	-	-	-	-	-	-	987	-	-	-	9426	7945	7730

(1) T. soja : tourteau de soja 48 ; T. tourn. : Tourteau de tournesol métropolitain ; T. colza : Tourteau de colza 00 ; Corn dist. : Corn distillers import ; Corn glut. : Corn gluten feed ; Mélasse : Mélasse de canne ; Graisses : Graisses animales 15 ; MO : Matière Organique ; MAT : matières azotées totales (Nx6,25) ; CB : cellulose brute ; NDF : Neutral detergent fiber ; ADF : Acid detergent fiber ; ADL : Acid detergent lignin ; WICW : Parois insolubles dans l'eau ; MG : matières grasses ; ENA : extractif non azoté ; EB : énergie brute ; ED tables : ED tables INRA (1984) ; ENn1 : EN tables hollandaises (CVB, 1983).

TABEAU 2
COMPOSITION CENTÉSIMALE ET CHIMIQUE DES RÉGIMES

Régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Composition centésimale, %																	
Blé	23,0	12,0	-	-	25,0	12,0	27,0	-	-	25,0	-	-	17,0	29,0	-	-	-
Orge	22,0	-	-	22,0	-	-	27,0	-	18,98	-	-	13,49	-	19,0	24,0	-	10,0
Mais	20,0	-	14,0	19,0	28,0	-	-	-	-	-	20,47	18,0	-	19,0	18,0	29,5	11,0
Manioc	-	17,0	14,0	-	-	11,0	-	-	24,0	21,5	20,0	-	18,5	-	15,0	15,0	-
Patate	-	17,0	14,0	-	-	10,5	-	35,0	7,0	4,0	-	11,0	-	18,0	13,0	-	5,0
T.soja	22,5	22,0	18,5	11,0	11,5	15,0	-	23,98	23,0	13,75	21,0	-	-	-	-	20,0	16,0
T.tourn.	-	7,0	-	15,0	6,0	15,0	-	-	-	-	4,0	11,5	13,0	-	-	15,0	8,0
T.colza	-	14,5	12,0	-	10,0	-	15,0	-	11,00	-	-	11,5	13,0	5,0	5,0	-	8,0
Pois	-	-	-	-	-	26,0	17,0	26,5	-	-	20,0	30,0	27,0	-	5,0	-	18,0
Corn dist.	-	-	15,0	9,0	-	-	9,38	-	-	15,0	10,0	-	-	-	10,0	-	5,0
Corn glut.	-	-	-	10,0	10,0	-	-	10,0	11,5	10,0	-	-	-	-	-	10,0	5,0
Mélasses	4,1	-	6,0	4,3	-	-	-	-	-	6,0	-	-	6,99	5,04	-	6,0	5,48
Graisses	3,8	6,0	2,0	5,0	4,85	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	5,1	-	4,0
Lys-HCL	0,10	-	-	0,20	0,15	-	0,10	-	-	0,20	-	-	-	0,32	0,27	-	-
Méthionine	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,03	0,03	-	-	-	-	-	0,02
Thréonine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,1	-	-
Tryptophane	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	0,02	-	0,01	0,01	0,02	0,03	-	0,02
CMV	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Composition chimique, g/kg MS																	
MM	75	85	90	87	76	81	73	82	87	88	81	78	87	71	70	91	92
MAT	197	226	218	199	205	215	194	241	216	187	226	195	197	119	123	221	237
CB	35	66	54	80	61	70	52	58	64	48	57	75	81	34	44	79	76
NDF	114	130	146	221	177	131	160	141	167	152	131	155	148	107	132	186	176
ADF	47	84	77	101	86	89	78	70	82	58	64	93	100	39	49	88	84
ADL	9	25	21	26	23	21	21	7	20	9	10	29	32	9	10	21	20
WICW	127	151	177	226	209	163	187	184	196	184	159	182	173	123	135	204	190
MG	65	79	46	83	83	81	23	16	18	18	21	19	12	20	79	25	70
Amidon	437	353	360	303	382	388	450	399	388	411	432	454	408	586	534	366	306
Sucres	58	72	89	57	42	50	44	65	62	76	47	57	89	56	30	71	71
ENA	630	545	593	552	575	554	658	603	615	659	614	632	624	756	685	584	526
Res2 (1)	56	56	52	51	36	55	55	57	62	67	62	40	61	42	33	40	50
EB, kcal/kg MS	4494	4523	4356	4589	4606	4544	4297	4211	4207	4179	4244	4227	4143	4134	4467	4260	4490

(1) Res2=MO-(MAT+MG+Amidon+Sucres+NDF)

Chaque régime a été distribué à raison d'un repas par jour à 4 porcs mâles entiers de race Large White, d'un poids vif moyen de 45 kg. A l'issue d'une période d'adaptation à l'aliment expérimental et à la contention en cage individuelle, d'environ 8 jours, les animaux sont placés individuellement en cage à métabolisme. La collecte des excréta commence 3 à 4 jours après la mise en cage et se poursuit pendant 10 à 11 jours. La cage à métabolisme est placée dans une chambre respiratoire pendant les 8 derniers jours. Les mesures d'échanges respiratoires n'ont pas été effectuées sur les régimes 15, 16 et 17.

Les niveaux d'alimentation sont égalisés entre régimes, l'apport de 580 kcal EM par kg PV0.60 étant voisin du niveau à volonté pour la plupart des régimes. Un échantillon de l'aliment distribué est constitué pour la détermination de la matière sèche ingérée et les analyses ultérieures. Les animaux disposent d'eau à volonté. La température dans la chambre respiratoire est maintenue à 22°C.

