



HAL
open science

Digestion des protéines dans l'intestin grêle chez le porc. 1. - Digestibilité des acides aminés selon la source de protéines d'un régime à base d'amidon de maïs purifié

Béatrice Darcy, J.P. Laplace, P.H. Duee, Régine Calmes, Georgette Fredou, Janine
Jung, Brigitte Mourot, A. Roger

► **To cite this version:**

Béatrice Darcy, J.P. Laplace, P.H. Duee, Régine Calmes, Georgette Fredou, et al.. Digestion des protéines dans l'intestin grêle chez le porc. 1. - Digestibilité des acides aminés selon la source de protéines d'un régime à base d'amidon de maïs purifié. *Annales de zootechnie*, 1982, 31 (3), pp.279-300. <hal-00888148>

HAL Id: hal-00888148

<https://hal.science/hal-00888148v1>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Digestion des protéines dans l'intestin grêle chez le porc

1. - Digestibilité des acides aminés selon la source de protéines d'un régime à base d'amidon de maïs purifié

Béatrice DARCY, J.P. LAPLACE et P.H. DUEE (*)

avec la collaboration technique de Régine CALMES, Georgette FREDOU, Janine JUNG,
Brigitte MOUROT et A. ROGER

*I.N.R.A., Laboratoire de Physiologie de la Nutrition,
Centre de Recherches zootechniques,
F 78350 Jouy-en-Josas*

Résumé

La digestibilité des acides aminés (AA) a été étudiée à l'extrémité distale de l'intestin grêle pour deux sources protéiques alimentaires très différentes. Cinq porcs mâles castrés de race Large White d'un poids vif moyen de 59 kg ont été soumis à la fistulation iléo-colique post-valvulaire (DARCY, LAPLACE et VILLIERS, 1980 a). Les animaux ont reçu un repas quotidien d'un régime à 16 p. 100 de matières azotées apportées, soit par une farine de poisson, soit par un gluten de blé, ou d'un régime protéoprive. On a déterminé les teneurs en azote total et en AA de l'aliment et des digesta collectés 4, 6, 8, 14 et 24 heures après le repas. A partir des quantités totales ingérées et collectées en 24 heures, on a calculé les digestibilités apparentes de l'azote et des AA. Les digestibilités réelles ont été calculées compte tenu des résultats obtenus en régime protéoprive.

Les quantités d'AA collectées en régime protéoprive sont identiques quels que soient l'animal concerné, le jour d'épreuve et le régime azoté antérieur. Les quantités d'AA, tant individuelles que totales, ne diffèrent pas entre régimes gluten et protéoprive. Par contre, les quantités recueillies en régime poisson sont environ trois fois plus élevées. Dans le cas du régime poisson, les profils de digestibilité, apparente et réelle, des différents AA sont analogues. Dans le cas du régime gluten, la digestibilité apparente est en moyenne de 8 points supérieure à celle du régime poisson; la digestibilité réelle est nivelée à environ 100 p. 100; l'écart entre les digestibilités de l'azote et de la moyenne des AA est beaucoup plus faible que pour le régime poisson.

La digestibilité de l'azote s'avère être un mauvais critère de prédiction de la digestibilité des AA pour un régime à base de farine de poisson. Cette digestibilité moyenne des AA est elle-même un critère insuffisant en raison de la dispersion des valeurs de chacun des AA, en particulier pour des AA indispensables. Globalement, il semble exister une hiérarchie assez répétable des AA, pour des régimes très variés (fig. 3). Une hiérarchie similaire peut être retrouvée pour les digestibilités fécales de la plupart des AA. Mais l'existence pour certains d'entre eux de distorsions importantes, liées à l'activité de la flore caeco-

(*) Adresse actuelle : Laboratoire de Physiologie du Développement, Collège de France, 11, place Marcellin-Berthelot, 75005 Paris.

colique, fait que la digestibilité fécale peut conduire à des estimations erronées de leur disponibilité. Au total, la digestibilité apparente iléale des AA constitue une bonne image de la digestibilité réelle pour certains régimes. Mais sa validité reste tributaire de la variabilité des apports endogènes et de la difficulté de leur évaluation.

Introduction

La formulation des régimes doit permettre l'ajustement des apports nutritionnels aux besoins de l'animal. Dans le cas de l'apport protéique, elle doit donc prendre en compte non seulement la composition en acides aminés des différentes matières premières, mais également une estimation de la disponibilité de ces acides aminés pour l'organisme. Celle-ci est la conséquence de l'hydrolyse séquentielle des protéines dans le tube digestif, des remaniements au moment de l'absorption intestinale, et des interactions entre nutriments au niveau métabolique. L'étape digestive ne recouvre donc qu'un aspect de ce processus. La digestion des protéines est largement tributaire de leur origine mais aussi d'autres facteurs (taux azoté et contenu en fibres de la ration, nature de l'amidon, présence de facteurs antinutritionnels comme les tannins ou certains inhibiteurs enzymatiques...). La digestibilité des matières azotées ou des acides aminés, définie comme la proportion des quantités ingérées non retrouvées à un niveau donné du tube digestif, iléal ou fécal, n'en constitue qu'un bilan. De plus ce bilan est faussé par l'addition de composés azotés d'origine endogène. Sa définition même pose plusieurs problèmes : peut-on se satisfaire d'une valeur globale correspondant à la digestibilité des matières azotées ou faut-il affecter chaque acide aminé d'un coefficient propre ? En quel site du tube digestif la mesure de la digestibilité permet-elle la meilleure approche de la disponibilité des acides aminés ? Il est vrai que les premiers essais d'évaluation de la digestibilité des acides aminés ont été réalisés au niveau fécal (KUIKEN & LYMAN, 1948). Un tel bilan peut en fournir une image tronquée, compte tenu de l'activité importante et variable de la flore dans le gros intestin ; la synthèse de protéines bactériennes, ou la dégradation des acides aminés n'ayant aucune signification nutritionnelle (RERAT, 1978 et 1981 a). Pour éviter cette interférence, il semble alors souhaitable d'opter pour un site de prélèvement plus proche du site même de l'absorption des acides aminés. Dans cette optique, une méthodologie fondée sur un bilan sectoriel établi à l'extrémité distale de l'intestin grêle a été mise en œuvre par de nombreux auteurs, dans la dernière décennie. Il s'agit, là encore, d'une mesure apparente de la digestibilité des acides aminés en raison de l'addition permanente au cours du transit d'une quantité variable d'azote endogène aux digesta. Par ailleurs, elle suppose la maîtrise d'une technique de fistulation dont l'application imparfaite peut rendre invalide la mesure de la digestibilité (DARCY & LAPLACE, 1980 ; DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1980 b). Enfin, elle devrait être confrontée à la mesure des quantités d'acides aminés qui apparaissent dans le sang de la veine porte au cours de la digestion (RERAT, VAUGELADE & VILLIERS, 1980), sous réserve des prélèvements et transformations liés à l'activité de la paroi (RERAT *et al.*, 1979 a). L'importance du problème de la digestibilité des acides aminés nous a conduit à réaliser ce bilan sectoriel au niveau iléal, en utilisant la technique de fistulation récemment développée (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1980 a). Cette étude porte sur la digestibilité des acides aminés selon la source protéique de régimes dont on a antérieurement établi les bilans iléal et fécal, en amidon et en azote (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981 ; DARCY & LAPLACE, 1981).

Matériel et méthodes

1. Schéma expérimental et animaux

L'expérience a été effectuée sur cinq porcs mâles castrés, de race Large White (poids vif moyen : 59 ± 1 kg), préparés selon la technique de fistulation iléo-colique post-valvulaire (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1980 a), comportant une canule de dérivation post-valvulaire et une canule colique pour la restitution des digesta.

Trois animaux sont utilisés pour l'étude de 2 régimes à 16 p. 100 de matières azotées (tabl. 1), comportant soit une farine de poisson (« régime poisson »), soit un gluten de blé (« régime gluten »). Deux autres animaux sont réservés à l'étude du régime protéoprive. Le choix d'animaux distincts pour l'étude de ce régime vise à éviter l'interférence d'une éventuelle rémanence de ses effets, lors d'utilisation ultérieure d'un régime azoté. Tous les animaux ont reçu le régime « poisson » pendant 8 jours de récupération post-opératoire. Les trois animaux soumis aux régimes azotés ont reçu le régime « poisson » pendant 2 jours d'épreuve. Deux d'entre eux (le troisième animal ayant arraché sa canule) ont ensuite reçu le régime « gluten » pendant 4 jours d'accoutumance puis 2 ou 3 jours d'épreuve. Le régime protéoprive (2 animaux) a été distribué pour 2 jours d'épreuve, et sans accoutumance préalable.

TABLEAU 1
Composition des régimes.
Composition of diets.

