1994. JOURNÉES RECH. PORCINE EN FRANCE, **26**, 259 - 266.

PRÉDICTION DE LA DIGESTIBILITÉ ILÉALE DES ACIDES AMINÉS CHEZ LE PORC

Le cas des issues de blé

B. SÈVE, G. MARISCAL-LANDIN, C. FÉVRIER, Y. LECHEVESTRIER

Institut National de la Recherche Agronomique, Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles

avec la collaboration de Y. LEBRETON pour la chirurgie et de J.P. PRIGENT pour les soins aux animaux

La digestibilité iléale des acides aminés a été mesurée dans trois expériences portant en tout sur 11 issues de blé à teneur variable en constituants membranaires de Van Soest par la technique de l'anastomose iléo-rectale termino-terminale. On propose une modèle linéaire de prédiction de la digestibilité apparente (CUDa) dont l'intercept représente la digestibilité vraie extrapolée à teneur en constituants membranaires nulle. Le modèle comprend également un terme assimilable à la perte endogène non influencée par les parois végétales et une série de termes indépendants caractérisant l'indigestible, alimentaire ou endogène, résultant de la présence des constituants membranaires de Van Soest. Parmi ceux-ci, la teneur en ADF exprimée par g d'acide aminé et la proportion de l'azote ou de l'acide aminé total associée au résidu NDF apportent le plus souvent des contributions significatives et indépendantes à la prédiction. Pour l'instant, ce modèle permet une estimation réaliste et précise de la digestibilité iléale de la thréonine et d'autres acides aminés non essentiels abondants dans les sécrétions endogènes. Toutefois, pour d'autres acides aminés, notamment la lysine, le modèle ne peut être validé probablement en raison de confusions entre les variables caractérisant les régimes, nécessaires à la mise en évidence du terme «endogène», et un certain nombre de variables mesurées (fibres) ou non (solubilité des protéines ?) affectant l'utilisation digestive vraie. En attendant plus d'information, on propose des équations de prédiction de la digestibilité vraie (CUDv) «standardisée», selon le même modèle amputé du terme «endogène», une fraction endogène «standard» étant déjà déduite de l'indigestible lors du calcul de ce coefficient.

Prediction of amino acid ileal digestibility in wheat meal by-products.

Amino acid ileal digestibility was measured in three experiments involving 11 wheat meal by-products, displaying a range of fibre contents estimated by Van Soest cell-wall components contents, on pigs surgically modified with end-to-end ileorectal anastomosis. A linear model predicting apparent digestibility could be derived from these data, where the intercept provided an estimate of true digestibility at zero fibre content. The model also provided an estimate of the endogenous loss unrelated to fibre and a series of terms describing the undigestible fraction associated with cell-wall components. Among those, the ADF expressed per g amino acid and the proportion of total nitrogen or amino acid associated to NDF most often gave independent and significant contributions to the predictive equations. Because , as other nonessential amino acids, it is an important part of the endogenous loss, the model provided a realistic estimate of threonine digestibility. However, for other amino acids, namely lysine, the model could not be validated, probably because diet-related variables used to estimate the endogenous fraction were partly confounded with feedstuff-related variables affecting true digestibility (fibre or protein solubility ?). At the moment, it is proposed to use similar equations predicting «standardised» true ileal digestibility without an «endogenous» term because a standard endogenous fraction was already discarded in the calculation of this value.

INTRODUCTION

Les issues de blé sont des aliments traditionnels du porc en France, 15 à 20 % de toutes les matières premières utilisées. La lysine et la thréonine, premier et second acide aminé limitant du blé et de ses dérivés, sont également parmi les moins digestibles (SAUER et al. 1977, TAVERNER et al. 1981a; LIN et al. 1987; SEVE et al. 1993a). De plus, les issues étant plus riches en protéines que le blé lui-même, il est important de connaître aussi la digestibilité des autres acides aminés notamment celle des soufrés et du tryptophane. Les classifications habituelles des issues en farine basse, remoulages, blanc et bis et sons fin ou grossier correspondent à la variation des teneurs en cellulose brute. Il est maintenant reconnu que le dosage des constituants membranaires de Van Soest (NDF = neutral detergent fibre, ADF = acid detergent fibre or ADL = acid detergent lignin), relativement simple à mettre en oeuvre, permet une approche plus spécifique que la cellulose Weende du contenu alimentaire en polysaccharides non amylacés responsable de la faible digestibilité de l'énergie et des protéines (TAVERNER et al. 1981b). La présente contribution vise à évaluer la fiabilité de ces constituants membranaires en tant que prédicteurs de la digestibilité iléale apparente ou vraie des acides aminés d'issues de blé. Les données utilisées portent sur 11 sous-produits testés dans trois expériences différentes réalisées selon des protocoles expérimentaux comparables (MARISCAL-LANDIN 1992; LECHEVESTRIER 1992). On propose d'abord de modéliser la digestibilité apparente en tentant d'identifier un indigestible résiduel d'origine endogène indépendant des protéines ou des constituants membranaires ingérés. L'intérêt de ce modèle est surtout d'approcher de manière plus spécifique l'effet propre des facteurs de variation étudiés, en l'occurrence les polysaccharides non amylacés. Les prédictions sont également effectuées pour la digestibilité iléale vraie calculée en retranchant de l'indigestible total la quantité d'acides aminés excrétée après l'ingestion d'une même quantité d'un régime protéiprive (MARISCAL-LANDIN et al. 1990).