1.2. Mesures

Les animaux sont pesés avant et après la période de collecte des excréta. Les fèces et les urines sont recueillies quotidiennement, conservées à +4°C et pesées et homogénéisées à la

fin de la période expérimentale. Deux échantillons de fèces sont constitués, l'un servant à la détermination de la matière sèche excrétée et l'autre étant lyophilisé pour les analyses ultérieures. La consommation d'oxygène et les productions de gaz carbonique et de méthane sont mesurées quotidiennement. La production de chaleur est alors calculée à partir des échanges respiratoires et de la quantité d'azote excrétée dans l'urine.

Les échantillons de matières premières et de régimes ont été analysés par les méthodes habituelles par au moins 6 laboratoires. Toutefois, la teneur en énergie brute n'a été déterminée que par deux laboratoires. Quant aux fèces et aux urines, les analyses ont été réalisées par un seul laboratoire.

Des informations plus détaillées sur le dispositif expérimental, les mesures et les méthodes d'analyse utilisées sont données par NOBLET et al. (1989). La digestibilité iléale des 17 régimes a également été mesurée (NOBLET et al., 1990).

1.3. Calculs

Les coefficients d'utilisation digestive (CUD) des différents éléments nutritifs ainsi que les teneurs en ED et EM ont été obtenus par les méthodes habituelles. La teneur en EM inclut

les pertes d'énergie sous forme de méthane. Celles-ci représentent en moyenne 0.44% de la teneur en ED pour les 14 régimes mesurés. La quantité d'énergie nette (EN) apportée aux animaux (kcal par jour) correspond à la somme : Energie fixée + 179 x PV0.60 où Energie fixée équivaut à la différence (kcal/j) entre la quantité d'EM ingérée et la production de chaleur et 179 x PV0.60, à une estimation de l'énergie nette d'entretien (kcal/j) (NOBLET et al., 1989). La valeur EN des régimes 15, 16 et 17 a été estimée à partir de l'équation EN19 (NOBLET et al., 1989, tableau 3).

Le calcul des caractéristiques nutritionnelles des matières premières a été réalisé par régression multiple (SAS, 1985). Toutefois, lors du calcul de régression multiple sur les caractéristiques de composition chimique brute des régimes, les coefficients obtenus dans l'équation et qui correspondent à la composition des matières premières ne sont pas absolument identiques à ceux mesurés sur les matières premières. Aussi, les teneurs en éléments digestibles ou en ED (ou EM et EN) correspondent au produit de la teneur dans le régime par le coefficient d'utilisation digestive (ou le rapport EM/ED ou EN/EM) calculé. A titre d'exemple, le CUD calculé de l'énergie d'une matière première correspond au rapport entre le coefficient obtenu, pour cette matière première, dans l'équation de régression de l'ED des 17 régimes et celui obtenu dans l'équation de régression de l'énergie brute des 17 régimes.

Des éléments nutritifs se trouvent en quantité très faible dans certaines matières premières (matières grasses et fibres dans le manioc, par exemple). Dans ce cas, le coefficient obtenu pour la matière première dans la régression multiple (éléments bruts ou digestibles) n'est pas significatif. Le CUD de l'élément nutritif concerné pour cette matière première est alors estimé par la valeur moyenne mesurée pour cet élément sur les 17 régimes.

2. RÉSULTATS

2.1. Régimes

Les résultats de digestibilité mesurés sur les régimes pour les différents éléments nutritifs sont rapportés dans le tableau 3. En relation avec les variations dans les compositions centésimale et chimique, les valeurs les plus élevées pour la plupart des critères sont obtenues avec R1, régime peu riche en parois végétales. A l'inverse, le régime 4, particulièrement riche en parois végétales, a les coefficients de digestibilité les plus faibles. La digestibilité des matières azotées totales, en moyenne de 75%, varie de 70% à plus de 80%. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les régimes à teneurs élevées en parois végétales (R4) ou pauvres en matières azotées (R14 et R15). La digestibilité des différentes fractions des

TABLEAU 3
COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE ET VALEURS ÉNERGÉTIQUES MESURÉES OU CALCULÉES DES RÉGIMES