	Aliment <i>Diet</i>	Régimes azotés		Régime protéoprive <i>Protein-free diet</i>
		Gluten <i>Wheat gluten</i>	Poisson <i>Fish meal</i>	
Constituants (p. 100) <i>Ingredients (p. 100)</i>	Amidon de maïs <i>Maize starch</i>	72,7	68,3	90,0
	Farine de poisson <i>Fish meal</i>	—	21,6	—
	Gluten de blé <i>Wheat gluten</i>	17,5	—	—
	Cellulose <i>Cellulose</i>	5,9	6,1	6,0
	Minéraux <i>Minerals</i>	2,9	3,0	3,0
	Vitamines <i>Vitamins</i>	1,0	1,0	1,0
	Composition chimique (*) <i>Chemical composition</i>	Azote <i>Nitrogen</i>	2,6	2,7

(*) p. 100 de la matière sèche - p. 100 of dry matter.

Il a été testé à la suite du régime « poisson », puis à la suite du régime « gluten » pour détecter un effet éventuel du régime azoté précédent. Les résultats portent sur 6 nyctémères en régime « poisson », 5 en régime « gluten » et 9 en régime « protéoprive » (4 à la suite du régime « poisson » et 5 à la suite du régime « gluten »). Chaque nyctémère débute par un repas d'épreuve unique, comportant 1 200 g d'aliment expérimental présenté sous forme de farine, additionnée d'eau (rapport 1 : 2). Les consommations réelles de farine ont été de $1\ 188 \pm 12$ g (« poisson »), $1\ 200 \pm 0$ g (« gluten ») et $1\ 060 \pm 54$ g (« protéoprive »).

2. Collectes des digesta

A différents temps après le repas d'épreuve (4, 6, 8, 14 et 24 h) on recueille les digesta dérivés en permanence dans le ballon de collecte. Pour chacune de ces collectes, le volume et le poids frais sont mesurés et un échantillon de 80 g est prélevé, sur lequel sont déterminées après lyophilisation, les teneurs en matière sèche, en azote total et en acides aminés. Pour les régimes azotés, une seconde fraction est également prélevée (40 g), lorsque la quantité de digesta le permet, afin d'en doser les acides aminés libres ultérieurement. Les digesta résiduels sont ensuite restitués, après réchauffement, par la canule colique.

3. Méthodes analytiques

La teneur en matière sèche des aliments et des digesta est mesurée après 24 heures dans une étuve à 104 °C. L'azote total est déterminé par la méthode Kjeldhal.

La composition globale en acides aminés des aliments ou des digesta est déterminée après hydrolyse acide (24 h et 48 h) ; le dosage chromatographique des acides aminés est effectué après leur séparation sur colonne échangeuse d'ions, dans des conditions analytiques décrites par PION & FAUCONNEAU (1966). La détermination des acides aminés soufrés est réalisée de la même façon après oxydation préalable par l'acide performique. Le tryptophane, détruit par l'hydrolyse acide, n'est pas dosé. Les déterminations de l'asparagine et de la glutamine se font conjointement avec l'acide aspartique d'une part, et l'acide glutamique d'autre part.

4. Présentation des résultats

Dans le texte, les 17 acides aminés (A.A.) dosés seront désignés par l'abréviation conventionnelle suivante : ASX = acide aspartique + asparagine ; THR = thréonine ; SER = sérine ; GLX = acide glutamique + glutamine ; PRO = proline ; GLY = glycine ; ALA = alanine ; VAL = valine ; ILE = isoleucine ; LEU = leucine ; TYR = tyrosine ; PHE = phenylalanine ; LYS = lysine ; HIS = histidine ; ARG = arginine ; CYS = cystine ; MET = méthionine ; EAA = acides aminés indispensables (ou essentiels) et semi-indispensables ; NAA = acides aminés non indispensables.

On dispose, en définitive, pour chacun des trois régimes, des quantités d'acides aminés totaux recueillis au cours de chacun des intervalles de temps définis par le rythme des collectes. On peut alors étudier les variations de composition des digesta, selon le régime et au cours du nyctémère.

Dans ce premier rapport, nous nous limiterons aux résultats portant sur l'ensemble des 24 heures. Le calcul des quantités d'acides aminés totaux qui franchissent la jonction iléo-caeco-colique et la connaissance des quantités ingérées, permettent la

détermination des digestibilités apparentes des acides aminés pour chacun des 2 régimes protéiques. La prise en compte des résultats obtenus en régime protéoprive permet la détermination des digestibilités réelles correspondantes. Ce mode d'expression, usuel, ne constitue cependant qu'une estimation qui fera ensuite l'objet d'une discussion. Les valeurs enregistrées pour ces paramètres selon le régime sont comparées deux à deux par un test de t de Student.

Résultats

1. Composition des aliments en acides aminés

Les proportions relatives de chacun des AA, exprimées en pourcentage de la somme des AA totaux (fig. 1), sont très différentes entre les 2 régimes. L'aliment poisson comporte une proportion beaucoup plus élevée d'EAA que l'aliment gluten (51,1 contre 35,9 p. 100 des AA totaux).

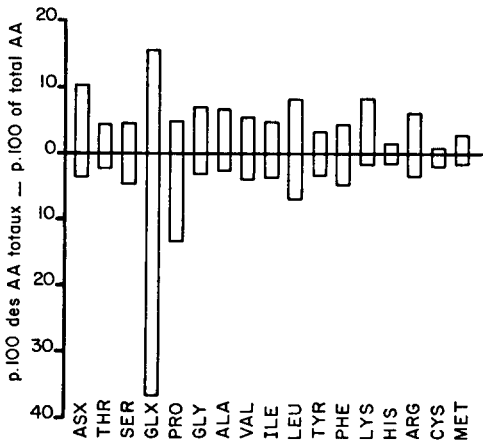


FIG. 1

Composition en acides aminés des régimes azotés.

Aminoacid composition of the nitrogenous diets.

Chaque acide aminé est exprimé en pourcentage de la somme des acides aminés totaux - Individual aminoacids are given as a percent of the sum of total aminoacids.

Par rapport à l'aliment poisson, le régime gluten est particulièrement pauvre en LYS, THR, ARG et à un moindre degré en VAL et ILE. Les 2 régimes comportent des proportions équivalentes de TYR et PHE. Le rapport MET/CYS, de l'ordre de 2,8 dans le cas du poisson, n'est que de 0,8 pour le gluten. Enfin, le gluten, particulièrement riche en NAA, apporte de grandes quantités de GLX et PRO qui représentent à eux seuls 50 p. 100 des AA totaux.

TABLEAU 2

Quantités moyennes d'acides aminés (AA) et d'azote ingérées et collectées en 24 heures pour des régimes azotés comportant, soit une farine de poisson, soit un gluten de blé, et pour un régime protéoprive.

Mean quantities of amino acids (AA) and nitrogen ingested and collected over 24 h after feeding either a fish meal or a wheat gluten or a protein-free diet.

Régime Diet	Farine de poisson Fish meal		Protéoprive (après poisson) Proteinfree (after fish meal)	Gluten de blé Wheat gluten		Protéoprive (après gluten) Proteinfree (after wheat gluten)
	Quantité (g) ingérée Ingested quantity (g)	Quantité collectée en 24 h-g (CV %) Quantity collected over 24 h-g (CV %)		Quantité (g) ingérée Ingested quantity (g)	Quantité collectée en 24 h-g (CV %) Quantity collected over 24 h-g (CV %)	
EAA						
THR	7,21	1,19 (15,8)	0,51 (27,4)	4,68	0,47 (22,2)	0,56 (32,0)
VAL	8,89	1,24 (13,5)	0,54 (29,5)	7,38	0,53 (17,6)	0,53 (22,8)
ILE	7,81	0,91 (14,6)	0,36 (22,8)	6,82	0,36 (16,3)	0,37 (22,3)
LEU	13,47	1,44 (12,9)	0,64 (25,8)	12,85	0,57 (16,4)	0,65 (22,6)
TYR	5,68	0,74 (17,1)	0,35 (21,0)	6,15	0,50 (19,7)	0,35 (20,2)
PHE	7,19	1,16 (13,0)	0,40 (24,9)	8,62	0,54 (23,2)	0,40 (21,3)
LYS	13,64	1,52 (15,4)	0,50 (31,4)	3,18	0,43 (17,3)	0,51 (23,3)
HIS	2,79	0,50 (33,9)	0,19 (25,6)	2,85	0,15 (18,5)	0,19 (21,2)

