

## FACTEURS DE VARIATION DE LA DIGESTIBILITÉ ILÉALE DES ACIDES AMINÉS DES CÉRÉALES CHEZ LE PORC CHARCUTIER

*Catherine JONDREVILLE (1), J. VAN DEN BROECKE (2), Adeline DELPECH (1), F. GATEL (1), J. M. BERTIN (1),  
Marie-France BEAUX (1), F. GROSJEAN (1)*

*(1) Institut Technique des Céréales et des Fourrages - Pouligne, 41100 Villerable*

*(2) Eurolysine - 16 rue Ballu, 75009 Paris*

*avec la collaboration de D. BARRAULT*

La digestibilité iléale de la protéine et des acides aminés de 31 lots de céréales (9 lots de blé, 2 lots de triticales, 5 lots d'orge, 5 lots d'avoine, 6 lots de maïs et 4 lots de sorgho) est déterminée. Chaque lot est testé sur 4 porcs mâles castrés LW ou LWL LWP préparés en anastomose iléorectale termino-terminale au poids vif d'environ 25kg. Afin que les lots puissent être comparés entre eux, malgré les différences de teneurs en protéine et acides aminés des aliments expérimentaux, l'ensemble des résultats de digestibilité apparente a été corrigé par une excrétion azotée endogène standard, si bien que les résultats sont exprimés en «digestibilité iléale standardisée».

La lysine et la thréonine sont les acides aminés les moins digestibles quelle que soit l'espèce végétale considérée.

Pour les céréales à paille, la digestibilité iléale standardisée de la protéine décroît lorsque la teneur en ADF de la céréale augmente. Une relation équivalente existe entre la teneur en ADF et la digestibilité pour l'ensemble des acides aminés excepté pour le tryptophane, la méthionine, l'histidine et l'arginine.

Le maïs et le sorgho se détachent des autres céréales et n'obéissent pas à la loi générale trouvée pour les céréales à paille. En particulier, le sorgho, malgré une teneur en ADF faible, présente des coefficients de digestibilité faibles.

### **Factors affecting cereals protein and amino acids digestibility in pigs**

Thirty one batches of cereals (9 batches of wheat, 2 batches of triticales, 5 batches of barley, 5 batches of oats, 6 batches of maize, 4 batches of sorghum) are studied for their protein and amino acid digestibility in pigs. Each batch is tested on four castrated males LW or LWL LWP prepared in end to end ileo rectal anastomosis. In order to be able to compare all the batches together, despite their different protein and amino acid content, all the results are standardized by correcting apparent digestibility by a similar endogenous output, so that the results are expressed in «ileal standardized digestibility».

Lysine and threonine are the less digestible amino acid whatever the vegetal species is considered.

For wheat, triticales, barley and oats protein digestibility decreases when the cereal ADF content increases. A similar relation between ADF and amino acids can be found except for tryptophan, methionin, histidin and arginin.

Maize and sorghum protein and amino acid ileal standardized digestibility do not show the same behaviour. Particularly sorghum, despite its low ADF content, shows very low protein and amino acid ileal standardized digestibility values.

## INTRODUCTION

La prise en compte de la digestibilité iléale de la protéine et des acides aminés permet de mieux appréhender les apports azotés réels d'une matière première que la simple prise en compte de sa teneur en acides aminés. Il existe toutefois des difficultés d'interprétation des données de la littérature. Ces difficultés ont souvent pour origine l'utilisation de méthodologies différentes d'un auteur à l'autre, l'étude d'un nombre limité de lots de céréales, et parfois un mode d'expression de la digestibilité (digestibilité iléale apparente) qui ne permet pas de comparer les résultats entre eux, puisque la valeur obtenue est fonction de la teneur en protéines et en acides aminés de l'aliment expérimental.

De plus, les différences de digestibilité qui existent entre deux lots d'une même espèce végétale excèdent parfois celles qui séparent deux espèces de céréales différentes (TAVERNER et al., 1981).

En outre, si de nombreux auteurs s'accordent à attribuer à la lysine et à la thréonine les plus faibles coefficients de

digestibilité parmi l'ensemble des acides aminés (TAVERNER et al., 1981 ; ADEOLA et al., 1986 ; LIN et al., 1987 ; de LANGE et al., 1989 ; LETERME et al., 1989 ; RAKOWSKA et al., 1990), en revanche il existe de nombreuses divergences d'un auteur à l'autre pour les valeurs absolues affectées aux différents acides aminés.