Tableau 1 - Teneurs en constituants membranaires de Van Soest et en azote des différentes issues de blé testées et niveaux d'incorporation dans les régimes (g sec/kg de matière sèche).

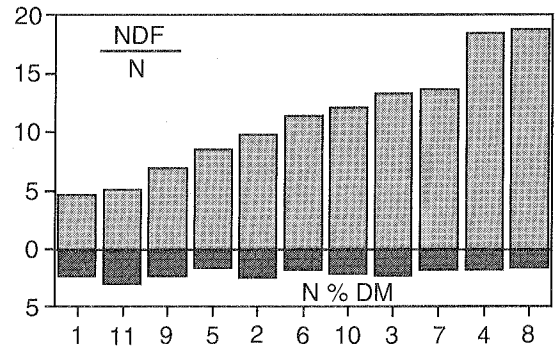
1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux, schémas expérimentaux et analyses de laboratoire

Les mesures de digestibilité iléale portent sur des porcs de 30 à 60 kg de poids vif porteurs d'anastomose iléorectale termino-terminale entraînant un isolement complet du gros intestin (LAPLACE et al. 1989). En bref, les expériences sont réalisées en carré latin, chaque animal recevant successivement 4 ou 5 régimes au cours de périodes de 7 ou de 14 jours. Les porcs sont alimentés deux fois par jour et reçoivent quotidiennement une quantité constante d'énergie soit environ 70 % de l'ingéré spontané habituel (1,2 MJ/kg$^{0.75}$ ED/j). Après une période d'adaptation de 11 (expérience 1) ou 4 jours (expériences 2 et 3), les effluents iléaux sont collectés deux fois par jour dans 500 mL H_2SO_4, 1,5 M, pendant 3 jours. Les analyses d'acides aminés sont effectuées sur les régimes et les digesta iléaux lyophilisés par chromatographie d'échange d'ions sur analyseur Biotronik LC 5001 (Biotronik, Pusheim, RFA). Les dosages de constituants membranaires comprennent un traitement amylolytique et sont effectués séquentiellement dans toutes les matières premières et les régimes selon VAN SOEST et WINE (1967) pour le NDF et VAN SOEST (1963) pour l'ADF et l'ADL.

1.2. Composition des matières premières et constitution des régimes

Figure 1 - Variations confrontées du contenu azoté (% de matière sèche) et du rapport NDF/N (g/g) dans les 11 issues de blé étudiées (voir les numéros des produits aux tableaux 1 ou 2.)



Exp.	Issue de blé		NDF	ADF	ADL	N	Quantité
	n° (1)	nom (2)					g/kg derégime
1	1	Fbas1	103,9	29,2	8,9	24,1	888,2
1	2	Rembl1	247,6	75,2	24,6	26,0	883,9
1	3	Rembi1	364,8	109,7	33,0	27,9	758,8
1	4	Son1	474,3	138,5	42,5	26,1	591,2
2	5	Fbas2	217,4	58,8	19,5	26,0	531,6
2	6	Rembl2	310,4	84,8	27,4	28,1	529,5
2	7	Son3	380,6	120,1	37,5	28,5	537,0
2	7	Son2	487,9	166,4	45,0	26,2	532,0
3	9	Rembl3	236,7	54,2	14,2	29,5	741,8
3	10	Rembi2	369,4	90,2	26,2	27,9	715,3
3	11	Germbl	197,4	48,7	14,1	42,5	692,9

(1) Numéro de la matière première.

(2) Fbas = farine basse; Rembl = remoulage blanc; Rembi = remoulage bis; Son = son fin; Germbl = germe de blé.

Les teneurs en constituants membranaires sont exprimées en % de la matière sèche (tableau 1) ou en g/g d'azote ou d'acide aminé. Les produits testés dans chaque expérience sont choisis pour disposer en définitive de la gamme la plus large possible de teneur en polysaccharides non amylacés (figure 1). Ils ont été également caractérisés par le contenu azoté des résidus NDF de Van Soest (N.NDF), exprimé en % du contenu azoté total de la matière première, conformément à la proposition de HALL et al. (1988) (figure 2). Dans deux expériences (8 produits en tout, les contenus en acides aminés des résidus NDF ont été également déterminés (MARISCAL-LANDIN, 1992) (AA.NDF) et exprimés en % de l'acide aminé total du produit. la composition en acides aminés essentiels et semi-essentiels des issues de blé testées figure au tableau 2. Chaque produit est utilisé comme seule source de protéines du régime à des niveaux variant entre 53 et 89 % de la matière sèche totale (tableau 1), en présence d'amidon de maïs et d'un mélange minéral et vitaminique adapté aux porcs privés de gros intestin fonctionnel.

Figure 2 - Variation confrontées du pourcentage de l'azote total (N.NDF) et du pourcentage de la lysine totale (Lys. NDF) combinés au NDFde Van Soest dans les 11 issues de blé étudiées.

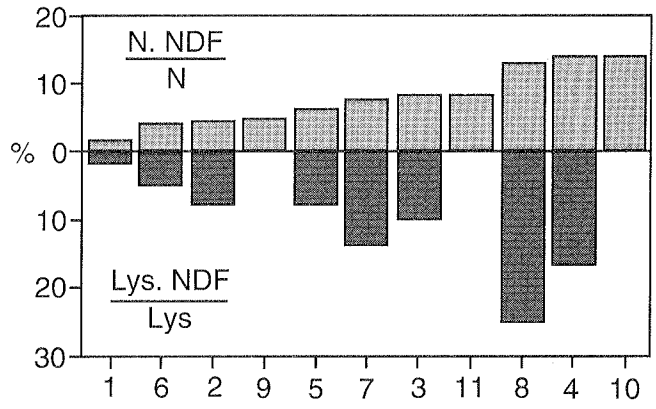


Tableau 2 - Composition en acides aminés essentiels et semi-essentiels des différentes issues de blé testées.