ARG	10,27	1,01 (17,2)	0,43 (21,3)	6,36	0,41 (19,0)	0,45 (17,5)
CYS	1,78	0,53 (12,3)	0,21 (16,5)	3,66	0,24 (22,5)	0,21 (21,9)
MET	4,94	0,49 (14,0)	0,11 (20,5)	2,82	0,13 (22,4)	0,12 (22,8)
Somme EAA	84,29	10,73 (12,7)	4,24 (24,5)	65,37	4,34 (18,6)	4,31 (22,1)
Sum EAA						
NAA						
ASX	17,02	3,91 (14,1)	0,84 (26,2)	6,49	0,89 (15,9)	0,90 (23,0)
SER	7,21	1,29 (17,1)	0,45 (25,3)	8,65	0,45 (20,6)	0,47 (29,0)
GLX	25,13	3,05 (15,1)	0,94 (22,9)	66,75	1,07 (16,4)	0,99 (21,9)
PRO	7,86	1,11 (16,0)	0,44 (21,1)	24,37	0,48 (22,1)	0,45 (23,2)
GLY	11,50	2,30 (21,1)	0,66 (43,7)	5,86	0,54 (23,2)	0,55 (21,9)
ALA	11,24	1,44 (12,8)	0,49 (32,4)	4,71	0,48 (15,6)	0,52 (25,9)
Somme NAA	79,95	13,10 (14,9)	3,81 (26,2)	116,82	3,91 (17,9)	3,87 (23,4)
Sum NAA						
Somme tous AA	163,60	23,83 (13,6)	8,05 (25,2)	182,19	8,25 (18,2)	8,18 (22,7)
Sum all AA						
Azote total	28,08	5,33 (17,6)	1,44 (24,6)	27,56	1,63 (23,3)	1,58 (26,7)
Total nitrogen						

Les coefficients de variation (C.V.) des quantités collectées sont indiqués entre parenthèses. Collectes effectuées au niveau de la jonction iléo-caeco-colique. EAA = acides aminés essentiels; NAA = acides aminés non essentiels.

The coefficients of variation (CV) of the mean collected quantities are given between brackets. Digesta collected at ileo-caeco-colic junction. EAA = essential aminoacids; NAA = non essential amino acids.

2. Quantités résiduelles d'acides aminés (tabl. 2)

Les quantités d'AA recueillies lors des épreuves protéoprives ne présentent jamais de différence significative, pour chacun des AA individuels et pour leur somme, selon les conditions d'épreuve : animal concerné, régime azoté ingéré auparavant, et jour d'épreuve considéré. La quantité totale d'AA collectée en 24 h est en moyenne de 8 g, lors des mesures en régime protéoprive. Dans le cas du régime gluten, les quantités moyennes collectées, globalement et pour chacun des AA individuels, ne diffèrent pas de celles obtenues en régime protéoprive. A l'inverse les quantités totales d'AA collectées en 24 h sont 3 fois plus élevées (environ 24 g) pour le régime poisson. Pour chacun des AA l'écart entre les quantités collectées en régime poisson, d'une part, et en régime gluten ou protéoprive, d'autre part, est significatif (au seuil 0,001).

Les quantités d'EAA collectées de l'ordre de 4,3 g par 24 h pour le gluten et le protéoprive atteignent 10,7 g pour le poisson (2,5 fois plus) ; dans le cas des NAA les quantités recueillies pour le poisson sont 3,4 fois plus élevées qu'avec les 2 autres régimes.

Enfin, la variabilité des quantités d'AA totaux, d'EAA, de NAA ou d'AA individuels collectés en 24 h, est relativement importante en régime protéoprive (coefficient de variation de l'ordre de 25 p. 100), moindre en régime gluten (18 p. 100) et la plus faible pour le régime poisson (de l'ordre de 15 p. 100).

3. Digestibilité des acides aminés du régime poisson (fig. 2)

La digestibilité apparente calculée pour chacun des EAA varie entre 81,9 et 90,2 p. 100, à l'exception du cas de CYS (70,3 p. 100). La variabilité de ce critère, appréciée par le coefficient de variation, est en général faible (1,4 à 2,9 p. 100) sauf pour CYS (4,6 p. 100) et plus encore HIS (7,2 p. 100). Dans le cas des NAA, la digestibilité apparente est comprise entre 77,0 et 87,9 p. 100 (coefficients de variation 1,7 à 5,0 p. 100). Les valeurs de digestibilité réelle sont supérieures à celles de digestibilité apparente de 5 à 6 points pour les EAA comme pour les NAA. L'écart entre les valeurs extrêmes enregistrées pour les digestibilités réelles des AA individuels est réduit, en particulier pour les EAA. Néanmoins, les écarts entre les digestibilités respectives des différents AA subsistent, conduisant pour les digestibilités réelles à un accroissement des valeurs sans véritable bouleversement de la hiérarchie établie sur la base des digestibilités apparentes (fig. 2). Même dans le cas de CYS pour laquelle la digestibilité réelle fournit la plus forte augmentation par rapport à la digestibilité apparente, la valeur obtenue reste la moins bonne de tous les EAA.

La digestibilité apparente moyenne de l'ensemble des AA est supérieure de 3,5 points à celle de l'azote. Un écart de même ordre de grandeur (4,0 points) est retrouvé pour les digestibilités réelles correspondantes (fig. 2).

4. Digestibilité des acides aminés du régime gluten (fig. 2)

La digestibilité apparente varie selon les EAA entre 86,6 et 95,5 p. 100 (coefficients de variation 0,9 à 2,7 p. 100) et selon les NAA entre 86,3 et 98,4 p. 100 (coefficients de variation 0,3 à 2,5 p. 100). Les digestibilités apparentes des AA

individuels, enregistrées dans le cas du régime gluten, sont toujours significativement plus élevées que celles rapportées ci-dessus dans le cas du poisson, à l'exception de LYS pour lequel une valeur significativement plus faible est obtenue.

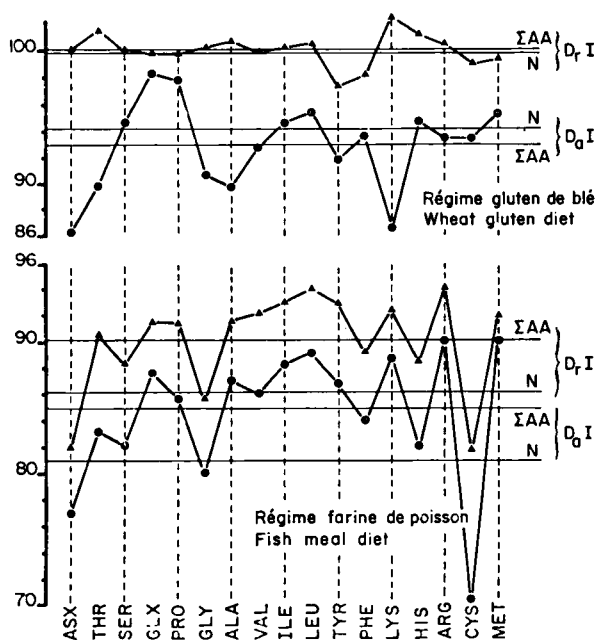


FIG. 2

Digestibilité des acides aminés (AA) au niveau de la jonction iléo-caeco-colique.

Aminoacids (AA) digestibility at the ileo-caeco-colic junction.

Digestibilités apparentes ($D_a I$, ●) et réelles ($D_r I$, ▲) pour chacun des régimes. Les lignes horizontales indiquent pour chacun d'eux les digestibilités apparentes et réelles de l'azote total (N) d'une part et les valeurs moyennes calculées pour l'ensemble des AA (ΣAA) d'autre part - *Apparent ($D_a I$, ●) and true ($D_r I$, ▲) digestibilities according to diet. The straight lines indicate, in each case, the total nitrogen (N) and average aminoacids (AA) apparent and true digestibilities.*

Le calcul de la digestibilité réelle des AA en régime gluten, en l'absence de différence significative des quantités résiduelles entre gluten et protéoprive, conduit à des valeurs de l'ordre de 100 p. 100. Les digestibilités réelles les moins élevées sont celles de TYR (97 p. 100), PHE (98 p. 100) et CYS (99 p. 100). Le relèvement des valeurs par rapport aux digestibilités apparentes est globalement d'environ 7 points. Cependant on constate pour LYS et ASX un relèvement spectaculaire de plus de 13 points. Enfin, la digestibilité apparente moyenne de l'ensemble des AA est voisine de celle de l'azote ; il en va de même pour les digestibilités réelles correspondantes qui sont de l'ordre de 100 p. 100.

Discussion

1. *Aspects méthodologiques*

Les problèmes posés par la fistulation iléale (DARCY & LAPLACE, 1980) nous ont conduits à utiliser dans ce type d'étude la fistulation iléo-colique post-valvulaire (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1980 a) qui nous paraît présenter un certain nombre d'avantages. Toutefois, dans le cas de régimes à 16 p. 100 de protéines, le site de dérivation des digesta (iléal vs. post-valvulaire) ne semble pas influencer sur la détermination de la digestibilité apparente de l'azote (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1980 b). Par conséquent le choix de la technique de fistulation ne devrait pas introduire de biais dans la comparaison de nos résultats à ceux de la littérature.

