

# **Impact des pertes endogènes iléales sur la rétention azotée corporelle Vers un nouveau système d'évaluation des protéines**

V. HESS (1), B. SÈVE (1), S. LANGER (2), G. DUC (3)

(1) INRA, Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles

(2) AGRIBRANDS Europe - Aribau 197-199, 08021 Barcelone, Espagne

(3) INRA, Station de Génétique et d'Amélioration des Plantes, Domaine d'Époisses - 21110 Bretenières

## **Impact des pertes endogènes iléales sur la rétention azotée corporelle. Vers un nouveau système d'évaluation des protéines**

Deux essais ont été réalisés pour mesurer au niveau de l'iléum terminal du porc la digestibilité réelle et les pertes endogènes de l'azote et des acides aminés avec la technique de la dilution isotopique. Trois variétés de pois (Solara, Eiffel et Madria) et l'effet du microbroyage puis 3 variétés de fèves (EE, EB et Blandine) ont été testés sur des porcs en croissance ayant subi une anastomose iléo-rectale. Dans l'essai 1, la digestibilité vraie de la variété Madria était moins élevée que celle des deux autres variétés. Dans l'essai 2, il n'y avait pas de différence entre les trois variétés de fève. Les pertes endogènes iléales étaient moins importantes et la digestibilité réelle plus forte avec la variété de pois Solara qu'avec les deux autres. Le microbroyage n'a pas influencé les pertes endogènes et a amélioré la digestibilité réelle comme la digestibilité vraie. Il n'y a pas de différence entre les trois fèves en terme de digestibilité réelle, la variété Blandine tend à induire moins de pertes endogènes iléales. Les mesures de bilan d'azote permettent de mettre en évidence un coût métabolique additionnel des pertes iléales de protéines endogènes et de l'évaluer à 1,2 fois la valeur de ces pertes. La correction de la digestibilité réelle par la prise en compte des pertes endogènes et de leur coût métabolique conduit à définir un nouveau critère de disponibilité.

## **Impact of the endogenous ileal losses on the body of nitrogen retention. Toward a new protein evaluation system**

Two experiments were carried out to measure nitrogen and amino acids real digestibility and ileal endogenous losses using the isotope dilution method. Three pea cultivars (Solara, Eiffel et Madria) and the effect of micro grinding, then three faba beans cultivars were tested using ileo-rectal anastomosed growing pigs. In the first experiment, the true digestibility was lower for the Madria than the two other cultivars. In the second experiment, no difference was found among the three faba beans cultivars. With Solara, the ileal endogenous losses were less important and the real digestibility was higher than with the two others cultivars. The micro grinding did not influence the ileal endogenous losses but improve the real as well as the true digestibility. There was no difference in real digestibility between the three faba beans. Nitrogen balance measurements provided evidence for the metabolic cost of ileal endogenous protein losses. We could estimate this cost at 1.2 times the value of the ileal losses. Correcting the real endogenous with both the ileal losses and their metabolic cost led to define a new availability coefficient.

## INTRODUCTION

En nutrition porcine, les besoins en acides aminés (AA) sont exprimés en AA disponibles. Pour évaluer les protéines, des mesures de digestibilités sont réalisées au niveau de l'iléum car elles y reflètent mieux la disponibilité qu'au niveau fécal (LOW, 1982). Ces considérations ont conduit à exprimer des recommandations alimentaires en termes d'apport d'AA digestibles.

Pour assurer la digestion, le porc sécrète dans la lumière intestinale des protéines. Au niveau de l'iléum, ces protéines endogènes sont mélangées aux protéines alimentaires indigestibles. Jusqu'à une époque récente, le flux endogène était mesuré avec un régime protéoprive. Nous avons montré précédemment que le flux d'azote total mesuré avec des protéines de pois était significativement supérieur à celui mesuré avec un régime protéoprive (HESS et al, 1998). Les pertes endogènes résultant de l'ingestion d'un régime protéoprive à base d'amidon et peu cellulosique sont minimales, elles correspondent par définition aux pertes endogènes basales.

La correction du flux iléal par les pertes endogènes basales conduit à la digestibilité vraie ou standardisée. La correction du flux par les pertes endogènes totales, regroupant les pertes basales et des pertes dites "spécifiques" conduit à la digestibilité réelle. Il est donc certain que la digestibilité vraie sous-estime la digestibilité réelle des protéines.

Toutefois, la digestibilité réelle ne représente pas la disponibilité. Si le porc, suite à l'ingestion de certaines matières premières alimentaires, doit synthétiser une quantité plus importante de protéines pour assurer la digestion, ceci aura deux conséquences. Premièrement, une fraction de ces protéines passant l'iléum sera perdue et ne sera donc disponible ni pour l'entretien ni pour la croissance. Deuxièmement, des pertes métaboliques supplémentaires seront induites par le processus de synthèse protéique. Les AA ainsi dépensés seront également indisponibles. Pour quantifier plus précisément la disponibilité des AA alimentaires, il convient donc non seulement d'évaluer la fraction alimentaire indigérée mais aussi les quantités de protéines endogènes perdues et le coût de leur synthèse.