Régime	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Moyenne
Coefficients d'utilisation digestive,%																		
MS	82,9	79,8	77,1	69,7	74,9	79,0	78,8	81,3	77,6	77,7	80,7	79,4	78,3	83,3	81,2	73,6	75,5	78,3
MO	85,8	82,9	80,2	72,5	78,0	81,9	81,6	84,5	80,7	80,7	83,5	82,3	81,4	86,5	84,0	76,7	78,1	81,3
MAT	81,1	77,6	71,8	69,8	74,8	77,4	75,1	76,2	74,3	73,3	76,4	75,8	75,3	72,9	70,2	72,9	75,2	74,7
CB	38,5	45,3	36,3	23,8	26,4	34,2	22,3	64,5	43,2	43,6	44,0	32,5	30,6	32,6	46,4	30,9	42,1	37,5
NDF	50,1	49,2	46,7	38,7	37,9	44,9	43,7	63,1	46,5	42,0	50,8	45,1	41,9	41,1	47,5	42,0	45,9	45,7
ADF	46,5	40,9	47,3	34,6	37,7	41,9	35,7	65,7	42,6	43,6	45,4	37,4	34,5	26,1	38,2	32,1	35,2	40,3
ADL	48,8	5,3	28,8	27,0	16,5	15,7	14,2	20,3	17,8	9,9	24,8	17,2	12,1	-2,5	23,7	6,5	14,4	17,7
MG	66,3	68,1	60,8	65,1	68,8	71,6	42,9	32,7	39,2	42,3	42,3	45,9	24,9	41,7	66,4	58,5	66,6	53,2
EB	83,2	80,2	77,3	70,1	75,5	79,2	79,0	81,8	78,0	78,0	80,8	79,4	78,6	83,9	80,6	74,2	75,6	78,6
EM/ED,%	96,2	95,6	94,6	95,0	95,6	96,0	96,2	95,0	95,3	95,6	96,0	95,5	95,2	96,7	96,8	94,3	95,0	95,6
EN/EM,%	73,3	73,9	71,6	75,8	75,8	74,1	73,1	71,5	71,4	72,9	71,8	72,2	71,9	78,8	80,4	71,6	72,3	73,7
Valeurs énergétiques,kcal/kg MS(1)																		
ED	3741	3629	3367	3216	3479	3601	3395	3444	3282	3261	3428	3356	3255	3468	3598	3160	3392	3416
EM	3600	3469	3185	3056	3326	3455	3266	3272	3129	3117	3290	3205	3097	3353	3484	2979	3224	3265
EN	2640	2563	2281	2317	2521	2561	2386	2338	2233	2272	2364	2315	2228	2642	2802	2132	2330	2407
EDtab	3795	3755	3550	3500	3720	3780	3450	3515	3470	3440	3650	3435	3430	3475	3720	3420	3600	3571
ED4	3704	3627	3377	3229	3526	3657	3385	3403	3227	3241	3452	3342	3259	3504	3638	3143	3357	3416
ENn1	2662	2592	2408	2454	2585	2612	2314	2348	2265	2330	2378	2262	2213	2469	2733	2219	2440	2428
ENn2	2551	2478	2266	2209	2407	2496	2263	2240	2159	2175	2259	2244	2168	2413	2579	2086	2281	2310
EN1	2472	2386	2131	1986	2246	2382	2152	2206	2058	2058	2190	2154	2065	2338	2470	1932	2146	2198
ENj	2250	2152	1939	1842	2045	2141	1999	2004	1896	1888	2018	1954	1873	2065	2163	1784	1968	1999
EN6	2708	2548	2358	2291	2541	2607	2427	2303	2243	2297	2376	2378	2268	2669	2798	2172	2321	2430
EN19	2730	2556	2335	2260	2514	2574	2397	2320	2226	2279	2363	2333	2206	2634	2798	2120	2318	2410

- (1) ED tab : ED calculée à partir de l'addition des valeurs des tables INRA (1984) ;
 ED4 : $4421-10.41 \cdot \text{Minéraux} + 1.33 \cdot \text{MAT} + 3.65 \cdot \text{MG} - 3.84 \cdot \text{NDF}$; (NOBLET et al., 1988)
 ENn1 : EN calculée à partir des coefficients d'utilisation digestive des tables hollandaises et de la composition chimique mesurée; $\text{EN} = 2.59 \cdot \text{MAD} + 8.63 \cdot \text{MGD} + 1.50 \cdot \text{CBD} + 3.03 \cdot \text{ENAD}$;
 ENn2 : idem ENn1 mais avec coefficients d'utilisation digestive mesurés;
 EN1 : $4.1 \cdot \text{MAD} + 9.2 \cdot \text{MGD} + 4.1 \cdot (\text{CBD} + \text{ENAD})$ (Leroy, 1948); $\text{ENj} = 0.75 \cdot \text{EM} - 450$ (JUST, 1975) ;
 EN6 : $2.49 \cdot \text{MAD} + 8.85 \cdot \text{MGD} + 3.54 \cdot \text{Amidon} - 0.99 \cdot \text{CBD} + 2.83 \cdot \text{ResD}$ (NOBLET et al, 1989);
 EN19 : $0.663 \cdot \text{ED} - 0.93 \cdot \text{MAT} + 2.28 \cdot \text{MG} - 1.33 \cdot \text{CB} + 0.76 \cdot \text{Amidon}$ (NOBLET et al, 1989).

parois végétales est inférieure à celle de l'ensemble des régimes, le CUD du NDF (46%, en moyenne) étant supérieur à celui de l'ADF (40%) ou de la cellulose brute (37%). Les valeurs obtenues sont peu variables, la plus élevée étant observée dans le régime R8 qui contient des graines de légumineuses (Pois et Tourteau de soja) en quantité importante. La digestibilité apparente des matières grasses est très variable (25 à 70%). Toutefois, dans les régimes contenant des graisses (R1 à R6, R15 et R17), les valeurs sont très comparables (en moyenne 65%). Les digestibilités de l'amidon et des sucres totaux, non mesurés dans l'étude, ont été estimées à 100%.

Le rapport EM/ED pour les régimes a une variabilité réduite. Les valeurs les plus faibles (94.3 pour R16) correspondent aux régimes particulièrement riches en matières azotées. Inversement, les valeurs élevées (96.8 pour R15) sont mesurées dans les régimes à faible teneur en protéines. Le rendement d'utilisation de l'EM en EN, estimé par le rapport EN/EM (tableau 3), varie de 71 à 80%; comme pour le rapport EM/ED, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les régimes pauvres en protéines (et inversement). De plus, dans les régimes à teneurs élevées en matières grasses, le rendement EN/EM est plus élevé (74,7 en moyenne pour R1 à R6, R15 et R17). Il en résulte que les teneurs en ED, EM et EN varient, respectivement, de 3160 à 3740, 2980 à 3600 et 2130 à 2800 kcal par kg de matière sèche.

2.2. Matières premières

Les teneurs en éléments digestibles des 13 matières premières ainsi que leurs valeurs énergétiques sont rapportées dans le tableau 4. Les coefficients de digestibilité apparente de différents éléments nutritifs de chacune d'entre elles peuvent être obtenus à partir de la combinaison des données des tableaux 1 et 4. Les valeurs du CUD de l'énergie sont les plus élevées (90%) avec les tubercules (manioc, patate douce), celles relatives aux céréales, au tourteau de soja et au pois étant légèrement inférieures (82 à 89%). Les sous-produits du maïs ainsi que le tourteau de tournesol ont une digestibilité de

l'énergie voisine de 50%. La mélasse et les graisses animales (76%) et le tourteau de colza (67%) occupent une position intermédiaire.