Les compositions en AA des 2 régimes, iso-azotés, justifient le choix des 2 sources protéiques — farine de poisson et gluten de blé — dans le but d'opposer une protéine animale de bonne qualité à une protéine végétale très déséquilibrée puisque pauvre en la plupart des EAA. Dans les conditions de restriction imposées à nos animaux (repas unique de 1 kg de M.S. environ) pour pouvoir étudier également les variations de composition en AA des digesta correspondant au repas, les deux régimes azotés conduisent à une insuffisance des apports d'EAA. Même le régime poisson ne suffit pas à couvrir les besoins en LYS, MET + CYS et THR, comme en témoigne l'absence de gain de poids des animaux pendant les 3 à 4 semaines expérimentales (celui-ci ne dépassant pas 3 kg). La question se pose donc de la validité des résultats obtenus pour des animaux placés dans des conditions normales d'alimentation. Hormis quelques données concernant le porcelet (DE GOEY & EWAN, 1975), il n'existe pratiquement aucune information bibliographique concernant l'influence du niveau alimentaire sur la digestibilité des matières azotées. En l'absence de telles indications, on peut par contre souligner qu'un tel dispositif expérimental permet une bonne homogénéité des niveaux de consommation et des caractéristiques physiques des régimes azotés et protéoprive.

2. *Estimation de la fraction d'origine endogène des digesta*

Les digesta présents dans l'intestin grêle sont un mélange, en proportions variables, de matériaux à la fois d'origine alimentaire et d'origine endogène (sécrétions digestives, desquamations de l'épithélium, urée...), en partie remaniés par les bactéries. Comme les matériaux alimentaires, la fraction endogène fait l'objet d'une absorption (RERAT *et al.*, 1977). Les digesta résiduels collectés à l'extrémité distale de l'intestin grêle sont donc un mélange des fractions non absorbées, d'origine exogène et endogène. Le calcul de la digestibilité réelle des protéines alimentaires dépend à la fois de la quantité d'azote endogène produite, de l'importance de son absorption, ainsi que de l'activité de la flore.

La quantité d'azote endogène résiduelle est habituellement estimée par la quantité totale d'azote recueillie à l'extrémité distale de l'intestin grêle, chez des animaux soumis, sans adaptation préalable, à un régime protéoprive. Ce mode d'évaluation qui permet de calculer par différence la digestibilité réelle d'un régime azoté, ne repose cependant que sur un postulat d'invariance de la fraction endogène résiduelle, qui résulte à la fois de sa production, de son absorption et de l'activité de la flore.

On ne dispose pas d'éléments expérimentaux permettant d'affirmer la stabilité de la production d'azote endogène, lors d'ingestion d'un aliment protéoprive. Même si l'on sait que des modifications de la sécrétion pancréatique ne surviennent qu'au-delà de 48 h après une modification du taux protéique du régime (CORRING & SAUCIER, 1972), il n'est pas exclu que d'autres sources d'endogène subissent des variations plus rapides. Ainsi l'excrétion nette d'urée vers la lumière intestinale, de l'ordre de 1 g/h dans des conditions standard (RERAT *et al.*, 1979 b), s'annule en régime protéoprive (RERAT, données non publiées). Et, même si l'on admet l'absence de variation de la production d'azote endogène, des variations importantes de son absorption sont susceptibles d'intervenir, comme ce peut être le cas pour rééquilibrer un apport exogène inadéquat (NASSET, 1965). Enfin, la fraction endogène résiduelle peut être plus ou moins remaniée par les bactéries. Quelle qu'en soit la cause, des quantités fort variables d'azote endogène peuvent être effectivement recueillies à l'extrémité de l'intestin grêle. En plus des facteurs de variation de l'endogène classiquement identifiés (augmentation avec la quantité de matière sèche ingérée et le taux de cellulose brute du régime), l'utilisation du marquage du pool sanguin d'AA libres (^{15}N) a permis de mettre en évidence des variations dans un rapport de 1 à 5 des quantités d'azote endogène résiduelles selon la nature des protéines du régime, ainsi que des variations importantes entre animaux recevant un même régime (SOUFFRANT *et al.*, 1981).

Le calcul de la digestibilité réelle des 2 sources protéiques étudiées n'échappe pas à toutes ces réserves puisqu'il prend en compte les valeurs obtenues en régime protéoprive. Cependant, en plus de la standardisation des conditions d'épreuve déjà mentionnée pour les 3 régimes, l'homogénéité des résultats entre épreuves protéoprives est satisfaisante. En effet, malgré une variabilité des quantités d'AA recueillies plus élevée que pour le gluten ou le poisson, l'absence de différence significative selon les facteurs étudiés (animal, régime azoté précédent et jour d'épreuve) témoigne de la stabilité de la réponse en régime protéoprive. Mais ceci n'assure pas que la quantité d'endogène non digérée soit la même avec les 3 régimes, protéoprive, poisson et gluten, même si la quantité d'azote recueillie en 24 h, de l'ordre de 1,5 g au cours des épreuves protéoprives, coïncide avec la moyenne des valeurs obtenues par la technique de marquage isotopique chez l'animal recevant un régime azoté (SOUFFRANT *et al.*, 1981). Il faut souligner qu'une plus large utilisation, dans l'avenir, du marquage au ^{15}N doit permettre d'évaluer les apports endogènes dans des conditions plus physiologiques et de mieux connaître leurs facteurs de variation.

Enfin, comme les matériaux d'origine alimentaire, l'endogène peut être plus ou moins remanié par les bactéries à la fin de l'iléon. La mesure des teneurs en acide diaminopimélique, caractéristique des parois de certaines bactéries, permettrait d'évaluer le degré de remaniement des contenus iléaux.

3. Digestibilité apparente des acides aminés

La meilleure digestibilité apparente de l'azote total du régime gluten, déjà mise en évidence dans une précédente expérience (DARCY, LAPLACE & VILLIERS, 1981), est vérifiée ici. Les valeurs observées pour la moyenne des digestibilités des AA confirment ce résultat, avec cependant un moindre écart entre les régimes (8 points au lieu de 13). La non concordance de ces écarts résulte de la valeur plus élevée de la moyenne des digestibilités des AA par rapport à celle de l'azote dans le cas du poisson, alors que

ces valeurs sont analogues dans le cas du gluten. Le calcul des quantités d'azote présentes dans les AA dosés et, par différence, des quantités d'azote présentes sous une autre forme (azote non AA), dans l'aliment et dans les digesta, permet d'éclaircir ce point. Il est à noter cependant qu'on ne tient compte que partiellement de l'azote amidé, puis que l'on ne connaît pas les proportions respectives d'ASN et GLN dans les quantités d'ASX et GLX dosées, sauf dans le cas du gluten de blé où la presque totalité de GLX serait présent sous forme GLN (BAUDET, communication personnelle).

Alors que dans l'aliment gluten tout l'azote est présent sous forme AA (soit environ 27,5 g), dans l'aliment poisson on n'a que 22,5 g sous forme AA et par conséquent environ 5,5 g sous forme non-AA. Dans les digesta collectés en régime gluten, pour 1,6 g d'azote total, on a 0,5 g d'azote non-AA. En régime poisson, l'azote non-AA représente 2,1 g pour 5,3 g d'azote total. La quantité d'azote non-AA collecté est donc 4 fois plus élevée avec le poisson qu'avec le gluten. L'excès recueilli en régime poisson, par rapport au régime gluten correspond probablement à de l'azote non-AA, principalement sous forme d'azote nucléique, d'origine exogène. Ce simple exemple, dans le cas d'une farine de poisson, montre que la digestibilité apparente de l'azote total ne reflète pas toujours la digestibilité apparente moyenne des AA.

On peut s'interroger sur la fiabilité du critère de digestibilité apparente des AA. Compte tenu de la précision estimée, d'une part sur la mesure des quantités d'aliment réellement ingérées et de digesta collectés et, d'autre part, sur le dosage des AA, le calcul permet de déduire une fourchette de ± 2 points, fiable autour d'une valeur de digestibilité. Ainsi réexaminée, la position des valeurs d'un même AA selon le régime conduit à retenir la supériorité du gluten par rapport au poisson pour 13 des 17 AA, même si toutes les valeurs diffèrent significativement. Une comparaison intra-régime de la position des AA peut aussi être effectuée sur cette base. On considérera alors, en accord avec WÜNSCHE (1979 b), comme différentes de la valeur moyenne des AA, celles qui s'en écartent de plus de 4 points. Ainsi, dans le cas du poisson, CYS, ASX et GLY sont en dessous de la moyenne, tandis que LEU, LYS, ARG et MET se situent au-dessus. Dans le cas du gluten, LYS et ASX sont en dessous et PRO et GLX au-dessus de la moyenne. Donc, compte tenu des limites de fiabilité qu'il nous semble raisonnable de considérer pour les digestibilités, un petit nombre d'AA s'écarte de la valeur moyenne. Mais il peut s'agir d'AA importants d'un point de vue nutritionnel, notamment d'EAA facteurs limitants de certaines sources protéiques.