Deux expériences ont été réalisées selon un même schéma expérimental. En plus des mesures de digestibilité iléales, des collectes d'urine ont été réalisées pour évaluer l'impact de la stimulation des pertes endogènes sur la rétention protéique.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Animaux, régimes et schéma expérimental

Trois variétés de pois (essai 1, Solara, Madria et Eiffel) et trois de féverole (essai 2, EE, EB et Blandine) ont été cultivées. Pendant la culture, une partie de la parcelle a reçu de l'engrais enrichi en 15N (nitrate d'ammonium 11,5 % d'enrichissement ; Cambridge Isotope Labs., Inc., Andover, Massachusetts). Les graines ont été broyées de la manière habituelle (grille de 2,5 mm). De plus, un "microbroyage"

expérimental a été testé sur la variété Solara. Les résultats de l'essai 1 ont été partiellement présentés (HESS et al, 1998).

Les porcs des deux essais sont des mâles castrés Piétrain x Large white ayant subi une anastomose iléo-rectale termino-terminale (LAPLACE et al, 1989). Dans l'essai 1, 5 porcs reçoivent successivement 4 régimes protéiques, permettant de comparer les 3 variétés de pois et le pois microbroyé, et un régime protéoprive (tableau 1). Dans l'essai 2, 4 porcs reçoivent successivement 4 régimes protéiques permettant de comparer les 3 variétés de féverole et un pois (données non présentées ici). Les dispositifs expérimentaux sont en carré latin. Toutefois, dans l'essai 2, 2 porcs n'ont pu accomplir leurs 4 périodes de mesure. Ils ont donc été remplacés, ce qui porte l'effectif à 6 porcs.

Chaque régime protéique apporte les graines de la variété de légumineuses étudiées comme seule source de protéine. Du L-tryptophane et de la DL-méthionine libres sont ajoutés afin d'approcher la composition de la protéine idéale (WANG et al, 1989). Pour chaque matière première, deux aliments sont fabriqués: un aliment renfermant la matière première non marquée et un aliment renfermant la matière première marquée à l'azote 15N et de l'oxyde de chrome.

Le niveau d'alimentation des animaux est fixé à 80 g de matière sèche ingérée par kilo de poids métabolique PV<sup>0,75</sup>. Les aliments sont servis sous forme de soupe deux fois par jour. Les animaux sont pesés une fois par semaine en début de période. Après 4 jours d'adaptation, des collectes complètes de digesta sont effectuées sur 2 jours (les 5 et 6<sup>ème</sup> jours de la période) au lieu des 3 jours habituels sauf pour le régime protéoprive. Les jus iléaux sont collectés dans des bacs avec 500 ml l'acide sulfurique 0.7 M deux fois par jour au moment des repas. Les urines sont collectées quotidiennement dans 20 ml d'acide sulfurique 1.9 M. Le matin du 7<sup>ème</sup> jour, à 8H00, les animaux reçoivent un repas d'épreuve doublement marqué à l'oxyde de chrome et à l'<sup>15</sup>N représentant une demi-ration quotidienne. La seconde moitié de la ration est distribuée à 15H30 et n'est pas marquée. Les digesta sont collectés toutes les heures de 10 à 17 heures dans des sachets de plastique sans acide. Ils sont immédiatement pesés et congelés.

### 1.2 Analyses

Tous les échantillons (sauf les urines) sont lyophilisés. L'azote est déterminé par la méthode de Dumas (Leco FP 428, St Joseph, Missouri, USA) et les matières sèches par dessiccation à l'étuve à 103°C. Les échantillons des collectes fractionnées sont analysés pour le chrome par colorimétrie (PONCET et al, 1980), et pour l'azote 15N à l'aide d'un analyseur élémentaire (Carlo Erba, NA 1500) couplé à un spectromètre de masse isotopique (Optima, Micromass, Manchester).

Les AA sont séparés sur colonne échangeuse d'ion (analyseur Biotronik LC 5000) après une hydrolyse acide (HCl, 6N) de 23 heures. Un facteur de correction de 1,05 est appliqué pour la valine, l'isoleucine et la sérine. Les AA souffrés sont stabilisés grâce à une oxydation performique avant une hydrolyse acide (HCl 6N) de 18 heures. Le tryptophane