L'objet de cette étude est de mesurer, dans des conditions identiques, la digestibilité iléale de la protéine et des acides aminés de 31 lots de céréales chez le porc (9 lots de blé, 2 lots de triticale, 5 lots d'orge, 5 lots d'avoine, 6 lots de maïs et 4 lots de sorgho). Dans un second temps sont recherchés, parmi les composants chimiques des lots étudiés, d'éventuels facteurs de variation de la digestibilité de la protéine et des acides aminés.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

La composition chimique et le profil de la protéine de chacune de ces espèces végétales figurent respectivement aux tableaux 1 et 2.

**Tableau 1** - Composition chimique des céréales étudiées (g/100 g MS)

Céréale	Blé (n=9)		Triticale (n=2)		Orge (n=5)		Avoine (n=5)		Maïs (n=6)		Sorgho (n=4)	
	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*
Matière azotée	14,0	1,5	15,2	0,5	13,3	0,7	12,7	2,4	11,4	1,1	11,9	1,8
Matière grasse	2,0	0,6	1,6	0,0	2,5	0,6	5,8	1,4	4,0	1,0	3,6	0,3
Cellulose brute	2,7	0,8	2,7	0,4	5,2	1,4	12,6	1,9	2,7	1,0	2,2	0,4
Matière minérale	1,9	0,2	2,2	0,1	2,6	0,3	3,0	0,3	1,7	0,3	1,6	0,1
NDF	13,0	2,0	13,7	1,1	22,4	6,8	33,0	3,8	13,2	4,0	9,7	0,9
ADF	3,3	0,6	3,4	0,4	6,8	2,2	15,0	2,2	3,3	1,2	3,2	0,3
ADL	0,9	0,1	1,1	0,2	1,1	0,6	2,8	0,8	0,3	0,2	0,6	0,2
Amidon	67,5	3,6	65,9	1,5	57,0	4,7	42,6	4,8	69,6	2,9	75,5	2,4

\* m : moyenne ; ET : écart-type de l'échantillonnage (DDL = n-1)

**Tableau 2** - Teneur en acides aminés des céréales étudiées (g/16 g N)

Céréale	Blé (n=9)		Triticale (n=2)		Orge (n=5)		Avoine (n=5)		Maïs (n=6)		Sorgho (n=4)	
	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*
Lys	2,89	0,34	2,99	0,07	3,61	0,33	4,00	0,41	2,98	0,28	2,22	0,17
Thr	2,82	0,18	2,95	0,01	3,33	0,21	3,38	0,22	3,60	0,15	3,18	0,19
Met	1,62	0,15	1,59	0,01	1,75	0,24	1,79	0,19	2,25	0,24	1,65	0,20
Cys	2,06	0,09	1,98	0,08	2,08	0,25	2,81	0,48	2,06	0,16	1,72	0,14
Trp	1,17	0,08	1,01	0,02	1,21	0,09	1,26	0,19	0,72	0,09	1,04	0,01
Arg	4,75	0,45	4,39	0,02	4,84	0,45	5,97	0,57	4,05	0,59	3,17	0,77
His	2,35	0,25	2,29	0,04	2,34	0,32	2,30	0,17	2,69	0,25	2,08	0,63
Ile	3,41	0,16	3,07	0,08	3,38	0,18	3,50	0,29	3,54	0,15	3,41	0,41
Leu	6,30	0,30	5,63	0,18	6,41	0,31	6,72	0,53	12,05	0,78	12,09	0,15
Phe	4,50	0,27	3,97	0,28	4,86	0,16	4,56	0,42	4,97	0,23	4,78	0,13
Tyr	2,28	0,29	1,87	0,08	2,26	0,26	2,50	0,30	2,91	0,32	3,22	0,25
Val	4,06	0,35	3,81	0,16	4,60	0,40	4,68	0,46	4,81	0,24	4,65	0,22
Ala	3,36	0,25	3,46	0,16	3,83	0,30	4,65	0,25	7,62	0,42	9,05	0,67
Asp	5,16	0,53	5,24	0,17	5,59	0,39	7,44	0,72	6,48	0,31	6,32	0,33
Glu	27,61	2,46	22,81	0,23	23,22	1,28	18,77	1,81	18,81	1,32	19,98	1,25
Gly	3,76	0,22	3,65	0,18	3,89	0,21	4,66	0,50	3,54	0,31	2,96	0,23
Ser	4,52	0,19	4,35	0,08	4,23	0,24	4,78	0,40	4,93	0,19	4,36	0,11