La dispersion des valeurs de digestibilité apparente des AA, pris individuellement, conduit à décrire un profil pour chaque source protéique (fig. 2). Globalement, on constate un certain parallélisme de ces deux profils, les digestibilités les plus faibles étant toujours trouvées pour les mêmes AA (ASX, THR, GLY) et les plus fortes pour certains autres (GLX, PRO puis VAL, ILEU, LEU et ARG, MET). Quelques AA échappent à ce parallélisme général. Il s'agit en particulier de LYS et CYS. Ces écarts pourraient être liés aux faibles proportions de LYS dans le régime gluten et de CYS dans le régime poisson. Dans ces deux cas, les apports exogènes faibles, relativement aux apports endogènes, feraient peser ces derniers de façon importante sur les valeurs de digestibilité. Si l'on compare les profils obtenus pour nos 2 régimes au profil général constitué à partir des valeurs moyennes de digestibilité apparente des AA individuels, rapportées pour 33 régimes distincts par divers auteurs (fig. 3 A), on retrouve, en dépit d'une dispersion plus importante, une même allure générale.

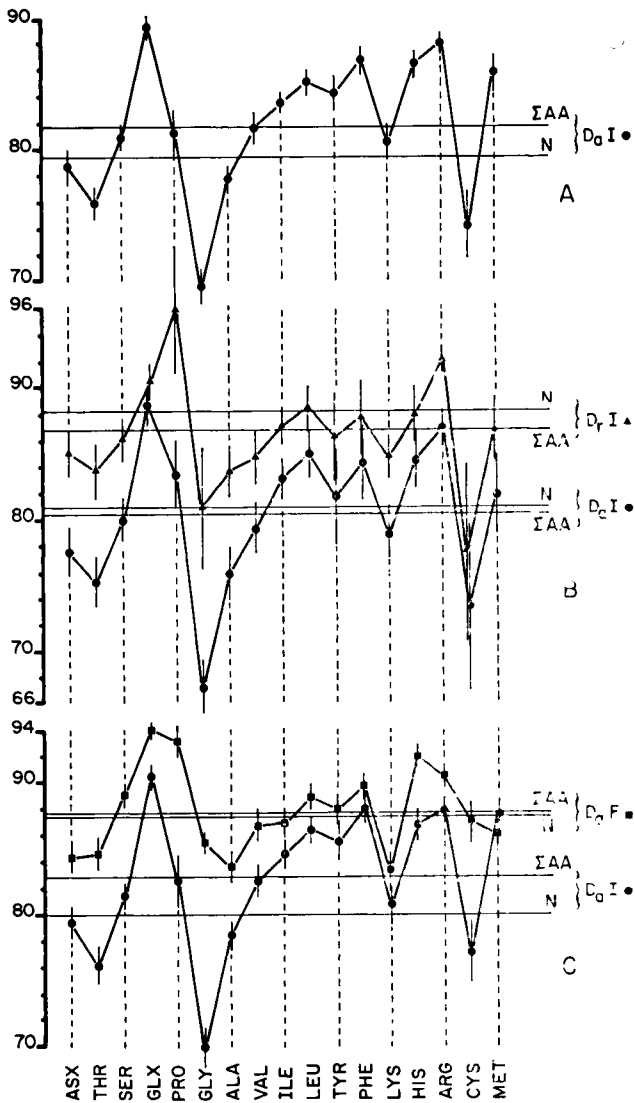


FIG. 3

*Digestibilité moyenne des acides aminés (AA),
calculée à partir de données bibliographiques (voir annexe).*

Mean digestibility of AA, calculated from literature data (see appendix).

- A :** Digestibilité iléale apparente (D_{aI} , ●) des AA de 33 régimes (moyenne et écart-type de la moyenne). Les données utilisées sont répertoriées en annexe (a) - *Apparent ileal digestibility (D_{aI} , ●) of the AA of 33 diets (mean \pm S.E.M.). The data involved are listed in the appendix (a).*
- B :** Digestibilité iléale apparente (D_{aI} , ●) et réelle (D_{rI} , ▲) des AA de 12 régimes (moyenne et écart-type de la moyenne). Les données utilisées sont répertoriées en annexe (b) - *Apparent (D_{aI} , ●) and true (D_{rI} , ▲) ileal digestibility of the AA of 12 diets (mean \pm S.E.M.). The data involved are listed in the appendix (b).*
- C :** Digestibilité apparente iléale (D_{aI} , ●) et fécale (D_{aF} , ■) des AA de 29 régimes (moyenne et écart-type de la moyenne). Les données utilisées sont répertoriées en annexe (c) - *Apparent ileal (D_{aI} , ●) and faecal (D_{aF} , ■) digestibility of the AA of 29 diets (mean \pm S.E.M.). The data involved are listed in the appendix (c).*

Pour ces trois graphiques les lignes horizontales indiquent les digestibilités de l'azote total (N) et la digestibilité moyenne de l'ensemble des AA (ΣAA) - *In all graphs, the straight lines indicate total nitrogen (N) digestibility and average AA (ΣAA) digestibility*

Ainsi, on trouve les valeurs les plus fortes pour GLX, ILE, LEU, TYR, PHE, ARG et MET ; à l'inverse les valeurs les plus faibles sont celles de ASX, THR, GLY, ALA et CYS. Les valeurs extrêmes enregistrées pour nos deux régimes s'inscrivent bien dans ces deux groupes.

Quelle est l'origine de ces différences ? Selon la plupart des auteurs, les AA de faible digestibilité apparente sont aussi ceux trouvés en quantité importante dans l'endogène. Il s'agit selon HOLMES *et al.* (1974) de ASP, GLY, SER, PRO, GLX et THR ; selon BURACZEWSKA, BURACZEWSKI & ZEBROWSKA (1975) et Low (1979), il s'agit particulièrement de THR, GLY et CYS ; enfin selon WÜNSCHE *et al.* (1979 a), il s'agit d'ASP, THR, GLY, SER et VAL. En moyenne, pour l'ensemble de nos épreuves protéoprives, les AA les plus abondants sont, dans l'ordre décroissant, GLX, ASP, GLY, LEU, THR et VAL. Cette liste inclut les quelques AA qui sont reconnus par tous comme abondants dans l'endogène. Ceux-ci (ASP, THR et GLY), sont précisément les AA qui ont la plus faible digestibilité apparente, aussi bien dans le cas de nos régimes que d'une manière générale (fig. 3 A). Cependant cette coïncidence ne peut être généralisée puisque la digestibilité relativement élevée de certains AA résulte de l'importance de leur apport alimentaire, en dépit de leur relative abondance dans l'endogène (GLX et LEU dans notre cas). Par conséquent, l'interférence de l'endogène dans l'évaluation de la digestibilité apparente des AA ne permet pas à elle seule de rendre compte de la dispersion des résultats. Qu'en est-il pour la digestibilité réelle ?

4. Digestibilité réelle des AA et comparaison aux données d'absorption

Le calcul de la digestibilité réelle dans le cas du régime gluten conduit à un écrasement des valeurs individuelles dans la fourchette $100 \pm 2,6$ p. 100, en accord avec les résultats de WÜNSCHE *et al.* (1979 b). Cette fourchette elle-même n'a pas de signification puisqu'il n'y a jamais de différence des quantités d'AA recueillies entre les régimes gluten et protéoprive. Pour une source protéique aussi particulière qu'un gluten de blé, la dispersion des digestibilités apparentes des AA ne provient que du bilan des AA de la fraction endogène : production moins réabsorption.

Il n'en va pas de même dans le cas du poisson, puisque le calcul de la digestibilité réelle aboutit à un relèvement assez uniforme des valeurs individuelles qui préserve l'aspect du profil. Ce parallélisme des profils de digestibilité apparente et réelle peut être retrouvé pour les profils moyens calculés sur la base de données bibliographiques (12 régimes distincts, fig. 3 B). Le relèvement des valeurs est de l'ordre de 4 points, sauf pour 3 AA : il est seulement de 2 points pour GLX, mais de 12 à 14 points pour PRO et GLY, avec une forte variabilité des résultats pour ces deux AA.

Par conséquent, sauf dans le cas particulier de sources protéiques presque totalement digestibles, on peut admettre le parallélisme des profils de digestibilité apparente et réelle.