**Tableau 1** - Composition des régimes expérimentaux

	Essai 1					Essai 2		
	PF	Solara	Micro	Madria	Eiffel	EE	EB	Blandine
<b>Protéagineux</b>	-	78.37	73.59	84.40	78.84	58.64	65.27	50.52
<b>Amidon de maïs</b>	79.42	10.14	14.92	4.40	9.70	30.00	23.53	37.97
<b>Cellulose de bois</b>	5	-	-	-	-	-	-	-
<b>Huile de maïs</b>	3	-	-	-	-	-	-	-
<b>Sucre</b>	5	3.35	3.35	3.23	3.34	5.00	5.00	5.00
<b>KCl</b>	0.27	-	-	-	-	-	-	-
<b>NaCl</b>	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
<b>NaCO<sub>3</sub></b>	1.46	1.43	1.43	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44
<b>MgCl</b>	0.33	-	-	-	-	-	-	-
<b>CaHPO<sub>4</sub></b>	2.03	0.76	0.76	0.66	0.75	0.98	0.82	1.19
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	1.57	1.91	1.91	1.94	1.91	1.82	1.87	1.76
<b>Méthionine</b>	-	0.29	0.29	0.28	0.29	0.17	0.14	0.17
<b>Tryptophane</b>	-	0.8	0.8	0.9	0.8	0.3	0.3	0.3
<b>Analyses chimiques</b>								
Matière sèche	89.37	89.34	89.42	88.32	88.38	88.82	88.83	88.95
N (%)	0.07	2.42	2.42	2.40	2.43	2.71	3.03	2.44
NDF (%)	4.14	7.88	-	11.48	8.76	9.80	10.05	9.41
ADF (%)	2.81	4.70	-	5.17	4.01	6.23	7.06	6.36
TIU (par g)	-	3090	-	3190	2653	2170	3363	3543

est dosé par HPLC après une hydrolyse alcaline de 20 h à 110 °C dans la baryte 1,66 M. L'enrichissement en <sup>15</sup>N des AA ([<sup>15</sup>N]AA) est déterminé à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (Isochrom, Micromass, Manchester).

### 1.3. Calculs

Le coefficient d'utilisation digestive vraie (CUDv) est calculé comme suit lors de la collecte de 2 jours:

$$\text{CUDv} = 1 - (\text{E} - \text{endo-basal}) / \text{I}$$

Où I = quantité d'N ou AA ingérés par kg de par kg de matière sèche ingérée (MSI)

E = quantité d'N ou AA excrétée par kg de MSI

endo-basal = la quantité de d'N ou AA excrétée par kg de MSI lors de l'ingestion d'un régime protéoprive.

Le coefficient de digestibilité réelle (CUDr), calculé à l'aide des deux équations suivantes, est assimilé au coefficient de digestibilité de l'azote <sup>15</sup>N ou de l' [<sup>15</sup>N]AA, mesuré lors de la distribution du repas marqué, en utilisant l'oxyde de chrome comme marqueur de la matière sèche non digérée.

$$\text{Endo total} = (1 - \text{E15digesta} / \text{E15régime}) \times \text{Ne} \times \text{Cri} / \text{Crd}$$

$$\text{CUDr} = 1 - (\text{E} - \text{endo-total}) / \text{I}$$

Où Endo total = les pertes endogènes totales par kg MSI ;  
E15digesta et E15régime = l'enrichissement des digesta et du régime ;

Ne = la quantité d'N ou AA excrété ;

Cri et Crd sont les quantités de chrome par kg de matière sèche dans le régime et les digesta.

Le flux endogène total est calculé, comme indiqué dans l'équation ci-dessous, en retranchant du flux iléal total, mesuré lors des collectes de 2 jours, le flux alimentaire estimé à partir du coefficient de digestibilité réelle (HESS et al, 1999).

$$\text{Endo total} = \text{E} - \text{I} \times (1 - \text{CUDr} / 100)$$

Le modèle suivant décrit la partition de l'azote réellement digéré entre les pertes endogènes et la rétention protéique corporelle lorsque l'azote est le facteur limitant du dépôt :

$$\text{I} \times \text{CUDr} = \text{Nr} / \text{K}_b + \text{endo total} / \text{K}_e$$

$$\text{Nr} / (\text{I} \times \text{CUDr}) = \text{K}_b - (\text{endo total} / (\text{I} \times \text{CUDr})) \times (\text{K}_e / \text{K}_b)$$

Où Nr = l'azote retenu (mesuré grâce au bilan d'azote) ;  
K<sub>e</sub> et K<sub>b</sub> = les coefficients d'efficacité de rétention de l'azote et de synthèse nette des protéines endogènes, respectivement.