Exp.	Issue de blé		LYS	THR	MET	CYS	TRY	VAL	ILE	LEU	PHE	TYR	HIS	ARG
	n° (1)	nom (2)												
1	1	Fbas1	5,1	4,6	0,89	2,41	1,61	5,4	4,9	10,2	7,0	3,4	3,5	9,3
1	2	Rembl1	6,6	5,3	2,46	2,60	1,81	7,7	5,3	10,5	6,7	3,5	4,0	10,6
1	3	Rembi1	7,8	5,9	3,30	2,79	2,00	6,7	5,5	11,0	6,8	3,6	4,0	13,0
1	4	Son1	6,9	5,4	4,25	2,61	2,26	7,1	4,8	10,1	6,1	3,4	4,3	11,0
2	5	Fbas2	6,1	5,2	1,95	2,60	2,08	7,2	5,1	10,3	7,2	5,0	5,0	11,5
2	6	Rembl2	7,5	5,9	2,74	2,81	2,30	8,0	5,4	11,1	7,1	4,9	5,0	14,4
2	7	Son3	6,5	5,6	3,75	2,85	2,62	8,1	5,5	10,2	7,8	4,9	5,2	13,5
2	7	Son2	6,0	5,4	4,50	2,62	2,62	6,8	4,7	10,2	6,8	4,8	4,7	12,9
3	9	Rembl3	7,7	6,1	1,42	2,95	2,10	8,6	5,9	11,2	6,9	4,8	3,9	12,4
3	10	Rembi2	9,5	5,5	2,62	2,79	1,87	8,1	5,5	10,5	6,6	4,7	3,8	11,6
3	11	Germbl	13,6	9,0	1,41	4,25	2,74	12,1	7,9	14,9	8,7	7,1	4,8	19,1

(1) Numéro de la matière première.
(2) Fbas = farine basse; Rembl = remoulage blanc; Rembi = remoulage bis; Son = son fin; Germbl = germe de blé.

1.3. Calculs et statistiques

Les digestibilités apparentes de l'azote et des acides aminés (CUDa) sont calculées comme à l'accoutumée en pourcentage des ingérés respectifs. Le calcul de la digestibilité vraie standardisée est effectué de la même façon après déduction d'une fraction endogène constante par kg de matière sèche ingérée, précédemment déterminée chez des porcs recevant un régime protéiprive (MARISCAL-LANDIN et al. 1990). Dans chaque expérience, les régimes sont comparés par analyse de variance selon la procédure GLM de SAS (SAS 1989). Les calculs de régression multiples sont effectués selon la procédure REG du même logiciel, l'entrée de toute nouvelle variable dans le modèle étant accompagnée d'un contrôle de la signification et de l'élimination éventuelle des variables précédemment sélectionnées (mode «stepwise»).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Différences entre les produits étudiés.

Dans chacune des expériences, la logique de la réduction de digestibilité avec l'augmentation du taux de constituants membranaires, de la farine basse aux remoulages puis au son, est respectée (tableau 3). Par ailleurs ces résultats montrent que la digestibilité apparente de la thréonine est notablement plus faible que celle de la lysine et de l'azote. Ces différences sont réduites par le calcul de la digestibilité vraie (tableau 4) car elles s'expliquent en grande partie par la richesse relative des pertes azotées endogènes en thréonine, en accord avec de nombreux auteurs (PICARD et al. 1984; WÜNSCHE et al. 1987; MARISCAL-LANDIN et al. 1990). La digestibilité, apparente ou vraie, de la lysine de la farine basse de blé est plus élevée que celle trouvée précédemment sur le blé lui-même, en accord avec RHONE-POULENC ANIMAL NUTRITION (1989), et surtout le gluten de blé (SÈVE et al. 1993a). Ce résultat suggère que le blutage sélectionne une protéine dont la lysine est plus facilement libérée par les enzymes digestives que celle du gluten, bien que l'accroissement du contenu fibreux réduise sa digestibilité.

2.2. Prédiction de la digestibilité apparente

2.2.1. Modèle

On peut proposer le modèle linéaire suivant de calcul des acides aminés digestibles apportés quotidiennement par la

Tableau 3 - Coefficients d'utilisation digestive iléale apparente (CUDa) des acides aminés essentiels et semi-essentiels dans les régimes utilisés pour l'étude des 11 issues de blé.