Ces différences dans la digestibilité de l'énergie des matières premières sont associées à des valeurs comparables de la digestibilité des matières azotées totales mais, surtout, à des teneurs très différentes en parois végétales, celles-ci ayant une digestibilité également variable. Ainsi, les fractions NDF du pois ou du tourteau de soja ont un CUD de 81 et 87% respectivement. A l'inverse, les CUD du NDF ou de la cellulose brute dans le tourteau de tournesol sont estimés, respectivement à 22 et 25%.

La signification des coefficients de digestibilité pour les matières grasses est limitée dans le cas des matières premières qui en contiennent peu. Le résultat le plus important concerne les graisses animales dont le CUD des matières grasses est estimé à 76%.

Contrairement aux régimes, le rapport EM/ED des matières premières est relativement variable puisque des valeurs de 98 à 100% sont mesurées sur les céréales, le manioc ou les graisses animales alors que pour les sources de protéines ou les sous-produits du maïs, ce rapport est de 90 à 93%. La valeur la plus faible est obtenue pour la mélasse (86%). Quant au rapport EN/EM, il est également très variable, à savoir 50 à 60% pour les tourteaux, 75 à 80% pour les céréales, 83% pour les tubercules et pratiquement 100% pour les graisses.

Il résulte de ces variations des rapports EM/ED et EN/EM entre matières premières que leur hiérarchie est dépendante du mode d'évaluation de l'énergie (valeurs relativement au blé, tableau 4). Si la teneur en EN est prise comme référence, le système ED surestime la valeur énergétique des sources de protéines et/ou, dans une moindre mesure, les sources de fibres et sous-estime celle des sources d'amidon et surtout de matières grasses. Le passage du système ED au système EM minimise les différences de hiérarchie avec le système EM pour les sources de protéines.

TABLEAU 4
ELÉMENTS DIGESTIBLES ET VALEURS ÉNERGÉTIQUES DES MATIÈRES PREMIÈRES
(voir signification des sigles en bas de tableau 1 ; D : digestible)

	MOD	MAD	CBD	NDF	ADF	MGD	Amidon	Sucres	EN	AD	CUDE	EM/ED	EN/EM	EDi/ED(1)	ED(1)	EM	EN
Matière première																	
Blé	875	122	9	27	8	8	674	31	736	87,5	97,7	76,8	98	3865(100)	3778(100)	2902(100)	
Orge	828	80	12	76	10	5	611	37	731	82,1	97,8	78,0	91	3607(93)	3528(93)	2751(95)	
Maïs	850	74	4	51	12	27	710	18	745	83,1	96,7	81,3	94	3778(98)	3653(97)	2969(102)	
Manioc	916	27	12	40	17	2	805	49	875	92,1	98,3	82,8	85	3786(98)	3724(99)	3085(106)	
Patate	890	23	11	40	17	3	731	73	853	89,3	95,9	83,8	85	3646(94)	3496(93)	2932(101)	
T.soja	767	423	56	109	58	5	68	86	283	82,3	93,5	52,5	67	3907(101)	3652(97)	1917(66)	
T.tourn.	441	217	37	88	51	8	36	63	179	48,7	88,9	59,5	62	2226(58)	1980(52)	1177(41)	
T.colza	630	273	45	125	76	7	48	116	305	66,5	90,8	57,9	62	3115(81)	2827(75)	1637(56)	
Pois	870	214	34	92	42	3	520	56	619	87,3	96,6	70,5	81	3877(100)	3746(99)	2640(91)	
Corn dist.	541	158	19	143	45	19	113	15	345	56,8	93,5	68,5	81	2757(71)	2578(68)	1767(61)	
Corn glut.	437	118	44	193	60	30	121	11	245	44,6	89,5	83,0	99	2080(54)	1862(49)	1546(53)	
Mélasse	707	35	-	-	-	-	-	647	672	77,1	86,2	65,4	115	2722(70)	2345(62)	1533(53)	
Graisses	760	-	-	-	-	760	-	-	-	75,6	99,2	99,1	100	7129(184)	7072(187)	7007(241)	

(1)EDi : ED au niveau iléal ; Entre parenthèses:valeurs énergétiques en % du blé.

3. DISCUSSION

3.1. Teneurs en ED et éléments digestibles des régimes et des matières premières

Le calcul de la teneur en ED des régimes à partir des données des tables pour les matières premières (tableau 1) met en évidence une surestimation de l'ordre de 155 kcal de la teneur en ED mesurée sur les régimes (tableau 3). Toutefois, cette surestimation n'est pas constante puisqu'elle est nulle pour le régime R14 et faible pour R1, essentiellement à base de céréales, et très importante pour R4 (280 kcal par kg de matière sèche) et, dans une moindre mesure, R16 qui sont relativement riches en fibres. En fait, l'analyse des écarts entre les valeurs calculées et mesurées pour les régimes permet de conclure à une surestimation du tourteau de tournesol, du corn distillers et du corn gluten feed, ou, sous une autre forme, de la teneur en NDF. Ainsi, Ecart1, qui correspond à la différence ED tables - ED mesurée (tableau 3), évolue selon la relation suivante :

$$\text{Ecart1} = 1,73 \times \text{NDF} - 0,26 \times \text{Amidon} \quad (\text{ETR} = 53).$$