**Tableau 2** - Coefficients de digestibilité vraie mesurés dans les essais 1 et 2

	Essai 1					Essai 2			
	Solara	Micro	Madria	Eiffel	RSD	EE	EB	Blandine	RSD
<b>Nb de mesures</b>	5	5	5	5		6	5	5	
<b>N</b>	76,1x	90,21z	66,5y	75,1x	2,3	77,9	78,4	75,8	3,7
<b>Acides aminés essentiels</b>									
Arg	86,9x	94,8z	84,4y	85,4xy	1,5	90,5	89,6	90,6	2,6
His	86,9x	94,8z	84,4y	85,4xy	1,8	83,7	83,0	84,7	2,2
Lys	82,0x	92,6z	76,6y	81,5x	1,7	85,1	84,0	85,8	2,8
Phe	74,8x	88,2z	69,5y	73,9x	2,3	79,5	79,2	80,9	3,9
Leu	75,7x	88,2z	69,9y	76,0x	1,8	80,2	79,2	81,5	3,0
Ile	75,0x	88,6z	70,0y	75,2x	1,8	78,8	77,5	81,5	3,4
Val	72,8x	86,6z	67,7y	73,1x	2,1	78,4	76,8	80,6	3,3
Met	90,5x	96,0z	88,6y	90,3x	1,0	80,0	73,8	81,5	3,5
Thr	74,7x	87,3z	66,7y	73,1x	2,6	79,0	76,5	79,1	3,5
Trp	75,4x	90,0y	71,5y	75,0x	2,7	62,8	68,3	66,5	3,0
<b>Acides aminés non essentiels</b>									
Asp	79,7x	89,7z	72,9y	79,3x	2,1	83,4	81,9	84,0	3,2
Glu	81,0x	92,2z	75,5y	80,6x	2,3	85,4	84,4	86,4	2,4
Ser	77,4x	88,4z	71,1y	77,3x	2,5	81,6	80,0	81,5	3,6
Gly	76,7x	91,6z	70,2y	75,5x	3,0	77,5	74,7	77,0	3,2
Ala	74,9x	86,9z	65,5y	73,5x	2,7	78,1	75,7	78,7	3,6
Cys	63,2x	82,2z	56,5y	59,9xy	3,5	69,6	68,1	71,7	4,2
Tyr	78,9x	91,8z	72,7y	77,7x	2,3	78,8	77,8	80,2	3,3
Pro	79,0x	95,5z	72,4y	80,2x	2,5	79,6	78,3	80,1	3,6

Les moyennes auxquelles sont attribuées des indices différents sont significativement différentes entre elles ( $P < 0,05$ ).

Le coefficient de disponibilité vraie (CD) est alors calculé comme suit

$$CD = CUDr - ((\text{endo-total} - \text{endo-basal}) / K_e) / I$$

Les résultats sont analysés par analyse de variance avec la procédure GLM (SAS, 1989) en tenant compte des effets animal, période et régime. Si l'effet du régime est significatif, les moyennes sont comparées deux à deux (test de Student). L'estimation des coefficients  $K_e$  et  $K_b$  est réalisée à l'aide de la procédure NLIN.

## 2. RÉSULTATS

Les résultats de digestibilité vraie sont présentés dans le tableau 2. Dans l'essai 1, la variété Madria est moins digestible que les variétés Solara et Eiffel. Le microbroyage améliore la digestibilité des pois de variété Solara. Dans l'essai 2, on ne relève aucune différence entre les trois variétés de féverole.

Le tableau 3 présente les résultats de digestibilité réelle. Dans l'essai 1, la variété Eiffel est significativement plus digestibles

que les deux autres. Le microbroyage améliore significativement la digestibilité réelle du pois Solara. Dans l'essai 2, il n'y a pas de différence de digestibilité réelle entre les trois variétés de féverole. Comparativement au flux mesuré avec le régime protéoprive, le flux iléal endogène est stimulé par l'ingestion de graines de légumineuses tableau 4. Dans l'essai 1, le flux endogène iléal tend ou est significativement plus faible avec la variété Solara qu'avec les deux autres variétés. Le microbroyage n'influence pas le flux iléal endogène. Dans l'essai 2, on relève peu de différence entre les trois variétés de féverole. Toutefois, les graines de la variété Blandine induisent des flux endogènes iléaux de leucine, de valine, d'acide aspartique, de glycine et de tyrosine plus faibles que les deux autres variétés.

L'impact de la stimulation des pertes azotées iléales sur la rétention azotée corporelle est présenté sur la figure 1 (p 212). Les données sont exprimées en gramme par gramme d'azote réellement digéré. La rétention protéique a répondu linéairement à la stimulation des pertes endogènes selon l'équation suivante :

$$Y = 0,75 (\pm 0,031) - 1,51 (\pm 0,20) X ; R^2 = 0,63.$$

L'estimation des coefficients  $K_e$  et  $K_b$  est présentée sur la figure 2 (p 212).

**Tableau 3** - Coefficients de digestibilité réelle mesurés dans les essais 1 et 2

	Essai 1					Essai 2			
	Solara	Micro	Madria	Eiffel	RSD	EE	EB	Blandine	RSD
<b>Nb de mesures</b>	5	5	5	5		6	5	5	
<b>N</b>	81,3xy	90,1z	76,5x	83,2y	4,3	84,9	85,5	84,9	3,7
<b>Lys</b>	82,6xy	94,5z	80,1x	87,1y	3,7	88,8	88,1	87,9	3,6
<b>Phe</b>	78,0x	90,0z	77,8x	84,8y	3,2	83,6	82,6	82,2	5,6
<b>Leu</b>	79,5xy	90,0z	77,1x	82,7y	2,9	84,3	84,0	85,0	4,7
<b>Ile</b>	76,5xy	88,8z	75,8x	80,3y	3,4	84,4	83,8	81,6	4,3
<b>Val</b>	76,2x	89,1z	76,5x	81,0y	3,1	84,9	83,8	82,2	4,2
<b>Thr</b>	79,8x	90,3z	77,7x	83,6y	2,8	85,5	84,5	84,4	4,2
<b>Asp</b>	79,7x	92,3z	78,8x	84,0y	5,1	86,8	86,4	84,3	4,1
<b>Glu</b>	-	-	-	-	-	87,2	86,1	86,5	4,1
<b>Ser</b>	-	-	-	-	-	84,6	84,8	84,7	4,5
<b>Gly</b>	78,1xy	99,9z	76,3x	82,7y	3,2	85,0	84,3	82,6	3,6
<b>Ala</b>	79,2xy	89,7z	77,4x	82,6y	3,3	86,3	85,9	85,6	3,8
<b>Tyr</b>	74,2x	88,7z	76,9x	81,2x	5,1	82,0	82,7	80,0	4,9
<b>Pro</b>	77,6xy	88,5z	76,0x	82,4y	3,5	84,6	83,0	83,0	5,3