Exp.	CUDa / Issue de blé (1)	N	LYS	THR	MET	CYS	TRY	VAL	ILE	LEU	PHE	TYR	HIS	ARG
1	Fbas1	82,97	80,97	77,24	86,38	85,61	91,90	81,13	86,16	88,09	90,07	88,74	87,75	92,77
1	Rembl1	75,88	74,97	71,12	80,26	77,10	80,00	80,18	80,38	81,68	84,57	82,52	83,47	88,01
1	Rembi1	67,36	70,51	66,76	78,06	72,90	78,80	65,40	73,59	75,83	76,95	74,53	77,47	83,56
1	Son1	59,93	63,69	54,48	70,63	67,70	68,70	67,65	67,78	68,87	70,51	69,32	70,83	77,45
	ETM (2)	2,00	1,70	2,30	1,04	0,60	1,06	2,25	1,45	1,16	1,78	1,89	1,67	0,99
2	Fbas2	78,53	79,84	66,98	83,54	76,88	77,11	80,32	81,48	83,51	85,59	85,02	85,46	88,42
2	Rembl2	76,58	80,87	69,46	83,11	74,10	77,73	79,98	79,87	82,45	84,54	83,38	83,14	88,82
2	Son3	68,31	67,23	57,46	72,24	67,20	72,50	71,19	72,16	71,88	78,94	75,87	77,82	83,39
2	Son2	59,25	52,94	48,82	65,59	66,26	69,95	60,65	61,28	66,56	70,54	68,44	72,94	80,87
	ETM (2)	2,60	4,10	3,20	3,00	2,50	2,30	2,70	3,00	2,60	2,17	2,90	1,69	1,21
3	Rembl3	81,81	82,90	74,88	87,01	80,44	82,36	83,39	83,65	85,88	87,77	86,18	87,41	91,39
3	Rembi2	69,67	70,81	62,18	79,53	72,98	70,57	70,10	73,79	75,80	77,77	78,15	80,21	80,87
3	Germbl	80,46	86,31	76,49	87,67	76,32	80,41	81,33	83,01	84,11	84,81	86,27	85,41	91,11
	ETM (2)	0,90	1,20	1,20	1,00	1,16	1,40	0,93	0,93	0,74	1,28	0,68	1,00	1,57

(1) Fbas = farine basse; Rembl = remoulage blanc; Rembi = remoulage bis; Son = son fin; Germbl = germe de blé.
(2) Écart-type de la moyenne dans l'expérience correspondante.

Tableau 4 - Coefficients d'utilisation digestive iléale vraie (CUDv) standardisée des acides aminés essentiels et semi-essentiels dans les 11 issues de blé étudiées.

Exp.	CUDv / Issue de blé (1)	N	LYS	THR	MET	CYS	TRY	VAL	ILE	LEU	PHE	TYR	HIS	ARG
1	Fbas1	91,52	88,43	91,10	89,45	90,92	103,09	89,44	92,73	93,65	94,36	93,29	93,24	97,04
1	Rembl1	83,83	80,73	83,36	83,37	82,29	90,00	86,04	86,41	87,08	89,10	86,99	88,28	91,78
1	Rembi1	75,90	76,22	79,47	81,25	78,36	89,33	73,25	80,44	81,86	82,13	79,61	83,09	87,16
1	Son1	71,78	71,96	72,48	75,28	75,50	80,64	77,15	77,75	77,32	77,88	76,21	77,58	82,87
	ETM (2)	2,00	1,70	2,30	1,10	0,60	1,06	2,25	1,45	1,16	1,78	1,89	1,67	0,99
2	Fbas2	91,73	91,59	90,26	89,52	85,99	91,27	92,04	93,41	93,79	93,49	90,86	92,72	94,91
2	Rembl2	88,87	90,30	90,02	88,58	83,06	89,16	90,46	91,06	91,98	92,52	89,28	90,38	93,97
2	Son3	80,27	78,06	78,92	78,44	75,71	83,61	81,43	83,05	82,14	86,14	81,75	84,68	88,86
2	Son2	72,36	64,76	71,34	71,68	75,06	80,27	72,94	74,11	76,92	78,86	74,43	80,59	86,62
	ETM (2)	2,60	4,10	3,20	3,00	2,50	2,30	2,73	3,00	2,60	2,17	2,90	1,69	1,21
3	Rembl3	90,60	89,43	88,64	90,37	86,68	92,55	89,60	90,28	91,92	92,95	89,99	93,27	95,22
3	Rembi2	78,21	78,12	77,10	83,07	79,83	82,43	76,89	81,16	82,47	83,43	82,20	86,54	85,10
3	Germbl	86,90	89,97	85,89	89,87	81,80	88,79	86,04	88,28	88,97	89,22	89,04	90,47	93,77
	ETM (2)	0,70	1,20	1,20	1,00	1,16	1,40	0,93	0,93	0,74	1,28	0,68	1,00	1,57

(1) Fbas = farine basse; Rembl = remoulage blanc; Rembi = remoulage bis; Son = son fin; Germbl = germe de blé.
(2) Écart-type de la moyenne dans l'expérience correspondante.

ration (AAD) :

$AAD = a \times AAI + b \times MSI + \Sigma(c_i \times CMI_i)$

où AAI, MSI et CMI_i représentent les quantités absolues journalières d'acide aminé de matière sèche et de constituant membranaire i respectivement ingérées. Le terme en MSI se justifie par la présence dans l'indigestible apparent de la fraction endogène que l'on suppose proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée. Sous réserve d'une indépendance suffisante des variations de AAI, MSI et CMI_i et de la signification statistique de chaque terme après tous les autres, testée par le calcul de régression en mode «stepwise», une interprétation biologique de chaque coefficient peut être avancée. Le coefficient a estime une digestibilité «vraie» de l'acide aminé alimentaire ne dépendant a priori que des caractéristiques de la protéine, puisqu'indépendante de la quantité d'aliment ingérée et de sa teneur en constituants membranaires. Le coefficient b est un estimateur de la perte endogène liée aux caractéristiques de la matière sèche et indépendante de la nature de la protéine et de l'apport conjoint de parois végétales. *Les coefficients c_i estiment une perte d'acide aminé, directement associée à l'apport des différents constituants membranaires, qui peut être aussi bien d'origine endogène qu'alimentaire.*

En divisant membre à membre par MSI, on obtient un modèle d'estimation du contenu en acide aminé digestible par kg de matière sèche d'aliment (AADms) tel qu'il figure dans les tables d'alimentation (RHÔNE-POULENC ANIMAL NUTRITION 1989) :

$AADms = a \times AAms + b + \Sigma(c_i \times CMms_i)$

où AAms et $CMms_i$ sont respectivement les teneurs en acide aminé et en constituants membranaires par kg de matière sèche.