\* m : moyenne ; ET : écart-type de l'échantillonnage (DDL = n-1)

### 1.1. Aliments expérimentaux

Avant leur incorporation, les matières premières sont broyées au moyen d'un broyeur à marteaux muni d'une grille de 2 mm. Les aliments expérimentaux sont constitués de 94,5% de chacune des céréales et de 5,5% d'un complément minéral et vitaminique. Les aliments sont présentés sous forme de farine humidifiée à l'auge (un volume de farine pour deux volumes d'eau).

### 1.2. Animaux et conduite expérimentale

Chaque aliment est testé sur quatre porcs mâles castrés, croisés LW L x LW P (schéma CADS), pesant entre 40 et 100 kg. Ils sont préparés, à environ 25 kg, en anastomose iléo-rectale terminale selon la technique décrite par LAPLACE (1989), et entrent en test après une période post opératoire de 4 semaines.

Les animaux reçoivent quotidiennement 90 g d'aliment / kg (PV)<sup>0,75</sup> en deux repas par jour ; ils disposent par ailleurs d'eau à volonté.

Chaque test dure 7 jours et se déroule en deux phases : 5 jours d'adaptation suivis de 2 jours de collecte pendant lesquels les jus iléaux sont collectés totalement deux fois par jour, à 8 heures et à 16 heures, puis immédiatement placés à +4°C. A la fin de la période de collecte, les excréta d'un même animal sont homogénéisés et deux échantillons sont prélevés ; l'un est séché à l'étuve pour détermination de sa teneur en matière sèche et l'autre est lyophilisé pour dosage de ses teneurs en matière azotée et en acides aminés.

### 1.3. Analyses chimiques

Sur les matières premières, les aliments et les jus iléaux sont déterminées les teneurs en matière azotée totale (KJELDHAL

x 6,25) et en acides aminés. Les teneurs en acides aminés sont déterminées par chromatographie échangeuse d'ions après hydrolyse préalable pendant 23 heures dans HCl 6N à 110°C. Les échantillons sont soumis à une oxydation performique préalablement à l'hydrolyse pour le dosage des acides aminés soufrés. Le tryptophane est dosé après une hydrolyse alcaline.

De plus, sur chacun des lots de céréales étudiés sont déterminées les teneurs en cellulose brute (WEENDE), NDF, ADF, ADL (VAN SOEST), matière grasse (sans hydrolyse préalable), matière minérale, amidon (EWERS). En outre, sur les lots de sorgho, la teneur en tannins est déterminée par la méthode AFNOR (1985).

### 1.4. Calcul de la digestibilité

Dans un premier temps, la digestibilité iléale apparente de la protéine et des acides aminés de chacun des lots de céréales est calculée à partir des aminogrammes effectués sur l'aliment expérimental et les jus iléaux. Cependant, la valeur obtenue étant fonction de la teneur en protéines et en acides aminés de l'aliment expérimental, l'ensemble des valeurs de digestibilité apparente est corrigé par une excrétion azotée endogène standard donnée par WÜNSCHE et al. (1987), supposée constante avec la quantité de matière sèche ingérée (FURUYA et KAJI, 1989). La digestibilité iléale obtenue est appelée digestibilité standardisée, terme suggéré par MARISCAL - LANDIN (1992).

## 2. RÉSULTATS

Seuls les résultats de digestibilité iléale standardisée sont donnés. Ils figurent au tableau 3. Les lots sont classés par espèce végétale et pour chacun des acides aminés sont donnés la moyenne et l'écart-type de la digestibilité iléale standardisée.