En d'autres termes, l'application des valeurs rapportées dans les tables conduit à surestimer la teneur en ED des régimes complexes riches en parois végétales. Inversement, l'application d'équations de prédiction de la valeur ED à partir des critères de composition chimique (Pérez et al., 1984 ; Noblet et al., 1989) permet d'estimer plus précisément la teneur vraie en ED de ce type de régimes (voir ED4, tableau 3). Cette surestimation observée sur les régimes résulte en fait d'une estimation trop élevée de la valeur énergétique de quelques matières premières. La comparaison des valeurs des tables (tableau 1) et des valeurs mesurées (tableau 4) fait ainsi apparaître qu'en plus des matières premières qui contribuent significativement à Ecart 1 (tourteau de tournesol, corn distillers et corn gluten feed), les teneurs en ED de la mélasse et des graisses animales sont surévaluées. Une même conclusion est tirée de la comparaison des coefficients de digestibilité des éléments nutritifs du fractionnement de Weende mesurés dans notre étude et ceux rapportés par les tables « hollandaises » (CVB, 1983) (tableau 5). Ainsi, les digestibilités des sous-produits du maïs, de la mélasse de canne et des graisses animales y sont surestimées. Il en serait de même de la digestibilité fécale apparente des matières azotées des principales sources de protéines (tourteaux de soja et de tournesol, pois).

Les différences essentielles entre nos conditions de mesure et celles qui ont généralement été utilisées lors de l'établissement des valeurs rapportées dans les tables portent sur la constitution des régimes (complexes vs simplifiés) et le niveau alimentaire (à volonté vs rationné). En l'absence d'une comparaison directe de ces deux méthodologies, il est évident que l'approche utilisée dans la présente étude conduit à des phénomènes d'interaction digestive, une accélération du transit digestif et une réduction concomitante de la dégradation des composants de l'aliment qui affecte prioritairement les fractions les moins digestibles (parois végétales). Le CUD des matières grasses apportées par les graisses animales est très inférieur aux valeurs données dans la plupart des tables. Mais le résultat obtenu est en accord avec ceux de Van der Honing et al. (1984), Noblet et al. (1989) et Bourdon (communication personnelle). En dehors de l'effet de la nature ou de l'origine des matières grasses sur leur digestibilité (Wiseman, 1984), il semble clair que la digestibilité des matières grasses généralement utilisées dans l'alimentation du porc (mélange de matières grasses) est voisine de 80%.

La faible valeur du CUD de l'énergie de la mélasse de canne est également surprenante. Toutefois, les résultats obtenus avec cette matière première illustrent clairement les phénomènes d'interaction digestive. Ainsi, la digestibilité iléale (88%) de l'énergie de la mélasse est comparable aux valeurs de digestibilité fécale des tables (tableau 4), mais supérieure au CUD de l'énergie mesuré au niveau fécal (77%). Un tel résultat suggère que la mélasse, tout en étant bien dégradée avant la fin de l'intestin grêle, réduit la digestion des autres matières premières du régime - probablement par l'intermédiaire d'une accélération du transit digestif - avec, comme conséquence, une moindre digestibilité de la mélasse elle-même et des autres matières premières qui sont dégradées de façon non négligeable dans le gros intestin (à savoir celles qui sont riches en parois végétales).

La participation de l'intestin grêle à la digestibilité totale de l'énergie est très variable selon les matières premières. En dehors du cas particulier de la mélasse considéré ci-dessus, la quasi-totalité de l'énergie des graisses et une large proportion de l'énergie des céréales (plus de 90%) ainsi que des tubercules (85%) sont dégradées avant la fin de l'intestin grêle. Les valeurs les plus faibles de ce rapport (65%) sont obtenues pour les tourteaux de soja, de tournesol et de colza. La valeur très élevée enregistrée avec le corn gluten feed est difficile à

TABLEAU 5
COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS (fractionnement de Weende)
MESURÉS DANS LA PRÉSENTE ÉTUDE (Mesurée) ET DONNÉS PAR LES TABLES HOLLANDAISES (Tables ; CVB, 1983)

Matière première	Matières azotées		Matières grasses		Cellulose brute		ENA	
	Mesurée	Tables	Mesurée	Tables	Mesurée	Tables	Mesurée	Tables
Blé	84	85	48	54	38	37	93	95
Orge	75	80	23	73	26	14	91	90
Maïs	70	78	63	78	18	38	92	94
Manioc	-	-	-	-	-	-	97	98
Patate	-	-	-	-	-	-	96	97
T.soja	82	89	23	34	81	65	91	92
T.tourn.	67	73	53	71	15	16	60	60
T.colza	73	74	33	62	35	24	81	76
Pois	83	88	31	41	72	72	97	97
Corn dist.	56	86	38	65	23	55	66	78
Corn glut.	52	75	55	60	41	40	44	75
Mélasse	-	-	-	-	-	-	77	90
Graisses	-	-	76	90	-	-	-	-

interpréter. On peut toutefois la rapprocher de la valeur également élevée du rapport EN/EM pour cette matière première (tableau 4).

3.2. Teneurs en EN des régimes et des matières premières

Les variations du rapport EN/EM entre les régimes sont en accord avec les variations de la composition du régime, l'augmentation des teneurs en amidon et en matières grasses et la réduction du taux de matières azotées étant associées à une élévation de ce rapport (NOBLET et al., 1989). Mais l'amplitude des variations de ce rapport est encore accentuée pour les matières premières, les valeurs obtenues étant en accord avec la composition en éléments digestibles. Ainsi, les graisses animales, le manioc ou la patate, la mélasse de canne et les tourteaux ont des rendements respectifs de 99, 83, 65 et 52%, valeurs qui correspondent aux rendements obtenus par NOBLET et al. (1989), respectivement pour les matières grasses digestibles (95%), l'amidon (84%) les sucres (67%) et les matières azotées et fibres digestibles (50 à 55%). La technique de la régression multiple appliquée aux matières premières - cette technique étant totalement indépendante de l'approche adoptée par NOBLET et al. (1989) dans l'étude sur 41 régimes - confirme les résultats concernant les rendements d'utilisation de l'EM ou de l'ED des différents éléments digestibles (NOBLET et al., 1989).