La question reste donc de savoir quels sont les facteurs responsables de la dispersion, de fait, des digestibilités individuelles. Les causes peuvent en être recherchées, soit au niveau de l'hydrolyse des protéines, soit au niveau de l'hydrolyse des peptides terminaux et du transport des AA à travers la paroi. Les informations disponibles quant aux liaisons préférentiellement attaquées par les protéases pancréa-

tiques ne permettent pas d'avancer l'hypothèse d'une influence déterminante des processus d'hydrolyse sur la hiérarchie des digestibilités. En ce qui concerne les processus d'absorption, les données obtenues en mesurant des disparitions, soit au cours de perfusion d'anses intestinales isolées (BURACZEWSKI, 1980 a), soit par différence entre deux sites de dérivation sur l'intestin *in situ* (BURACZEWSKI, 1980 b), fournissent dans le cas des EAA une hiérarchie assez reproductible, quel que soit le substrat protéique étudié : MET, ARG, LEU ont les meilleurs coefficients d'absorption apparente ; VAL et ILE se situent en position intermédiaire ; LYS et THR ont généralement la moins bonne absorption apparente. Ces éléments fondés sur les bilans de disparition de la lumière digestive concordent avec la hiérarchie des digestibilités des AA déjà mentionnée (fig. 2 et 3 B). Il y a par contre divergence entre ces mesures de disparition et la mesure de l'apparition des EAA dans le sang portal (RERAT, 1981 b) : on remarque, en particulier, que MET et ARG ont, selon cette méthode, les plus mauvais coefficients d'absorption. Dans le cas particulier d'un régime poisson, la digestibilité de la CYS est bien inférieure à celle de la MET (fig. 2), tandis qu'à l'inverse l'absorption de la CYS s'avère très supérieure lors de mesure au niveau du sang portal (RERAT, 1981 b).

Les contradictions relevées ci-dessus appellent deux types de réserves. Sur un plan méthodologique : la longueur d'intestin concernée, la concentration des différents AA, la forme sous laquelle ils sont présents, et la durée d'expérience ne sont pas les mêmes. Sur le plan des phénomènes étudiés, les deux types de méthodes sont soumis à des interférences : transformation et utilisation par la flore pour les mesures de disparition de la lumière ; transformation et utilisation par la paroi digestive pour les mesures d'apparition dans le sang.

5. Digestibilité iléale et digestibilité fécale

Même si l'on s'en tient à des mesures de disparition des AA de la lumière digestive, la question reste posée du site de prélèvement qui permet la meilleure approche de leur disponibilité. Les différences enregistrées en moyenne entre digestibilités iléale et fécale des AA pour les mêmes régimes (fig. 3 C) traduisent bien l'importance du rôle de la flore du gros intestin. Globalement les digestibilités apparentes fécales de l'azote et de l'ensemble des AA sont voisines des digestibilités réelles correspondantes mesurées à l'extrémité distale de l'intestin grêle. Ceci signifie simplement que l'erreur due à la fraction endogène sur la mesure de digestibilité iléale et celle due à l'action de la flore sur la digestibilité apparente fécale sont du même ordre de grandeur. Par rapport au profil moyen observé au niveau iléal, un profil voisin subsiste malgré la réduction de la dispersion des valeurs.

Pendant, plusieurs cas sont à envisager. Les AA résiduels les plus abondants au niveau iléal, et qui seraient en première approximation également abondants dans l'endogène, sont aussi dégradés en plus grande quantité par la flore caeco-colique (RERAT, 1978). Il s'agit d'ASX, THR, GLY, ALA, PRO. Pour ces AA, on a donc un écart important entre les valeurs iléale et fécale, cette dernière étant la plus élevée. A l'inverse certains AA, ayant une digestibilité élevée au niveau iléal, sont retrouvés en quantité plus importante au niveau fécal. C'est le cas en particulier de la MET, dont la digestibilité fécale est moins élevée que la digestibilité iléale (fig. 3 C). Ceci confirme l'existence d'une synthèse nette de méthionine dans le gros intestin, déjà mentionnée (RERAT, 1978). Le tableau 3 rapporte, à côté des valeurs que nous obtenons

TABLEAU 3

Quantités moyennes (g) d'AA résiduels collectées aux niveaux iléal et fécal correspondant à un repas d'épreuve d'un régime à base d'amidon de maïs et farine de poisson et du régime protéoprive utilisé chez les mêmes animaux.

Mean quantities (g) of residual AA collected at the ileal and fecal levels after a test-meal of a maize starch and fish meal diet and of the protein-free diet given to the same animals.

Acides aminés <i>Amino acids</i>	Iléon : quantités (g) collectées en 24 h <i>Ileum : quantities (g) collected over 24 h</i>			Feces : quantités (g) collectées en 24 h <i>Feces : quantities (g) collected over 24 h</i>		
	Régime poisson	Régime protéoprive	Δ	Régime poisson	Régime protéoprive	Δ
	<i>Fish meal diet</i>	<i>Protein-free diet</i>	Δ	<i>Fish meal diet</i>	<i>Protein-free diet</i>	Δ
THR	1,19	0,51	0,68	1,25	0,59	0,66
VAL	1,24	0,54	0,70	1,57	0,65	0,92
ILE	0,91	0,36	0,55	1,33	0,54	0,79
LEU	1,44	0,64	0,80	1,83	0,78	1,05
TYR	0,74	0,35	0,39	0,89	0,53	0,36
PHE	1,16	0,40	0,76	1,23	0,49	0,74
LYS	1,51	0,50	1,01	1,71	0,73	0,98
HIS	0,50	0,19	0,31	0,52	0,21	0,31
ARG	1,01	0,43	0,58	1,14	0,50	0,64
CYS	0,53	0,20	0,33	0,44	0,26	0,18
MET	0,49	0,11	0,38	0,72	0,25	0,47
ASX	3,91	0,84	3,07	3,00	1,16	1,84
SER	1,29	0,44	0,85	1,03	0,45	0,62
GLX	3,05	0,94	2,11	3,34	1,26	2,08
PRO	1,11	0,43	0,68	1,17	0,57	0,60
GLY	2,30	0,66	1,64	1,75	0,63	1,12
ALA	1,44	0,49	0,95	1,63	0,71	0,92
Somme tous AA .. <i>Sum AA</i>	23,82	8,03	15,79	24,60	10,32	14,28
Azote total . <i>Total nitrogen</i>	5,33	1,44	2,89	6,94	2,32	4,62

Δ est l'écart des quantités collectées entre régimes, en chacun des sites d'étude - Δ is the between-diets difference of collected quantities, either at the ileal or the faecal level.

nons au niveau iléal, celles des quantités d'AA excrétées au niveau fécal avec un régime contenant la même farine de poisson, et avec le témoin protéoprive correspondant (RERAT & DUEE, données non publiées). La comparaison des quantités d'AA, corrigées en fonction des valeurs obtenues en protéoprive (Δ poisson-protéoprive), entre les 2 sites, confirme les informations bibliographiques précédemment évoquées. Entre l'extrémité de l'intestin grêle et celle du tube digestif, les quantités de CYS, ASX, SER, PRO et GLY diminuent (augmentation de la digestibilité réelle) et à l'inverse les quantités de VAL, ILE, LEU, ARG et MET augmentent (diminution de la digestibilité réelle).

6. *Conséquences générales : aspects fondamentaux et appliqués*

Les conclusions relatives aux valeurs de digestibilité sont de nature différente selon qu'on s'intéresse aux applications possibles dans la formulation des régimes ou, sur un plan plus fondamental, à la compréhension des mécanismes physiologiques sous-jacents.

Sur un plan appliqué, les résultats obtenus dans ce travail apportent quelques éléments de réponse aux questions que nous nous sommes initialement posées. Pour plusieurs raisons, on ne peut pas se satisfaire de la seule digestibilité des matières azotées comme valeur de prédiction de la digestibilité des AA. Du fait de la présence de quantités non négligeables d'azote sous forme autre qu'AA dans l'aliment et/ou dans les digesta, l'azote total peut ne pas être un bon critère. On peut penser à le remplacer par un critère plus spécifique des AA : l'azote α -aminé. Mais on se heurte alors au problème de la dispersion des valeurs individuelles des AA autour d'une valeur moyenne. Celle-ci est d'autant plus importante que la digestibilité moyenne est faible. Pour une source protéique telle que notre farine de poisson, les écarts entre AA sont observés aussi bien pour les digestibilités réelles qu'apparentes. La dispersion est telle que, même dans l'hypothèse extrême d'une médiocre fiabilité du critère digestibilité (± 2 points autour de la valeur calculée), une valeur unique pour l'ensemble des AA conduit à de mauvaises estimations. Pour ce qui est du site de mesure, nos résultats, ainsi que la moyenne de ceux de la littérature, confirment l'existence d'écarts souvent importants entre les niveaux iléal et fécal. Ces différences sont fonction à la fois de la source protéique et des AA considérés. En effet, l'écart global entre les valeurs iléales et fécales est d'autant plus grand que la digestibilité est moins bonne au niveau iléal (DARCY & LAPLACE, 1981). De plus, on peut conclure à l'existence de 2 groupes d'AA qui subissent des sorts différents dans le gros intestin : les uns soumis à une dégradation nette voient leur digestibilité augmenter entre iléon et fèces (ASX, THR, GLY, PRO) ; à l'inverse ceux qui font l'objet d'une synthèse nette, sous l'action de la flore, voient leur digestibilité diminuer (MET et à un moindre degré VAL, ILE, LEU). Dans la mesure où cette activité de la flore microbienne est à l'origine d'écarts importants entre les mesures iléales et fécales, de sens variable selon les AA, et de surcroît de peu de bénéfice pour l'animal hôte, il est effectivement plus adéquat de mesurer les disparitions à l'extrémité distale de l'intestin grêle. Enfin, si l'on cherche à apprécier la disponibilité des AA, au sens de leur mise à disposition de l'organisme pour la synthèse protéique, ou même, de matière plus restrictive, de mise à disposition de l'AA facteur limitant (MAURON, 1961), on doit souligner que la mesure iléale est une mesure d'utilisation digestive. On n'apprécie donc qu'une étape, importante certes, d'un ensemble de processus qui font que les AA sont plus ou moins disponibles. Ces résultats sont donc à