Tableau 3 - Digestibilité iléale standardisée de la protéine et des acides aminés (%) des céréales étudiées

Céréale	Blé (n=9)		Triticale (n=2)		Orge (n=5)		Avoine (n=5)		Maïs (n=6)		Sorgho (n=4)	
	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*	m*	ET*
MAT	94,8	1,5	93,3	0,8	88,4	2,4	83,0	0,7	92,0	3,7	83,2	4,5
Lys	86,4	2,2	85,6	2,6	81,0	2,8	76,6	4,5	84,5	4,7	75,9	4,1
Thr	91,1	2,3	89,4	2,2	85,7	2,2	78,0	3,8	89,1	5,1	80,3	3,7
Met	92,2	1,0	93,1	1,2	89,2	1,5	87,1	1,2	92,7	2,0	83,3	3,6
Cys	95,8	1,2	94,6	1,0	92,2	1,6	78,7	1,0	93,2	3,1	82,7	3,2
Trp	96,2	1,7	92,8	1,9	89,4	2,9	88,1	2,4	88,8	6,9	86,0	5,0
Arg	92,8	2,7	95,2	2,4	88,4	2,8	92,9	1,8	96,4	2,3	85,2	3,3
His	93,8	1,3	94,7	1,7	88,8	2,8	89,0	1,7	91,2	3,5	77,9	5,5
Ile	91,6	0,7	90,1	1,3	85,7	2,6	81,5	2,4	89,1	2,4	80,8	3,9
Leu	92,9	0,9	90,8	1,7	88,5	2,0	82,8	2,0	93,8	2,4	84,5	4,5
Phe	94,9	0,7	92,6	1,6	90,1	2,3	86,1	2,2	93,9	3,0	83,4	5,9
Tyr	95,5	1,0	91,5	2,1	92,6	1,6	85,3	5,6	93,7	3,8	84,1	4,9
Val	89,4	1,4	86,7	1,7	85,3	2,2	78,9	3,1	89,4	2,6	79,7	3,3
Ala	86,4	2,1	84,5	2,6	80,3	2,5	74,4	3,6	91,4	2,7	82,7	4,6
Asp	90,8	1,4	95,2	2,4	85,5	1,3	80,5	3,4	93,0	3,5	83,9	3,3
Glu	96,9	0,6	95,4	0,9	92,5	1,8	86,7	1,9	94,0	2,4	84,0	4,8
Gly	102,8	2,7	99,3	3,1	97,5	2,5	87,1	2,0	103,9	7,0	89,6	2,5
Ser	94,3	0,9	92,7	1,6	88,7	1,6	80,7	3,9	93,0	3,5	83,0	3,6

\* m : moyenne ; ET : écart-type de l'échantillonnage (DDL = n-1)

La digestibilité iléale standardisée des acides aminés du blé varie peu d'un lot à l'autre. De même les deux lots de triticales étudiés sont assez proches l'un de l'autre. La variabilité parmi les lots d'orge est plus grande que celle qu'on rencontre pour les lots de blé ou de triticales, mais c'est surtout pour les lots d'avoine, de maïs et de sorgho que la variabilité intra espèce est la plus marquée. Pour la plupart des acides aminés, le blé, le triticales et le maïs sont en moyenne les céréales les plus digestibles, suivies de l'orge puis de l'avoine et du sorgho.

Pour toutes les espèces végétales étudiées, la lysine, la thréonine et la valine sont les acides aminés indispensables les moins digestibles ; le groupe des acides aminés indispensables les plus digestibles varie d'une espèce végétale à l'autre : ce sont le tryptophane et la cystine pour le blé, l'arginine et l'histidine pour le triticales, la tyrosine et la cystine pour l'orge, l'arginine et l'histidine pour l'avoine, l'arginine et la phénylalanine pour le maïs et enfin le tryptophane et l'arginine pour le sorgho.

La recherche de facteurs de variation de la digestibilité des acides aminés, parmi les composants chimiques des lots de céréales, ne nous permet d'obtenir aucune équation de prédiction satisfaisante. En revanche, l'élimination des lots de sorgho et de maïs de la population de céréales nous permet de discerner, parmi les composants chimiques, l'ADF comme facteur de variation de la digestibilité de tous les acides aminés, exceptée l'arginine (tableau 4). Les figures 1 et 2, sur lesquelles sont représentées la digestibilité iléale standardisée de la protéine et de quelques acides aminés de l'ensemble des lots de céréales étudiés, montrent que, excepté pour les lots de sorgho et de maïs, la digestibilité iléale standardisée diminue lorsque la teneur en ADF augmente.