En ce qui concerne l'effet des parois végétales, ce modèle est comparable à celui proposé précédemment pour l'estimation de l'énergie digestible (NOBLET et al., 1989). En effet, selon ces auteurs, l'énergie digestible par kg de matière sèche d'un aliment augmente linéairement avec la teneur en éléments énergétiques bruts (matières azotées et matière grasse) et diminue linéairement avec les teneurs en éléments minéraux ou en constituants membranaires végétaux, chacun de ces éléments étant également exprimé par kg de matière sèche ingérée.

En divisant membre à membre par la teneur en acide aminé par kg de matière sèche, on obtient en définitive un modèle acceptable d'estimation de la digestibilité apparente (CUDa) de l'acide aminé étudié (AA).

$CUDaAA\ (fraction) = a + b/AAIms + \Sigma[c_i \times (CMms_i/AAIms)]$

En plus des termes décrivant les effets des teneurs en constituants membranaires, les termes mettant en jeu le contenu en azote ou en acide aminé résiduel de la fraction NDF de van Soest, [N ou AA].NDF, peut entrer aussi dans le modèle de prédiction du CUD. Dans un souci d'homogénéité, ces fractions sont exprimées aussi en proportion du contenu total du régime en N ou AA, le coefficient d mesurant leur «indigestibilité».

$$CUDaAA\ (fraction) = a + b/AAIms + \Sigma[c_i \times (CMms_i/AAIms)] + d \times [N\ ou\ AA].NDF$$

Dans tous les calculs présentés ci-dessous, les CUD sont estimés en pourcentage, les teneurs en AA et en CM en g par kg de matière sèche et les proportions d'azote ou d'AA associé au NDF en pourcentage. Dans le cas de a, b et c_i, les coefficients de la régression sont donc à diviser par 100 pour retrouver les valeurs définies ci-dessus.

2.2.2. Tests des variables CMms/AAIms.

La variable directement associée à la variation du CUD serait donc le rapport $CMms_i$/AAIms de la teneur en constituant membranaire à la teneur en acide aminé et non pas le simple contenu exprimé par kg de matière sèche, contrairement à la proposition de HALL et al. (1988). Ce rapport présente l'avantage de caractériser aussi bien la matière première que le régime utilisé pour la mesure. Le bien-fondé de son utilisation est démontré par une réduction très importante de l'écart-type résiduel (ETR) lorsque la meilleure variable explicative ADFms/AA, remplace ADFms pour la prédiction du CUD de l'azote (N) ou des acides aminés, lysine (Lys), thréonine (Thr) et méthionine (Met), par exemple.

CUDaN	= 93,2(±3,1) - 0,35 (±0,05) x ADFms	R^2 = 0,84; ETR = 3,5
	= 89,4(±1,4) - 5,1 (±0,4) x ADFms/Nms	R^2 = 0,95; ETR = 2,0
CUDaLys	= 96,2(±4,7) - 0,39 (±0,08) x ADFms	R^2 = 0,74; ETR = 5,3
	= 92,5(±1,5) - 1,42 (±0,1) x ADFms/Lysms	R^2 = 0,96; ETR = 2,2
CUDaThr	= 85,0(±5,5) - 0,33 (±0,09) x ADFms	R^2 = 0,60; ETR = 6,2
	= 84,7(±1,8) - 1,16 (±0,10) x ADFms/Thrms	R^2 = 0,94; ETR = 2,5
CUDaMet	= 95,6(±3,6) - 0,28 (±0,06) x ADFms	R^2 = 0,71; ETR = 4,1
	= 93,1(±0,9) - 0,41 (±0,02) x ADFms/Metms	R^2 = 0,94; ETR = 1,4

2.2.3. Tests des variables N.NDF ou AA.NDF.

La variable N.NDF entre dans le modèle de prédiction du CUDaN:

CUDaN	= 89,4(±1,4) - 5,1 (±0,4) x ADFms/Nms	R^2 = 0,95; ETR = 2,0
CUDaN	= 90,1(±1,1) - 4,2 (±0,4) x ADFms/Nms - 0,46(±0,17) x N.NDF	R^2 = 0,97; ETR = 1,5

Mais elle entre également dans les modèles de prédiction du CUDa de plusieurs acides aminés derrière ADFms/AAms (thréonine, leucine, isoleucine, phénylalanine tyrosine acide glutamique), derrière NDFms/AAms (Arginine) ou derrière ADLms/AAms (glycine). Dans le cas du CUDa du tryptophane, c'est la meilleure variable explicative:

CUDaTry	= 87,8(±2,4) - 1,39 (±0,28) x N.NDF	R^2 = 0,74; ETR = 5,3

Les variables AA.NDF, mesurées dans les expériences 1 et 2 (n = 8) sont en général très corrélées aux variables $CMms_i$/AAIms (MARISCAL-LANDIN 1992). Par exemple, Lys.NDF n'entre pas indépendamment de ADFms/Lysms dans le modèle explicatif de CUDaLys. La précision de l'estimation est toutefois légèrement améliorée par le remplacement de la seconde par la première variable. On constate en outre que Lys.NDF est un meilleur estimateur du CUDa que N.NDF lui-même, ce qui tend à confirmer que l'on estime ainsi directement une fraction indigestible.