comparer à d'autres mesures *in vivo* (apparition dans le sang) et *in vitro* (dégradabilité enzymatique, utilisée surtout dans le cas de la LYS). Enfin, ils sont à corrélés aux performances de croissance des animaux. La meilleure maîtrise des facteurs de variation de la disponibilité des AA, devrait permettre d'établir valablement des équations de prédiction à partir de paramètres simples à mesurer (TAVERNER & FARRELL, 1981 a et b).

Sur un plan plus fondamental, et indépendamment des différences existant d'une part entre les niveaux iléal et fécal et d'autre part entre les mesures iléales apparentes et réelles, on doit conclure à l'existence effective d'un « profil » des valeurs de digestibilité. Sauf cas particuliers de sources protéiques totalement digestibles ou presque (gluten de blé), il existe donc une hiérarchie assez répétable des AA quant à leur disparition de la lumière digestive. Les quelques informations susceptibles d'expliquer cette hiérarchie concernent essentiellement les mécanismes d'absorption (hydrolyse par les aminopeptidases et transport à travers la paroi intestinale). Là aussi les résultats obtenus *in vitro* et *in vivo* sont à comparer. Il serait particulièrement intéressant de mieux évaluer les prélèvements et transformations effectués par la paroi.

Enfin, les résultats rapportés dans cet article ne concernent que les bilans établis sur 24 h. Il nous a semblé important d'effectuer une analyse plus détaillée des phénomènes en fonction du temps écoulé après le repas. L'étude de la composition des digesta en AA et de son évolution au long du nyctémère fait l'objet de l'article suivant. Elle devrait permettre notamment d'évaluer les parts respectives des fractions exogène, endogène, et microbienne, à différents temps post-prandiaux.

Accepté pour publication en mai 1982.

Summary

Protein digestion in the small intestine of the pig.

I. - Aminoacid digestibility according to the dietary protein source of a maize starch based diet

The digestibility of aminoacids (AA) was studied in the distal part of the pig small intestine after feeding of two very different protein sources. Five castrated Large White male pigs with an average weight of 59 kg were subjected to a post-valvular ileo-colic fistulation (DARCY, LAPLACE and VILLIERS, 1980 a). The animals received one daily meal including 16 p. 100 crude protein either in the form of fish meal or wheat gluten or they were offered a protein-free meal. Total nitrogen and AA contents of the feeds were determined as well as those of the digesta collected 4, 6, 8, 14 and 24 h after the meal. The apparent digestibilities of nitrogen and AA were measured on the basis of the total quantities ingested and collected over 24 hours. True digestibilities were calculated on account of data obtained with the protein-free diet.

The AA composition of the diets is described in figure 1. The actual mean quantities ingested and collected in each case are given in Table 2. The amounts of AA collected with the protein-free diet were the same whatever the animal and test day involved and former protein diet used. The amounts of AA, both individual and total, did not differ between wheat gluten or protein-free diets. On the other hand, the quantities collected after the fish meal were 3 times higher. The corresponding digestibilities are described in figure 2. In the case of the fish diet the apparent and true digestibility patterns of the different AA were analogous. In the case of the gluten diet, the apparent digestibility was

on an average 8 points higher than that of the fish diet. The true digestibility ranged around 100 p. 100 ; the difference between nitrogen and average AA was much lower than with the fish diet.

Nitrogen digestibility appeared to be a bad criterion for predicting the AA digestibility in the case of a diet based on fish meal. This means AA digestibility is by itself an insufficient criterion because of the dispersion of the values of each AA, especially some essential ones. As a matter of fact there seems to be a rather repeatable AA hierarchy with highly variable diets (Fig. 3). The faecal digestibilities of most AA exhibit a similar hierarchy. However, because of the existence of large distortions for some of these AA, depending on the activity of the caeco-colic flora, the faecal digestibility may lead to erroneous estimations of their availability. For some diets, the ileal apparent digestibility of amino acids gives a good picture of the true digestibility. However, its validity depends on the variability of the endogenous supplies and on uneasy evaluation of the latter.

Références bibliographiques

- ALIMON A.R., FARRELL D.J., 1980. Studies on pigs prepared with re-entrant cannulas. 2) Disappearance of dry matter, nitrogen and amino acids from diets containing different protein sources. *Austr. J. agric. Res.*, **31**, 627-635.
- BURACZEWSKA L., BURACZEWSKI S., ZEBROWSKA T., 1975. Digestion and absorption in the small intestine of pigs. 2. - Aminoacid content in digesta and their absorption. *Rocz. Nauk. roln.*, **97** (B), 103-115.
- BURACZEWSKI S., 1980 a. Digestion of proteins and absorption of aminoacids in the digestive tract of pigs. *Arch. Tierernähr.*, **30**, 29-40.
- BURACZEWSKI S., 1980 b. Aspects of protein digestion and metabolism in monogastric animals. *3rd E.A.A.P. Symposium on Protein metabolism and nutrition*, n° 14, 16 pp., Braunschweig, 5-9 may 1980.
- CORRING T., SAUCIER R., 1972. Sécrétion pancréatique sur porc fistulé. Adaptation à la teneur en protéines du régime. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **12**, 233-241.
- DARCY B., LAPLACE J.P., 1980. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 1) Définition des conditions d'obtention des digesta. *Ann. Zootech.*, **29**, 137-145.
- DARCY B., LAPLACE J.P., 1981. Bilans nutritionnels chez le porc selon la nature de l'amidon (blé ou maïs) et la source de protéines (poisson ou gluten). *Ann. Zootech.*, **30**, 63-76.
- DARCY B., LAPLACE J.P., VILLIERS P.A., 1980 a. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 2) Cinétique comparée de passage des digesta selon le mode de fistulation, ileo-caecale ou ileo-colique post-valvulaire, dans diverses conditions d'alimentation. *Ann. Zootech.*, **29**, 147-177.
- DARCY B., LAPLACE J.P., VILLIERS P.A., 1980 b. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 3) Cinétique de passage de l'amidon et de l'azote au niveau iléal selon le mode de fistulation, la nature de l'amidon et le taux de protéines de l'aliment. *Ann. Zootech.*, **29**, 277-298.
- DARCY B., LAPLACE J.P., VILLIERS P.A., 1981. Digestion dans l'intestin grêle chez le porc. 4) Cinétique de passage des digesta au niveau de la jonction ileo-caeco-colique et bilans de la digestion selon la nature de l'amidon et la source de protéines alimentaires. *Ann. Zootech.*, **30**, 31-62.
- DEGOEY L.W., EWAN R.C., 1975. Effect of level of intake and diet dilution on energy metabolism in the young pig. *J. Anim. Sci.*, **40**, 1045-1052.
- HOLMES J.H.G., BAYLEY H.S., LEADBEATER P.A., HORNEY F.D., 1974. Digestion of protein in small and large intestine of the pig. *Br. J. Nutr.*, **32**, 479-489.
- IVAN M., BOWLAND J.P., 1976. Digestion of nutrients in the small intestine of pigs fed diets containing raw and autoclaved faba beans. *Can. J. anim. Sci.*, **56**, 451-456.
- IVAN M., FARRELL D.J., 1976. Nutritional evaluation of wheat. 5) Disappearance of components in digesta of pigs prepared with two reentrant cannulae. *Anim Prod.*, **23**, 111-119.