La cystine et la thréonine sont les acides aminés indispensables, et la glycine et la sérine, les acides aminés non indispensables, les plus affectés par une augmentation de la teneur en ADF de la céréale.

La digestibilité du tryptophane, de la méthionine et de l'histidine décroissent moins vite lorsque la teneur en ADF du grain augmente ; cependant, dans le cas de ces acides aminés, seuls 51, 65 et 46% de la variabilité de la digestibilité peuvent être expliqués par une augmentation de la teneur en ADF.

Notons également que les digestibilités de la méthionine, du tryptophane, de l'histidine et de l'arginine sont proches de celle de la protéine de l'ensemble des céréales à paille excepté pour l'avoine, pour laquelle la digestibilité de l'acide aminé est en moyenne supérieure de 4 ; 5 ; 6 et 10 points par rapport à celle de la protéine respectivement pour la méthionine, le tryptophane, l'histidine et l'arginine.

### 3. DISCUSSION

Le fait que la lysine et la thréonine soient les deux acides aminés les moins digestibles des céréales est en accord avec les observations de nombreux auteurs (ADEOLA et al., 1986 ; LIN et al., 1987 ; FULLER et al., 1989 ; RAKOWSKA et al., 1990). La faible digestibilité de la lysine peut en partie être expliquée par son abondance dans les protéines de structure (albumines et globulines) relativement aux protéines de réserve (prolamines et glutélines) : les premières, localisées dans les couches à aleurone du grain, sont peu digestibles, alors que les secondes, situées dans l'endosperme, sont plus facilement accessibles aux enzymes digestives. La faible

digestibilité de la thréonine proviendrait d'une vitesse d'absorption lente dans l'iléon (TAVERNER et al., 1981).

Peu d'éléments nous permettent d'expliquer le fait que le sorgho soit particulièrement peu digestible. De même, on explique difficilement le comportement du maïs, et en particulier la variabilité de la digestibilité de ses acides aminés, par rapport aux céréales à pailles. Toutefois les protéines de sorgho ou de maïs se distinguent de celles des autres céréales par leur richesse en leucine et en alanine, et, dans une moindre proportion, leur pauvreté en acide glutamique : les prolamines du maïs et du sorgho, la zéine et la kafirine, se distinguent des prolamines des autres céréales (CHUNG et POMERANZ, 1985). En revanche le rapport protéines de réserve/protéines de structure du maïs et du sorgho ne se distingue pas de celui du blé.

Les différences qui existent entre le blé et le maïs pourraient être liées à la qualité de l'amidon des deux espèces végétales. DRAKE et al. (1991) suggèrent que la digestion limitée de l'amidon de maïs par rapport à celui du blé pourrait être à l'origine d'une moindre accessibilité des protéines du maïs aux enzymes digestives, donc à leur moindre digestibilité par rapport à celles du blé. DARCY et al. (1981) notent par ailleurs que l'excrétion azotée endogène obtenue avec un aliment à base d'amidon de maïs est plus élevée que lorsque l'aliment est à base d'amidon de blé, ce qui pourrait également expliquer les différences entre maïs et blé. Notons toutefois que, comme pour les céréales à paille, la digestibilité des acides aminés du maïs tend à diminuer lorsque sa teneur en ADF augmente.

La faible digestibilité des acides aminés du sorgho est généralement expliquée par la présence de tannins dans les téguments de cette céréale (COUSINS et al., 1981 ; MARISCAL - LANDIN, 1992). Toutefois les 4 lots ayant fait l'objet de cette étude étaient tous à très faible teneur en tannins (< 0,05% MS), puisqu'ils étaient issus de la collecte française (METAYER et al., 1993). En outre aucun facteur de variation de la digestibilité des acides aminés du sorgho n'a pu être mis en évidence parmi les paramètres chimiques mesurés.