CUDaLys = 91,8(±2,2) - 1,38(±0,14) x ADFms/Lysms R^2 = 0,94; ETR = 2,5

= 84,7(±1.4) - 1,22(±0,10) x Lys.NDF R^2 = 0,96; ETR = 2,2

Dans le cas de la phénylalanine, la variable Phe.NDF entre dans le modèle après ADFms/Phems et améliore sensiblement la précision de l'estimation du CUDa. Cette réponse particulière de la phénylalanine est à rapprocher du fait que son absorption digestive peut être gênée par un phénomène d'adsorption sur la lignine (BERGNER et al. 1981)

CUDaPhe = 95,0(±1,2) - 1,03(±0,07) x ADFms/Phems R^2 = 0,97; ETR = 1,3

= 94,2(±0,8) - 0,75(±0,11) x ADFms/Phems - 0,38(±0,13) x Phe.NDF R^2 = 0,99; ETR = 0,9

2.2.4. Tests des variables 1/AAms

Les variables 1/AAms dont les coefficients b devraient estimer l'indigestible endogène par kg de matière sèche n'entrent généralement dans le modèle qu'en seconde ou troisième position, ce qui entraîne une assez faible précision de son estimation. C'est le cas dans la prédiction du CUDa de la thréonine, avec les expériences 1 et 2 (n = 8) ou l'ensemble des données (n = 11) respectivement :

CUDaThr = 84,4(±2,7) - 1,14(±0,13) x ADFms/Thrms R^2 = 0,92; ETR = 2,8; n = 8.

CUDaThr = 94,3(±3,1) - 1,02(±0,08) x ADFms/Thrms - 41,0(±11,3) / Thrms R^2 = 0,98; ETR = 1,7; n = 8

CUDaThr = 92,9(±2,7) - 0,79(±0,11) x ADFms/Thrms - 0,50(±0,17) x N.NDF - 37,7 (±9,0)/Thrms R^2 = 0,98; ETR = 1,4; n = 11.

Un terme «endogène» est également estimé pour trois acides aminés non essentiels abondants dans cette fraction, la sérine, la glycine et l'acide aspartique, la précision des estimations étant acceptable pour les deux premiers dans le cas des expériences 1 et 2 :

CUDaSer = 89,6(±2,6)- 1,18(±0,17) x ADFms/Serms R^2 = 0,89; ETR = 2,8; n = 8.

= 100,8(±3,1)- 0,97(±0,10) x ADFms/Serms - 61,7 (±15,5) / Serms R^2 = 0,97; ETR = 1,5; n = 8.

CUDaGly = 91,0(±3,5)- 7,0 (±1,0) x ADLms/Glyms R^2 = 0,90; ETR = 3,1; n = 8.

= 104,9(±5,3) - 6,8 (±0,66) x ADLms/Glyms -79,6 (±27,4) / Glyms R^2 = 0,96; ETR = 2,1; n = 8.

Ces résultats sont encourageants puique les valeurs d'endogène ainsi estimées sont du même ordre que celles précédemment obtenues avec un régime protéiprive, 0.38, 0.62 et 0.80 contre 0.57, 0.51, et 0.77 g/kg de matière sèche, respectivement pour la thréonine, la sérine et la glycine (MARISCAL-LANDIN et al. 1990). Toutefois, dans le cas de la lysine, le coefficient b est significativement positif et comme il paraît exclu que la distribution d'un régime à plus faible teneur en lysine permette d'épargner de la lysine endogène, on doit admettre que cette estimation est biaisée. Cet artefact semble lié à l'existence d'une protéine peu digestible dans les produits moins fibreux testés à un niveau d'incorporation plus élevé dans le régime et porterait donc sur l'estimateur a de la digestibilité vraie. Il pourrait s'agir des fractions insolubles (SAUER et al. 1977) et peu digestibles du gluten. *La validité du modèle de prédiction de la digestibilité apparente est donc compromise car l'artefact doit affecter d'autres acides aminés que la lysine. La difficulté pourrait être levée en ajoutant au modèle le résultat d'une mesure caractérisant la fraction indigestible en cause, par exemple une digestibilité in vitro* (FÉVRIER et al. 1993).

2.3. Prédiction de la digestibilité vraie

Le modèle proposé pour le calcul de la digestibilité apparente peut être appliqué à la prédiction de la digestibilité vraie. Toutefois, une déduction «forfaitaire» d'endogène étant déjà appliquée à la quantité excrétée, il n'est pas acceptable de conserver le terme a/AAms. En effet, ceci conduit souvent à la détermination de coefficients b positifs correspondant à l'artefact discuté ci-dessus et, bien que plus précises (SÈVE et al. 1993b), les équations obtenues sont tout aussi dépendantes des conditions de mesures appliquées au groupe de produits étudié (taux d'incorporation et taux d'acides aminés résultants) que celles prédisant la digestibilité apparente. Les équations présentées au tableau 4 sont donc établies selon le modèle:

$$CUDvAA\ (fraction) = a + \Sigma[c_i \times (CMms_i/AAIms)] + d \times [N\ ou\ AA].NDF$$