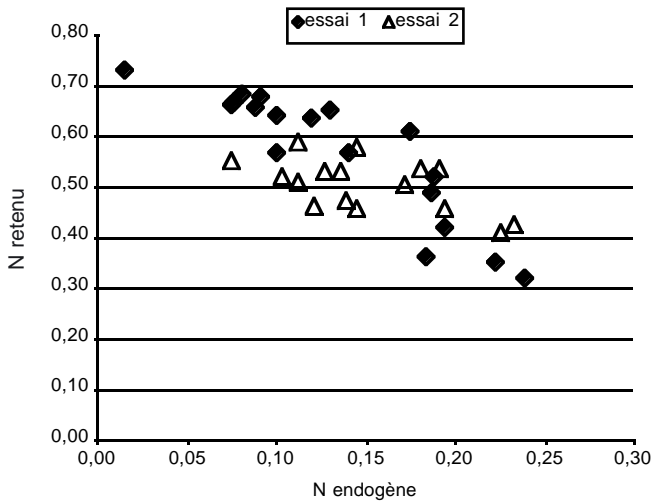
Les moyennes auxquelles sont attribuées des indices différents sont significativement différentes entre elles ( $P < 0,05$ ).

**Tableau 4** - Pertes endogènes totales mesurées au niveau iléal (g / kg MSI) dans les essais 1 et 2

	Essai 1						Essai 2			
	PF	Solara	Micro	Madria	Eiffel	RSD	EE	EB	Blandine	RSD
<b>Nb de mesures</b>	5	5	5	5	5		6	5	5	
<b>N</b>	1,87w	2,84wx	1,78w	4,60y	3,73xy	1,05	3,31	3,56	3,62	0,98
<b>Lys</b>	0,35w	0,42wxy	0,57wx	0,82xy	1,07y	0,39	0,72	0,77	0,51	0,20
<b>Phe</b>	0,35w	0,61x	0,50w	1,07xy	1,28y	0,24	0,67	0,62	0,43	0,33
<b>Leu</b>	0,58w	0,98xy	0,85wx	1,49y	1,44y	0,37	1,10	1,19	0,98	0,71
<b>Ile</b>	0,41w	0,51wx	0,45w	0,91x	0,83x	0,29	0,75 a	0,81 a	0,30 b	0,18
<b>Val</b>	0,46w	0,50w	0,70x	1,26x	1,15x	0,27	0,96 a	1,02 a	0,51 b	0,31
<b>Thr</b>	0,58w	0,89xy	0,81wx	1,36z	1,30yz	0,23	0,94	1,03	0,81	0,20
<b>Asp</b>	0,54w	0,77w	0,96wx	1,95x	1,63x	0,61	1,21 a	1,43 a	,59 b	0,36
<b>Glu</b>	-	-	-	-	-	-	1,20	1,19	0,71	0,87
<b>Ser</b>	-	-	-	-	-	-	0,69	0,86	0,68	0,32
<b>Gly</b>	0,74w	0,84w	1,36x	1,24x	1,29x	0,24	1,08 ab	1,27 a	0,90 b	0,19
<b>Ala</b>	0,47w	0,75xy	0,72wx	1,45z	1,18yz	0,28	1,08	1,26	0,91	0,30
<b>Tyr</b>	0,37w	0,38wx	0,27w	0,62x	0,57x	0,28	0,51 ab	0,63 a	0,31 b	0,18
<b>Pro</b>	0,96wx	0,79wx	0,53w	1,22x	1,11x	0,30	0,74	0,71	0,56	0,28

Les moyennes auxquelles sont attribuées des indices différents sont significativement différentes entre elles ( $P < 0,05$ ).

**Figure 1** - Conséquence des pertes endogènes iléales sur la rétention azotée corporelle. Chaque point représente une valeur expérimentale.