Les données du tableau 4 mettent clairement en évidence que le passage du système ED ou EM au système EN se traduit par une classification différente des valeurs énergétiques des matières premières. Ainsi, si la teneur en énergie du blé correspond à la valeur 100, la valeur énergétique relative des sources de protéines et, dans une moindre mesure, celle des sources de fibres et de la mélasse diminue lors du passage du système ED au système EN. Ainsi, le tourteau de soja, qui a une teneur en ED pratiquement équivalente à celle du blé, a une valeur EN correspondant aux 2/3 de celle du blé. A l'inverse, les sources d'amidon (manioc et patate douce) et surtout de matières grasses ont des teneurs relatives en énergie supérieures dans le système EN. En d'autres termes, si la teneur en EN représente la valeur énergétique « vraie », le système ED surestime fortement la teneur en énergie des sources de protéines et/ou de fibres et sous estime celle des matières premières riches en amidon et surtout en matières grasses. Ces différences de hiérarchie ne sont pas surprenantes compte tenu des écarts de rendement d'utilisation de l'ED ou de l'EM entre matières

premières (NOBLET et al., 1989). Elles sont toutefois plus importantes que ce que l'on pouvait prévoir à partir des équations du système NEF (voir ci-dessous la discussion sur les valeurs ENn12 et tableau 6). De tels résultats ne sont pas sans conséquence en formulation au moindre coût puisque l'adoption des valeurs EN ainsi déterminées se traduit, par rapport au système ED, par un abaissement des teneurs en protéines (incorporation moindre de sources de protéines) et une supplémentation en acides aminés industriels, une augmentation des teneurs en matières grasses et une incorporation plus importante de produits riches en amidon (céréales, manioc) (SAUVANT et al., non publié).

L'objectif essentiel de cette étude consistait à tester l'applicabilité des équations proposées par NOBLET et al. (1989) à la prédiction des teneurs en EN des régimes et, surtout des matières premières. Dans ce but, nous avons privilégié 2 équations (EN6 et EN19), l'une basée sur les éléments digestibles du fractionnement de Weende et l'amidon, l'autre sur la teneur en ED et des critères de composition chimique (voir tableau 3). Les données calculées pour les 17 régimes (2430 et 2405 kcal/kg MS, respectivement pour EN6 et EN19) sont comparables à la valeur moyenne mesurée (2407 kcal/kg de MS) (tableau 3), l'écart maximum entre valeurs mesurées et calculées étant de 80 kcal/kg MS. La prédiction est également très satisfaisante pour les matières premières puisque la valeur prédite représente environ 100% de la valeur mesurée, à l'exception toutefois des sous-produits du maïs et, dans une moindre mesure, du tourteau de tournesol (tableau 6, figure 1). Ces équations tendraient par conséquent à sous-estimer la valeur EN des matières premières riches en fibres. En fait, ce résultat met en évidence les limites de la prédiction des teneurs en EN de certaines matières premières. Ainsi, en dehors des imprécisions liées à la technique de la régression multiple pour des matières premières introduites à taux réduit, la précision des coefficients affectés aux fibres digestibles est la plus faible, d'autant que la signification nutritionnelle de celles-ci pour une matière première donnée peut être différente de celle de l'ensemble des régimes utilisés par NOBLET et al. (1989). Le comportement particulier de la mélasse de canne tant avec les équations EN6 et EN19, qu'avec les équations issues du système NEF ou du système de Just (Tableau 6) est en fait dû à sa faible digestibilité ainsi qu'au rendement d'utilisation de l'EM des sucres inférieurs. La prédiction à partir de l'équation EN19 - qui prend en compte la teneur en ED - est par contre satisfaisante.

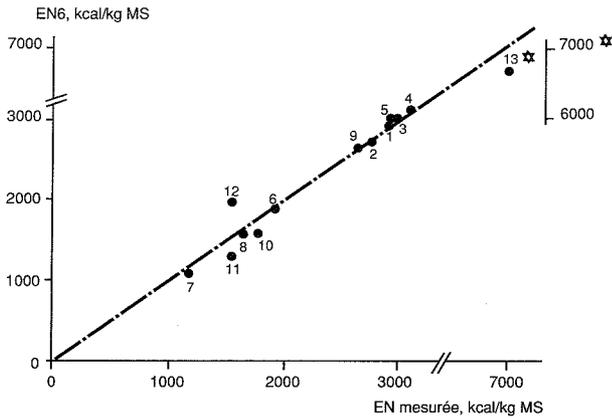
TABLEAU 6
VALEURS ÉNERGÉTIQUES NETTES DES MATIÈRES PREMIÈRES SELON LE MODE DE CALCUL
(voir tableau 3 pour équations ; EN : EN mesurée).

Matière première	EN(1)	ENn12	ENi	ENj	EN6	EN19
Blé	2902(100)	2639(100)	2631(100)	2383(100)	2938(100)	2948(100)
Orge	2751(95)	2471(94)	2421(92)	2196(92)	2722(93)	2746(94)
Maïs	2969(102)	2697(102)	2624(100)	2290(96)	3039(103)	3010(102)
Manioc	3085(106)	2748(104)	2767(105)	2343(98)	3114(106)	3058(104)
Patate	2932(101)	2686(102)	2665(101)	2172(91)	3005(102)	2906(99)
T.soja	1917(66)	2104(80)	2172(83)	2289(96)	1914(65)	2125(72)
T.tourn.	1177(41)	1249(47)	850(32)	1035(43)	1124(38)	891(31)
T.colza	1637(56)	1813(69)	1617(61)	1670(70)	1644(56)	1624(55)
Pois	2640(91)	2539(96)	2586(98)	2359(99)	2678(91)	2688(91)
Corn dist.	1767(61)	1627(62)	1319(50)	1484(62)	1580(54)	1654(56)
Corn glut.	1546(53)	1348(51)	944(36)	947(40)	1272(43)	1237(42)
Mélasse	1533(53)	2243(85)	1898(72)	1309(55)	2097(71)	1761(60)
Graisses	7007(241)	6440(244)	5992(227)	4854(204)	6604(225)	6977(237)

(1) Entre parenthèses, valeur EN en % de la valeur du blé.