- KUIKEN K.A., LYMAN C.M., 1948. Availability of amino acids in some foods. *J. Nutr.*, **36**, 359-368.
- LOW A.G., 1979. Studies on digestion and absorption in the intestines of growing pigs. 6. - Measurements of the flow of amino acids. *Br. J. Nutr.*, **41**, 147-156.
- MAURON J., 1961. Progress in meeting needs of infants and preschool children. *Nat. Acad. Sci., Nat. Res. Council*, Washington Publ., **843**, 425-442.
- NASSET E.S., 1965. Role of the digestive system in protein metabolism. *Fed. Proc.*, **24**, 953-958.
- PION R., FAUCONNEAU G., 1966. Les acides aminés des protéines alimentaires. Méthodes de dosage et résultats obtenus. Cahier n° 6 *Aminoacides, peptides, protéines*, 157-175, A.E.C., Commeny.
- RERAT A., 1978. Digestion and absorption of carbohydrates and nitrogenous matters in the hindgut of the omnivorous non ruminant animal. *J. anim. Sci.*, **46**, 1808-1837.
- RERAT A., 1981 a. Contribution du gros intestin à la digestion des glucides et des matières azotées chez le monogastrique omnivore. *Reprod. Nutr. Develop.*, **21**, 815-847.
- RERAT A., 1981 b. Digestion and absorption of nutrients in the pig. Some new data concerning protein and carbohydrates. *World Rev. Nutr. Diet.*, **37**, 229-287.
- RERAT A., DUEE P.H., BOURDON D., CALMES R., 1979 a. Utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Comparaison de deux méthodes d'étude dans le cas du blé et de l'orge. In : *Journées Rech. Porcine en France*, 263-268, I.N.R.A.-I.T.P. Ed., Paris.
- RERAT A., LISOPRAWSKI C., VAISSADE P., VAUGELADE P., 1979 b. Métabolisme de l'urée dans le tube digestif du porc : données préliminaires qualitatives et quantitatives. *Bull. Acad. Vét. de France*, **52**, 333-346.
- RERAT A., VAISSADE P., VAUGELADE P., ROBIN D., ROBIN P., JUNG J., 1977. Détermination of nature and quantity of endogenous nitrogen absorbed during the digestion of a protein-free meal in the pig. In : *5th International Symposium on amino acids*, 8 pp., 21-26 Febr., Budapest.
- RERAT A., VAUGELADE P., VILLIERS P., 1980. A new method for measuring the absorption of nutrients in the pig : Critical examination. In LOW A.G. and PARTRIDGE I.G., *Current concepts of digestion and absorption in the pig*, 177-216, N.I.R.D., Reading, U.K.
- SAUER W.C., KENNELLY J.J., AHERNE F.X., CICHON R.M., 1981. Availabilities of amino acid of diet composition on the apparent digestibility of crude protein and amino acids at the terminal ileum and overall in pigs *Acta Agric. Scand.*, **30**, 449-459.
- SAUER W.C., KENNELLY J.J., AHERNE F.X., CICHON R.M., 1981. Availabilities of amino acid in barley and wheat for growing pigs. *Can. J. anim. Sci.*, **61**, 793-802.
- SAUER W.C., STOTHERS S.C., PARKER R.J., 1977 a. Apparent and true availabilities of amino-acids in wheat and milling by-products for growing pigs. *Can. J. anim. Sci.*, **57**, 775-784.
- SAUER W.C., STOTHERS S.C., PHILLIPS G.D., 1977 b. Apparent availabilities of amino acids in corn, wheat and barley for growing pigs. *Can. J. anim. Sci.*, **57**, 585-597.
- SOUFRANT W.B., KÖHLER R., MATKOWITZ R., GEBHARDT G., SCHMANDKE H., 1981. Ernährungsphysiologische Untersuchungen an Schweinen zur Beurteilung von modifizierter Proteinen. 2) Bestimmung des endogenen N im Dünndarminhalt mit Hilfe der ¹⁵N-Tracertechnik. *Arch. Tierernähr.*, **31**, 675-683.
- TAVERNER M.R., FARRELL D.J., 1981 a. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 3) A comparison of ileal availability values with faecal, chemical and enzymic estimates. *Br. J. Nutr.*, **46**, 173-180.
- TAVERNER M.R., FARRELL D.J., 1981 b. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 4) Factors influencing the availability of amino acids and energy in grains. *Br. J. Nutr.*, **46**, 181-192.
- TAVERNER M.R., HUME I.D., FARRELL D.J., 1981. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 2) Apparent and true availability. *Br. J. Nutr.*, **46**, 159-171.
- WUNSCH J., ZEBROWSKA T., HENNIG U., KREIENBRING F., MEINL M., KRAWIELITZKI K., BORGMANN E., VOLKER T., IDZIOR B., BOCK H.D., BURACZEWSKI S., 1979 a. Untersuchungen über die Protein verdaulichkeit und Aminosäurenresorption in verschiedenen

Abschnitten des Verdauungstraktes beim Schwein. 1) Tierversuchsmethodik Proteingehalte und Aminosäuremuster des Dünndarmchymus und des Kotes bei Fütterung unterschiedlicher Rationen. *Arch. Tierernähr.*, **29**, 151-164.

WUNSCHÉ J., BOCK H.D., HENNIG U., KREIENBRING F., BORGMANN E., 1979 b. Untersuchungen über die Proteinverdaulichkeit und Aminosäurenresorption in verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes beim Schwein. 2) Die Protein und Aminosäurenbilanz am Ende des Dünndarms und des gesamten Verdauungstraktes (scheinbare und wahre Protein und Aminosäurenverdaulichkeit). *Arch. Tierernähr.*, **29**, 221-234.

ZEBROWSKA T., BURACZEWSKA L., BURACZEWSKI S., 1978. The apparent digestibility of aminoacids in the small intestine and in the whole digestive tract of pigs fed diets containing different sources of protein. *Rocz. Nauk. Roln.*, **99** (B), 87-98.

Annexe (Appendix)

Liste des éléments bibliographiques utilisés pour la constitution de la figure 3, avec indication de la référence d'origine, et de la nature de la source de protéines alimentaires concernée. Les lettres a, b, c, indiquent que les données correspondantes sont prises en compte respectivement dans la partie A, B ou C de la figure 3.

Literature data used to build figure 3, indicating the original reference and the kind of dietary protein used. The letters a, b, c show that the corresponding data are taken into account in part A, B or C, respectively of figure 3.

HOLMES *et al.*, 1974 :

tourteau de soja - <i>soyabean meal</i>	a, c
tourteau de colza - <i>rapeseed meal</i>	a, c

IVAN et FARRELL, 1976 :

blé dur - <i>hard wheat</i>	a, c
blé tendre - <i>soft wheat</i>	a, c
amidon de maïs + caséine - <i>maize starch + casein</i>	a, c

IVAN et BOWLAND, 1976 :

féverole crue - <i>raw horse bean</i>	a, b
féverole chauffée (30 °C) - <i>heated (30 °C) horse bean</i>	a, b
féverole chauffée (60 °C) - <i>heated (60 °C) horse bean</i>	a, b

SAUER, STOTHERS et PARKER, 1977 :

blé - <i>whole wheat</i>	a, c
farine de blé - <i>wheat flour</i>	a, c
issues de meunerie - <i>milling shorts</i>	a, c

SAUER, STOTHERS et PHILLIPS, 1977 :

maïs - <i>maize</i>	a, c
blé - <i>wheat</i>	a, c
orge - <i>barley</i>	a, c

ZEBROWSKA, BURACZEWSKA, BURACZEWSKI, 1978 :

orge + concentré protéique - <i>barley + protein concentrate</i>	a, c
orge + tourteau de soja - <i>barley + soyabean meal</i>	a, c
tourteau de soja - <i>soyabean meal</i>	a, c
caséine - <i>casein</i>	a, c
féverole - <i>horse bean</i>	a, c

Low, 1979 :

amidon + sucre + caséine - <i>starch + sucrose + casein</i>	a, c
amidon + sucre + tourteau d'arachide - <i>starch + sucrose + groundnut meal</i> ..	a, c
orge + issues de meunerie + farine de poisson - <i>barley + milling shorts + fish meal</i>	a, c

WÜNSCHE *et al.*, 1979 b :

gluten de blé + lysine - <i>wheat gluten + lysine</i>	a, b, c
blé + gluten de blé + lysine - <i>wheat + wheat gluten + lysine</i>	a, b, c
poudre de lait écrémé - <i>skimmed milk powder</i>	a, b, c
standard - <i>standard</i>	a, b, c

SAUER *et al.*, 1980 :

orge + tourteau de soja - <i>barley + soyabean meal</i>	a, c
---	------

ALIMON et FARRELL, 1980 :

blé + farine de poisson - <i>wheat + fish meal</i>	a
--	---

TAVERNER, HUME et FARRELL, 1981 :

blé - <i>wheat</i>	a, b, c
maïs - <i>maize</i>	a, b, c
orge - <i>barley</i>	a, b, c

SAUER *et al.*, 1981 :

blé (4 cultivars) - <i>wheat (4 cultivars)</i>	a, b, c
orge (4 cultivars) - <i>barley (4 cultivars)</i>	a, b, c