La forme la plus simple de ces prédictions est celle mettant en jeu une seule variable, généralement ADFms/AAms, mais aussi NDFms/AAms dans le cas de l'arginine ou ADLms/AAms dans les cas de la cystine et de l'histidine). On notera que les coefficients de régression sont généralement inférieurs à ceux calculés pour la prédiction du CUDa, ce qui s'accompagne d'une réduction de R^2 et d'une dégradation de la précision (ETR plus élevé). Ceci provient probablement d'une correction d'endogène plus importante des données correspondant aux produits moins digestibles qui, pour être tolérés par les porcs, ont été testés à des niveaux d'incorporation plus faibles. Il s'agit d'une deuxième conséquence des variations insuffisamment randomisées de ce niveau d'incorporation entraînant une confusion partielle des effets de l'endogène et des constituants membranaires. La variable N.NDF entre dans le modèle grâce aux données de l'expé-

Tableau 5 - Équations proposées pour la prédiction des coefficients d'utilisation digestive vraie standardisée de l'azote et des acides aminés essentiels et semi-essentiels d'issues de blé.

CUDvN = 96,7(±2.5) - 4,21 (±0,70) x ADFms/Nms	R^2 = 0,80; ETR = 3,6
CUDvN = 97,8(±2.1) - 2,90 (±0,82) x ADFms/Nms - 0,72 (±0,32) x N.NDF	R^2 = 0,88; ETR = 2,9
CUDvLys = 97,5(±2.6) - 1,19 (±0,17) x ADFms/Lysms	R^2 = 0,84; ETR = 3,7
CUDvThr = 96,1(±2.4) - 0,82 (±0,13) x ADFms/Thrms	R^2 = 0,81; ETR = 3,3
CUDvThr = 97,1(±1.8) - 0,53 (±0,14) x ADFms/Thrms - 0,79 (±0,26) x N.NDF	R^2 = 0,91; ETR = 2,4
CUDvMet = 95,6(±1.4) - 0,36 (±0,04) x ADFms/Metms	R^2 = 0,91; ETR = 2,0
CUDvCys = 92,8(±1.8) - 1,46 (±0,21) x ADLms/Cysms	R^2 = 0,84; ETR = 2,1
CUDvTry = 98,7(±2.2) - 1,37 (±0,26) x N.NDF	R^2 = 0,75; ETR = 3.4
CUDvVal = 94,7(±2,9) - 0,95 (±0,22) x ADFms/Valms	R^2 = 0,68; ETR = 4,2
CUDvVal = 96,2(±2,7) - 0,62 (±0,26) x ADFms/Valms - 0,74 (+0,39) x N.NDF	R^2 = 0,78; ETR = 3,7
CUDvIle = 96,3(±2,0) - 0,64 (±0,11) x ADFms/Ilems	R^2 = 0,80; ETR = 3,0
CUDvIle = 97,5(±1,8) - 0,44 (±0,13) x ADFms/Ilems - 0,61 ±(0,27) x N.NDF	R^2 = 0,88; ETR = 2,5
CUDvLeu = 97,9(±1,9) - 1,38 (±0,21) x ADFms/Leums	R^2 = 0,83; ETR = 2,7
CUDvLeu = 98,7(±1,7) - 0,98 (±0,26) x ADFms/Leums - 0,55 (±0,26) x N.NDF	R^2 = 0,89; ETR = 2,3
CUDvPhe = 98,5(±1,8) - 0,86 (±0,12) x ADFms/Phems	R^2 = 0,84; ETR = 2,5
CUDvPhe = 99,1(±1,4) - 0,56 (±0,15) x ADFms/Phems - 0,59 (±0,24) x N.NDF	R^2 = 0,91; ETR = 2,0
CUDvTyr = 96,3(±1,6) - 0,54 (±0,07) x ADFms/Tyrms	R^2 = 0,88; ETR = 2,3
CUDvTyr = 96,2(±0,7) - 0,40 (+0,06) x ADFms/Tyrm - 0,55 (±0,09) x N.NDF	R^2 = 0,95; ETR = 1,6
CUDvHis = 100,0(±1,5) - 2,02 (±0,22) x ADLms/Hisms	R^2 = 0,91; ETR = 1,7
CUDvarg = 101,0(±1,6) - 0,43 (±0.06) x NDFms/Argms	R^2 = 0,84; ETR = 2,0
CUDvarg = 101,0(±1,2) - 0,26 (+0,07) x NDFms/Argm - 0,53 (±0,17) x N.NDF	R^2 = 0,92; ETR = 1,5

rience 3 et plus particulièrement du germe de blé dont la teneur en azote du NDF est particulièrement élevée. Par rapport à l'équation de prédiction obtenue avec les expériences 1 et 2 (données non présentées), la valeur explicative de ADFms/AAms est généralement plus faible et l'introduction de N.NDF rétablit la qualité de la prédiction. Les exceptions sont les CUDv de la lysine, dont la prédiction n'est pas très bonne pour les raisons discutées plus haut, le CUDv de la méthionine dont la prédiction est restée bonne et les CUDv de la cystine et de l'histidine mieux expliqués par ADLms/AAms que par ADF/AAms. Il semble donc que les quantités ADFms/AAms et N.NDF constituent deux mesures complémentaires du même facteur de variation.