FIGURE 1

RELATION ENTRE LA TENEUR EN EN CALCULÉE À PARTIR DE L'ÉQUATION EN6 (voir tableau 3) ET CELLE MESURÉE SUR 13 MATIÈRES PREMIÈRES (voir tableau 1 pour correspondance entre numéros et matières premières).



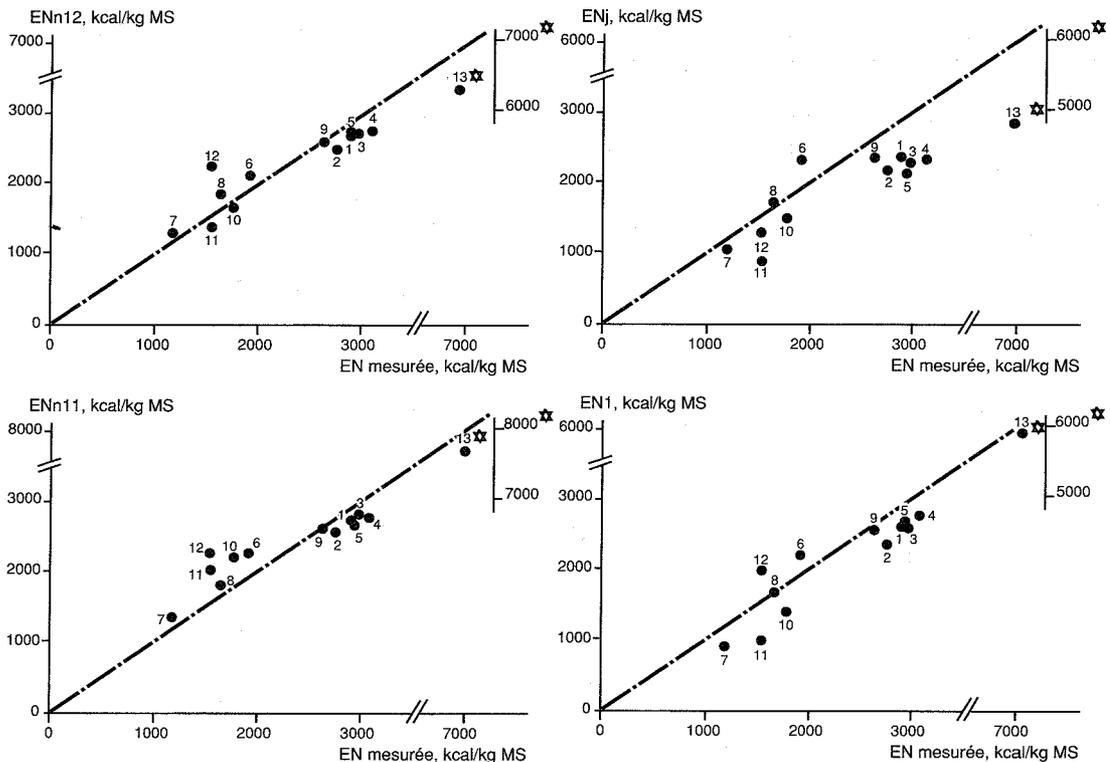
La valeur énergétique des régimes et des matières premières pour le porc est appréciée dans différents systèmes (ED, EM et EN) et, à l'intérieur d'un même système, selon différents modes ou équations. La comparaison des hiérarchies entre matières premières dans les systèmes ED, EM et EN (valeurs mesurées) a été discutée ci-dessus. Dans le cas particulier du système EN, nous comparerons les valeurs énergétiques des régimes et des matières premières calculées selon :

- 1/ l'équation issue des travaux de SCHIEMANN et al. (1972) et utilisée dans les tables hollandaises
- 2/ l'équation de JUST (1975)
- 3/ l'équation de LEROY (1948) (voir légende de tableau 3) aux valeurs mesurées directement sur les régimes ou indirectement (régression multiple) sur les matières premières. Les résultats sont présentés dans les tableaux 3 et 6 et la figure 2.

L'application de l'équation des tables hollandaises (ENn12) aux 17 régimes conduit à une valeur EN légèrement inférieure à la valeur mesurée (2310 vs 2407 kcal/kg MS). Cette différence moyenne résulte en fait d'estimations non comparables de l'énergie nette d'entretien (NOBLET et al. 1989). Toutefois, l'écart entre les deux résultats ne représente pas une proportion constante de la valeur mesurée, les régimes à faible concentration énergétique étant surestimés dans l'estimation ENn12 (tableau 7). Si Ecart2 correspond à la différence entre la valeur mesurée sur le régime et celle calculée à partir de l'équation ENn12, celui-ci s'accroît avec l'augmentation des teneurs en céréales et en patate douce et avec l'abaissement des teneurs en matières azotées digestibles et en sucres (tableau 7). Ces observations sont confirmées par l'étude des matières premières (figure 2) où l'application de l'équation ENn12 conduit à sous estimer la valeur EN des produits riches en amidon (céréales, manioc et patate douce) et, par contre, à surestimer celle des sources de protéines. La combinaison des «erreurs» sur les coefficients de digestibilité (voir ci-dessus) et des biais associés au système «ENn1» accentue encore ces différences de hiérarchie avec les valeurs mesurées (figure 2).