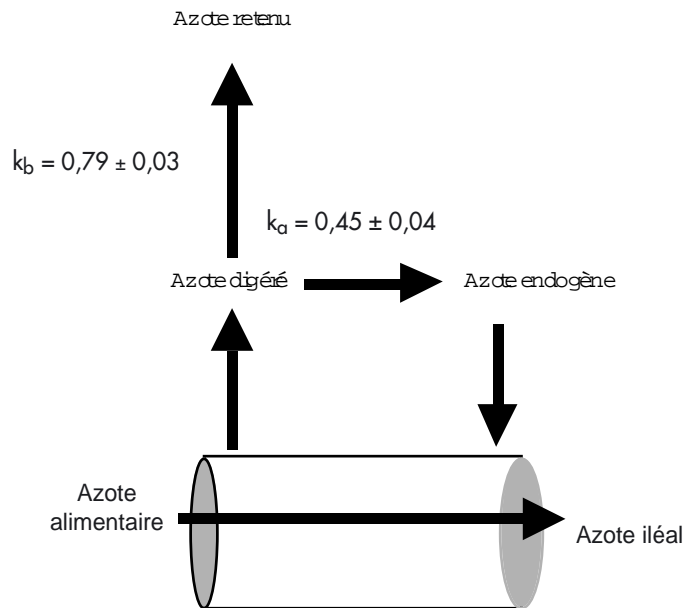
### 3. DISCUSSION

Le premier objectif de nos essais était de mesurer la digestibilité réelle et les pertes endogènes iléales totales. Nous avons retenu la méthode de la dilution isotopique parce que c'est aujourd'hui la seule à pouvoir apporter des informations sur tous les AA. Deux variantes de cette technique existent. Un marquage de l'animal peut être réalisé mais, pour des raisons d'économie, on ne perfuse qu'un AA marqué, la leucine. Les résultats se limitent aux AA susceptibles d'être marqués par transamination. Au contraire, la culture de végétaux sur un sol enrichi en  $^{15}\text{N}$  permet un marquage de tous les AA. Une mesure sur tous les AA est donc théoriquement possible. Nous présentons ici la digestibilité réelle de 13 AA. Malheureusement, nous ne sommes pas encore techniquement en mesure de fournir des données concernant les AA soufrés et le tryptophane.

Dans l'essai 1, la variété Solara ne diffère pas de la variété Eiffel en terme de digestibilité apparente ou vraie. Toutefois, la variété Eiffel est réellement plus digestible que la variété Solara au prix d'une augmentation des pertes endogènes. De plus, le microbroyage a amélioré la digestibilité sans influencer les pertes endogènes iléales. Les processus de digestion et de sécrétion sont indépendants.

Nous avons souligné en introduction que les pertes endogènes n'ont pas la même signification que les pertes alimentaires. En effet, ces pertes sont le résultat d'un processus de synthèse dans les tissus sécréteurs, suivi d'un processus de dégradation dans la lumière intestinale, environ 75 % étant réabsorbé et réutilisable par les synthèses tissulaires (SOUFRANT et al, 1986). On peut donc assimiler la perte iléale de protéines endogènes à un dépôt tissulaire. Ce dépôt s'effectue avec un certain rendement, inférieur à 100 %, impliquant des pertes métaboliques additionnelles d'AA. Dans une première approche de ce rendement, nous avons prélevé l'urine de nos porcs afin d'estimer leur bilan d'azote. Selon un schéma simplifié (figure 1), l'azote réellement digéré est utilisé soit pour le dépôt corporel (rétention), soit pour

**Figure 2** - Représentation schématique de la partition de l'azote digéré entre l'azote utilisé pour le dépôt corporel et l'azote utilisé pour le flux endogène iléal avec comme rendement de synthèse  $K_e$  et  $K_b$  respectivement.



le "dépôt" correspondant au flux de protéines endogènes dans le contenu iléal.

Les régimes ont été formulés selon la protéine idéale pour le porc en croissance. Le rendement de dépôt de l'azote obtenu est proche de 80 % ce qui est en accord avec les rendements de la protéine idéale rapportés dans la littérature (FULLER, 1991). Le rendement d'utilisation de l'azote digestible réel pour la synthèse des pertes endogènes a été estimé à 45%. Ce rendement paraît faible au regard des 80 % estimés pour le dépôt corporel. Cette "inefficacité" s'explique par l'augmentation du flux d'AA engagés dans la voie du catabolisme irréversible résultant de l'accélération du processus de synthèse-sécrétion-protéolyse-réabsorption associée à l'accroissement des pertes de protéines endogènes.

Dans l'essai 1, les variétés Solara et Eiffel ne diffèrent pas en termes de digestibilité. Toutefois, en terme de disponibilité, la variété Solara est supérieure à la variété Eiffel (tableau 5). Le critère de disponibilité permet de discriminer plus finement les matières premières et surtout de couvrir correctement les besoins de l'animal quelle que soit la matière première utilisée. On peut bien sûr supposer qu'il est préférable d'utiliser une variété moins réellement digestible mais stimulant moins les pertes endogènes. Mais il est toujours possible d'incorporer plus d'une matière première fournissant moins d'AA disponibles.