3. CONCLUSION

Les présents résultats confirment qu'il est possible de prédire la digestibilité iléale des acides aminés d'issues de blé à partir de leurs teneurs en constituants membranaires de Van Soest. Lorsqu'on rapporte la teneur en constituants membranaires à la teneur en acide aminé, la prédiction est à la fois plus générale et plus précise . Elle semble encore améliorée lorsqu'on prend en compte la proportion d'azote associée au résidu NDF. Dans le cas de la lysine et de la phénylalanine, la supériorité du critère proportion de l'acide aminé retenu dans le NDF suggère que la digestibilité est directement affectée par la mauvaise accessibilité aux enzymes digestives des protéines emprisonnées dans le réseau fibreux. Nous avons également confirmé l'intérêt déjà signalé d'utiliser la concentration en acides aminés du régime dans un modèle de prédiction de la digestibilité apparente. Notre proposition de prendre l'inverse de cette concentration permet d'obtenir une estimation réaliste de la perte endogène strictement associée à l'ingestion de matière sèche dans le cas d'acides aminés fortement représentés dans cette fraction dont la

thréonine. Dans ce dernier cas, la digestibilité vraie de la thréonine des protéines d'issues de blé, sans CM, pourrait être estimée à 93-94 % et la baisse de digestibilité liée au CM à 1,08 points par unité d'ADFms/Thrms (indigestible = 10,8 mg par g d'ADF) ou 0.8 points par unité d'ADFms/Thrms plus 0,5 point par point d'N.NDF (indigestible # 8 mg par g d'ADF plus 0,5 mg par mg de thréonine associée au NDF). *Les valeurs d'endogène obtenues dans ce modèle correspondraient aux pertes minimales, à taux de fibres nul, et pourraient présenter un caractère plus général que les diverses estimations effectuées à ingéré azoté nul*, avec un régime protéiprive ou par extrapolation. Toutefois, la mise en oeuvre de tels modèles suppose une bonne connaissance des facteurs de variation et l'existence d'un fichier de données dans lesquels les variables caractérisant la matière première sont aussi peu corrélées que possible à celles caractérisant les régimes utilisés pour les mesures. Les travaux en cours sur la digestibilité in vitro, la prise en compte de résultats obtenus par d'autres ou la réalisation de mesures complémentaires peuvent permettre d'atteindre cet objectif.

En attendant, l'utilisation de la digestibilité vraie standardisée constitue une approximation acceptable et les équations que nous avons proposées peuvent être très utiles pour estimer la disponibilité digestive des acides aminés dans les issues de blé à partir de leur teneur en constituants membranaires.

REMERCIEMENTS

Les travaux mentionnés dans cet article ont reçu le soutien financier de la société Ralston Purina France. MM. RADISSON, VAN EYS et BOURLOT sont particulièrement remerciés pour la fourniture des matières premières. Les auteurs remercient également les laboratoires des sociétés Eurolysine (Mme EUDAIMON) ,Degussa (Dr FONTAINE) et Rhône Poulenc Animal Nutrition pour les dosages d'acides aminés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERGNER H., LÜCK M., MÜLLER J. 1981. Arch. Anim. Nutr. Berlin 31: 265-271.
- FÉVRIER B., SÈVE B., LECHEVESTRIER Y., MARISCAL-LANDIN G. 1993. Compte- rendu de la 44ème réunion de la Fédération Européenne de zootechnie, Aarhus, Danemark.
- HALL D. D., FERNANDEZ J. A., JORGENSEN H. J., BOISEN S. 1988. Wiss. Z. Wilhelm Pieck Universität Rostock 37: 54-55.
- LAPLACE J. P., DARCY-VRILLON B., PÉREZ J. P., HENRY Y., GIGER, S., SAUVANT D. 1989. Br. J. Nutr. 61: 75-87.
- LECHEVESTRIER Y. 1992. Rapport de stage. Diplôme d'Etudes Approfondies de Nutrition (Option Nutrition Animale). Université Aix-Marseille 2 et 3-INA Paris-Grignon
- LIN F. D., KNABE D. A., TANSKLEY T. D. Jr 1987. J. Anim. Sci. 64: 1655-1663.
- MARISCAL-LANDIN G., 1992. Thèse, université Rennes 1, 134 p.
- MARISCAL-LANDIN G., LEBRETON Y., SÈVE B. 1990. Journées Rech. Porcine en France 22: 215-222.
- 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, 160p.
- PICARD M., BERTRAND S., GÉNIN F., MAILLARD M., 1984. Journées Rech. Porcine en France 16: 350-360.
- RHÔNE-POULENC ANIMAL NUTRITION 1989. Nutrition Guide, Rhône-Poulenc Animal Nutrition éd., Paris, 36 p.
- SAUER W. C., STOTHERS S. C., PARKER R. J. 1977. Can. J. Anim. Sci. 57:775-784.
- SAS 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th edition, vol. 2,. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary, NC, 846 p.
- SÈVE B., FÉVRIER C., MARISCAL-LANDIN G., LECHEVESTRIER Y. 1993. Compte-rendu de la 44ème réunion de la Fédération Européenne de zootechnie, Aarhus, Danemark (Abstract).
- SÈVE B., GANIER P., HENRY Y. 1993. Journées Rech. Porcine en France 25: 255-261.
- TAVERNER M. R., HUME I. D., FARRELL D. J. 1981a. Br. J. Nutr. 46: 159-171.
- TAVERNER M. R., FARRELL D. J. 1981b. Br J. Nutr. 46:181:192
- VAN SOEST P. J. 1963. J. Assoc. Off. Anal.Chem. 46:829-835.
- VAN SOEST P. J., WINE 1967. J. Assoc. Off. Anal.Chem.50: 50-55.
- WÜNSCHE J., HERRMANN U., MEINL M., HENNIG U., KRELENBRING F., ZWIERZ P. 1987. Arch. Anim. Nutr. Berlin 37: 745-764.