FIGURE 2

RELATION ENTRE LA TENEUR EN E.N. CALCULÉE SELON DIFFÉRENTS MODES DE PRÉDICTION (voir tableau 3 pour équations) ET CELLE MESURÉE SUR 13 MATIÈRES PREMIÈRES (voir tableau 1 pour correspondance entre numéros et matières premières)



TABEAU 7
RELATIONS ENTRE LES VALEURS ÉNERGÉTIQUES CALCULÉES SUR LES 17 RÉGIMES ET LES TENEURS MESURÉES.
ECARTS ENTRE VALEURS MESURÉES ET CALCULÉES EN RELATION AVEC LA COMPOSITION DES RÉGIMES (1).

Equation	ETR
ENnl2=384+0.80*EN Ecart2=213*Blé+265*Orge+194*Mais+302*Patate Ecart2=358-1.19*MAD-1.42*Sucres	39 39 25
ENj=489+0.627*EN Ecart3=526+290*Patate-824*T.soja-510*T.colza-363*Pois+1259*Graisses Ecart3=799-2.48*MAD+1.55*MGD-0.99*Sucres	57 36 24
ENi=0.913*EN Ecart4=336-551*T.soja-396*T.colza-335*Pois Ecart4=449+1.08*MGD-1.79*MAD	58 35 35

(1) Voir texte et tableaux 1 et 3 pour explication des sigles ; Ecart2=EN-ENnl2 ; Ecart3=EN-ENj ; Ecart4=EN-ENi.

La même démarche appliquée à l'estimation de l'EN (ENj) selon l'équation de JUST (1975) confirme les limites importantes de ce système, surtout lorsqu'il est appliqué aux matières premières (tableaux 6 et 7 et figure 2). La différence entre les valeurs EN mesurée et ENj est également à associer à des estimations non comparables de l'énergie nette d'entretien. Mais cette différence s'accroît avec l'augmentation de la teneur en graisses ou en matières grasses digestibles ou en patate douce et diminue avec l'élévation des teneurs en sources de protéines (tableau 7). En d'autres termes, ce système conduit à pénaliser les sources d'amidon (céréales) et de matières grasses au profit des sources de protéines. En fait, cette situation n'est pas surprenante dans la mesure où l'équation de JUST (1975) attribue un rendement d'utilisation de l'EM peu variable avec sa composition.

La valeur EN des régimes calculée à partir de l'équation de LEROY (1948) (ENi) équivaut en moyenne à 91% de la valeur mesurée (tableau 3), cette proportion étant identique pour tous les régimes puisque l'équation ENi en fonction de EN mesurée a une ordonnée à l'origine non significativement différente de zéro (tableau 7). Bien que non spécifiquement prévue pour le porc, le système de LEROY (1948) conduit donc à une estimation de la valeur EN au moins équivalente à celle des systèmes de Schiemann et al. (1972) ou JUST (1975). Toutefois, l'analyse des écarts entre la valeur EN mesurée et ENi fait apparaître une surestimation relative de la valeur des protéines et une sous-estimation de celle des matières grasses (tableau 7). Ces biais sont confirmés par les résultats sur les matières premières (tableau 6, figure 2).

En conclusion, cette étude met clairement en évidence l'intérêt d'estimer la valeur énergétique des aliments du porc dans un système basé sur l'énergie nette. Par ailleurs, nos résultats indiquent que les teneurs en ED ou en éléments digestibles rapportés dans les tables pour les sous-produits du maïs, la mélasse de canne, les graisses animales et, dans une moindre mesure, certains tourteaux sont surestimées lorsque ces matières premières sont utilisées dans des régimes complexes. La comparaison des valeurs EN mesurées à celles pouvant être calculées selon différentes équations confirme la fiabilité des équations proposées par l'INRA ; elle remet par contre en cause les estimations obtenues à l'aide des équations de SCHIEMANN et al. (1972), LEROY (1948) et surtout de JUST (1975). L'essentiel de l'amélioration apportée par les équations proposées par NOBLET et al. (1989) est associé à la prise en compte de la teneur en amidon. Des études similaires sur d'autres matières premières sont nécessaires à l'établissement de tables de teneurs en EN des aliments du porc en croissance. Leur extrapolation au cas de la truie, notamment en gestation, est à vérifier.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Groupement pour l'Encouragement à la Recherche en Nutrition Animale (GERNA), le Ministère de l'Agriculture et la Région Bretagne pour leur participation financière à cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRETTE C., DUQUENNE C., HENRY Y., JACQUOT L., PALISSE-ROUSSEL M., PÉREZ J.M., SAUVANT D., THEILLAUD Véronique, 1986. Journées Rech. Porcine en France, 18, 91-102.
- C.V.B. (Central Veevoederbureau), 1983. Veevoedertal. Nederland.
- HENRY Y., PEREZ J.M., 1982. Les Dossiers de l'Élevage, 5, 51-66.
- INRA, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. INRA éd., Paris, 282 p.
- LEROY A.M., 1948. Alimentation Agriculture. Bulletin Européen de la F.A.O., n°4.
- JUST NIELSEN A., 1975. World Rev. Anim. Prod. 11, 18-30.
- NOBLET J., FORTUNE H., DUBOIS S., HENRY Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA éd., Paris, 106 p.
- PEREZ J.M., RAMIHONE R., HENRY Y., 1984. Prédiction de la valeur énergétique des aliments composés destinés au porc : étude expérimentale. INRA éd., Paris, 95 p.
- SCHIEMANN R., NEHRING K., HOFFMANN L., JENTSCH W., CHUDY A., 1972. Energetische Futterbeurteilung und Energienormen. VEB. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- VAN DER HONING Y., JONGBLOED A.W., WIEMAN B.J., VAN ES A.J.H., 1984. IVVO Report n° 164, Lelystad.
- WISEMAN J., 1984. In «Fats in animal nutrition», 277-298. Butterworths Ed., London.