*Quelle confiance peut-on accorder aux valeurs de disponibilité ainsi déterminées?*

Les besoins du porc ont été expérimentalement déterminés avec des régimes composés d'AA libres ou de protéines très digestibles (caséine) qui ne stimulent pas ou très peu les pertes endogènes (WANG et al, 1989; CHUNG et al,

**Tableau 5** - Coefficients de disponibilité vraie calculés pour les essais 1 et 2

	Essai 1					Essai 2			
	Solara 5	Micro 5	Madria 5	Eiffel 5	RSD	EE 6	EB 5	Blandine 5	RSD
<b>N</b>	69,9y	91,7x	56,9z	65,9y	11,4	69,0	69,4	64,4	7,0
<b>Lys</b>	82,1y	89,1x	71,5z	73,5z	4,4	80,4	78,8	83,0	5,7
<b>Phe</b>	71,0y	84,9x	57,7z	58,5z	4,7	74,4	74,9	79,3	7,4
<b>Leu</b>	72,1y	83,9x	59,6z	66,6y	4,5	75,0	73,2	77,3	7,4
<b>Ile</b>	74,2y	87,0x	61,7z	68,0yz	5,2	71,7a	69,6a	81,2b	5,7
<b>Val</b>	68,1y	83,1x	55,2z	61,9z	5,0	70,4a	68,0a	78,5b	6,1
<b>Thr</b>	67,6y	83,0x	51,1z	58,1z	5,6	70,9	66,4	72,3	6,7
<b>Asp</b>	80,9x	70,9x	52,4x	72,7x	18,1	79,1	76,2	83,4	6,0
<b>Glu</b>	-	-	-	-	-	83,1	82,2	86,1	6,6
<b>Ser</b>	-	-	-	-	-	77,9	73,8	77,4	8,1
<b>Gly</b>	76,1xy	78,3x	61,5z	65,2yz	5,2	68,1	62,6	69,8	6,4
<b>Ala</b>	71,1y	83,5x	48,7z	60,7yz	6,4	67,7	62,9	70,0	6,9
<b>Tyr</b>	88,3x	93,2x	66,6y	72,7y	7,0	74,8	71,6	80,4	6,2
<b>Pro</b>	83,3y	103,0x	67,2z	77,2y	6,9	73,4	72,5	76,4	7,4

Les moyennes auxquelles sont attribuées des indices différents sont significativement différentes entre elles ( $P < 0,05$ ).

1992). Dans ces cas particuliers, le besoin des tissus digestifs était faible. L'ingestion de matières premières usuelles, en augmentant les pertes endogènes, modifie le besoin du porc en AA disponibles. La première conséquence est que le besoin en AA digestibles devrait être plus élevé que le besoin en AA disponibles. L'inconvénient de l'utilisation du système "digestibilité" reste cependant qu'il n'est valide que pour un type de régime (LENIS, 1992), alors qu'un système "disponibilité" a une portée beaucoup plus générale. En effet, l'augmentation du besoin en AA digestibles est prise en compte au niveau du calcul de la disponibilité des AA de la matière première.

La linéarité de la relation entre rétention azotée et pertes endogènes suggère que le coût métabolique des pertes endogènes est constant, cette hypothèse devra être confirmée. Il reste cependant que les pertes endogènes ne sont pas le seul facteur à prendre en compte dans un système "disponibilité". Il conviendrait d'évaluer aussi l'impact des traitements thermiques sur la biodisponibilité des AA, notamment la lysine (VAN BARNEVELD et al, 1995).

Dans nos essais, il était important de s'assurer que l'azote, et non l'énergie, était bien le facteur limitant de nos régimes. En réalité, le facteur limitant devait être la thréonine qui est manifestement l'AA le moins disponible. Le rapport thréonine vraiment disponible (en g) par unité d'énergie nette mesurée au niveau de l'iléum terminal est inférieur à 2g/ Mcal ce qui est inférieur à la recommandation de 2,28 g/ Mcal (SÈVE, 1994). Il ne devait pas y avoir de difficulté pour le

tryptophane et la méthionine puisque les régimes ont été corrigés avec des AA libres disponibles à 100 %. Par conséquent le rendement d'utilisation de l'azote pour le flux iléal correspond très vraisemblablement à celui de la thréonine. On peut se demander si ce rendement est le même quel que soit l'AA limitant. C'est une autre vérification à faire dans l'avenir.

Enfin, nos mesures ont été réalisées sur des porcs ayant subi une anastomose iléo-rectale ce qui signifie qu'ils n'ont plus de gros intestin fonctionnel. Avant de pouvoir généraliser ce type de mesure, il faudra vérifier la validité de ce système chez le porc intact. La question est de savoir quel rôle joue le gros intestin. En effet les pertes y seraient aussi importantes que dans l'intestin grêle (KRAWIELITZKI et al, 1996). De plus, toute protéine sécrétée est perdue puisqu'il n'y a pas d'absorption d'AA dans cette zone. Notre méthode expérimentale permet de mesurer simultanément les pertes endogènes iléales et leur impact sur la rétention corporelle, les porcs étant anastomosés. Il conviendra, chez l'animal intact, de mesurer les pertes endogènes du gros intestin et de vérifier que leur impact métabolique est le même que celui des pertes iléales.

## REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans le soutien de AGRIBANDS Europe, de l'INRA (AIP ALIMAN) et de l'UNION EUROPÉENNE.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHUNG T.K., BAKER D.H., 1992. *J. Anim. Sci.*, 70, 3102-3111.
- FULLER, M.F., 1991. In "Proceeding of the 6th International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition". 116-126 National Institute of Animal Science, Research Center Foulum.
- HESS V., THIBAUT J.N., DUC G. et al., 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 223-229.
- HESS V., GANIER P., THIBAUT J.N., SÈVE B., 1999. *Brit. J. Nutr.*, (sous presse).
- KRAWIELITZKI K., ZEBROWSKA T., KREIENBRING F., SHADEREIT R., KOWALCZYK J., 1996. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr.*, 76, 46-56.
- LAPLACE J.P., DARCY-VRILLON B., PÉREZ J.M., GIGER S., SAUVANT D., 1989. *Brit. J. Nutr.*, 61, 75-87.
- LENIS N.P., 1992. *Pig news and Information*, 13, 31N-39N.
- LOW A.G., 1982. *Livest. Prod. Sci.*, 9, 511-520.
- PONCET C., RAYSSIGUIER Y., 1980. *J. Anim. Sci.*, 51, 180-185.
- SAS, 1989. *SAS User's guide*. Cary, NC, USA.
- SÈVE B., 1994. *INRA Prod. Anim.*, 7, 275-291.
- SOUFFRANT W.B., DARCY-VRILLON B., CORRING T. et al., 1986. *Arch. Anim. Nutr.*, 36, 269-274.
- VAN BARNEVELD R.J., BATTERHAM E.S., SKINGLE D.C., 1995. *Brit. J. Nutr.*, 73, 259-273.
- WANG T.C., FULLER M.F., 1989. *Brit. J. Nutr.*, 62, 77-89.



## ANNEXE

Aujourd'hui, deux systèmes d'expression de la digestibilité sont en concurrence : la digestibilité apparente et la digestibilité vraie ou standardisée. La principale différence entre les deux systèmes tient au fait que le second admet l'existence de pertes endogènes minimales, dites basales, proportionnelles à la quantité de matière sèche ingérée et indépendantes de la nature de l'aliment. De fait, le premier système admet implicitement que toute matière première induit des pertes d'AA en proportion de la quantité ingérée.

En formulation, on préfère aujourd'hui le système de digestibilité standardisée au système de digestibilité apparente, car les teneurs en AA apparemment digestibles ne sont pas toujours additives. En effet, les matières premières ne sont généralement pas testées seules mais sont plus ou moins diluées par une fraction protéoprive. Pour préserver l'additivité, il faudrait donc calculer le CUDa par différence, en retranchant du flux idéal le flux endogène provoqué par la fraction protéoprive du régime. Ceci consiste à se ramener à une mesure réalisée sur la matière première non diluée. Malheureusement, les données présentées dans la littérature sont le plus souvent les digestibilités apparentes du régime et non celles de la matière première. Par ailleurs, dans le système standardisé, les pertes endogènes basales, soustraites de la fraction indigestible, doivent être considérées comme une partie du besoin couverte par l'apport alimentaire. Dans le système apparent, correctement appliqué, ce besoin est ignoré. Le formulateur doit donc considérer une contrainte d'apport diminuée de la valeur de l'endogène basal par kg de matière sèche.

La distinction entre apparent et standardisé se retrouve au niveau du calcul de la disponibilité. La disponibilité des acides aminés d'une matière première prend en compte, en plus du flux idéal, les pertes métaboliques induites pour la synthèse des protéines endogènes. La disponibilité apparente se déduit de la digestibilité apparente par la prise en compte du coût métabolique des pertes endogènes totales (endogène basal + spécifique):

$$\begin{aligned} \text{Disponibilité apparente} &= \text{CUDa} - (\text{endo total} \times (1 / K_e - 1)) / I \\ &= 1 - E / I + \text{endo total} / I - (\text{endo total} / K_e) / I \\ &= \text{CUDr} - (\text{endo total} / K_e) / I \end{aligned}$$

La disponibilité vraie se déduit de la digestibilité vraie par la prise en compte du coût métabolique des pertes endogènes spécifiques du coût métabolique associé aux pertes endogènes spécifiques (totales moins basales):

$$\begin{aligned} \text{Disponibilité vraie} &= \text{CUDv} (\text{endo spé} \times (1 / K_e - 1)) / I \\ &= 1 - (E - \text{endo basal} - \text{endo spé}) / I - (\text{endo spé} / K_e) / I \\ &= \text{CUDr} - (\text{endo spé} / K_e) / I \end{aligned}$$

Si l'on exprime la quantité d'AA disponibles apparemment (AA<sub>da</sub>) en fonction de la quantité d'AA disponibles vraiment AA<sub>dv</sub> on obtient :

$$\begin{aligned} \text{AA}_{dv} &= \text{AA}_r - (\text{endo spé} / K_e) \\ \text{AA}_{da} &= \text{AA}_r - (\text{endo total} / K_e) \\ \text{A}_{adv} &= \text{A}_{ada} + (\text{endo basal} / K_e) \end{aligned}$$

Dans le cas du système standardisé, nous avons considéré que les pertes endogènes basales sont indépendantes de la matière première et qu'elles correspondent à un besoin que doit couvrir l'aliment. En conséquence, le besoin en acides aminés disponibles standardisés sera plus élevé que le besoin en acides aminés apparemment disponibles d'une valeur correspondant aux pertes endogènes basales et à leur coût métabolique.