Malgré des teneurs en fibres inférieures à celles du maïs, les quatre lots de sorgho présentent des coefficients de digestibilité des acides aminés et de l'azote inférieurs à ceux du maïs. COUSINS et al. (1981) et LIN et al. (1987) rapportent également de faibles coefficients de digestibilité apparente des acides aminés pour le sorgho bas tannins par rapport au maïs, excepté pour le tryptophane. Dans notre étude la digestibilité iléale standardisée du tryptophane du sorgho est légèrement inférieure à celle du maïs et ceci est sans doute dû au fait que nos résultats de digestibilité sont corrigés pour la teneur de l'aliment expérimental en tryptophane : le sorgho étant plus riche que le maïs en tryptophane, la différence entre digestibilité apparente et digestibilité standardisée est plus élevée pour le maïs que pour le sorgho.

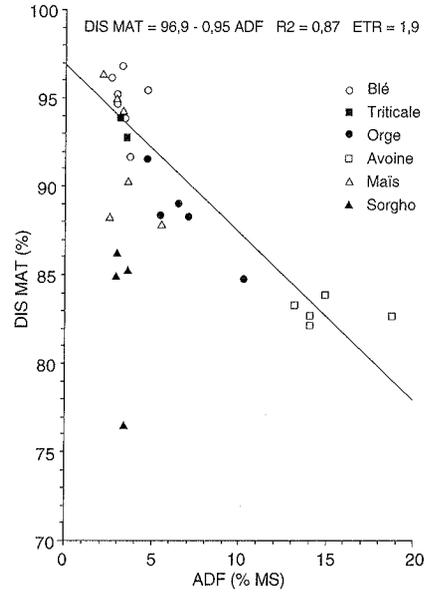
Concernant les céréales à paille, la décroissance de la digestibilité de la protéine et des acides aminés lorsque la teneur en fibres de la céréale augmente est en accord avec les observations de nombreux auteurs (TAVERNER et FARRELL, 1981 ; SAUER et OZIMEK, 1986 ; LETERME et al., 1989 ; RAKOWSKA et al., 1990).

Le fait que la digestibilité de la protéine et des acides aminés

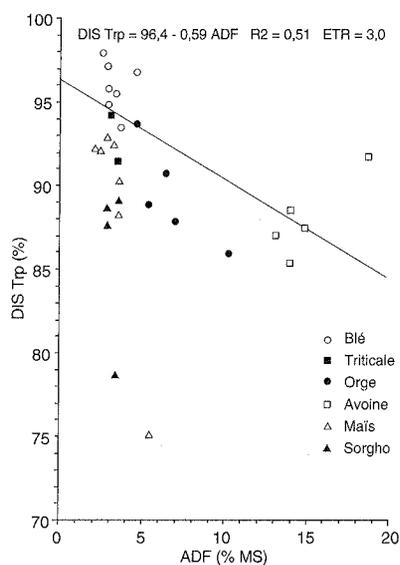
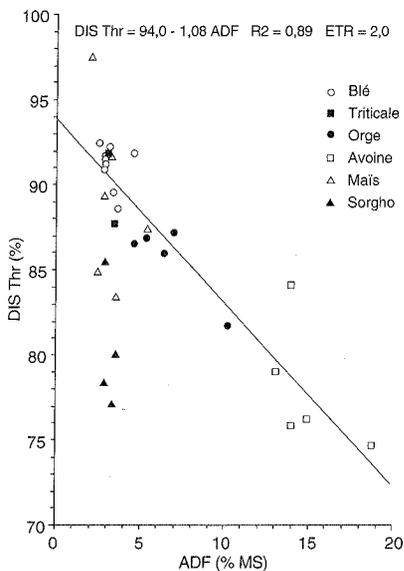
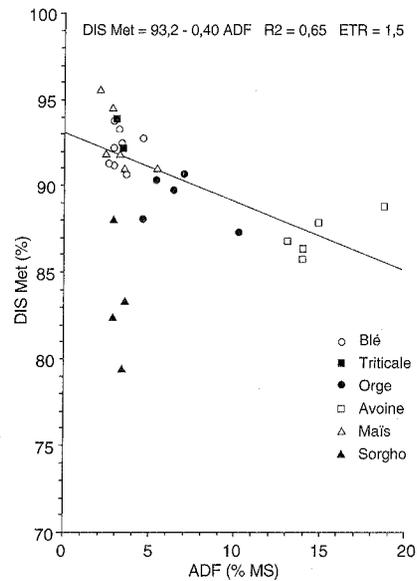
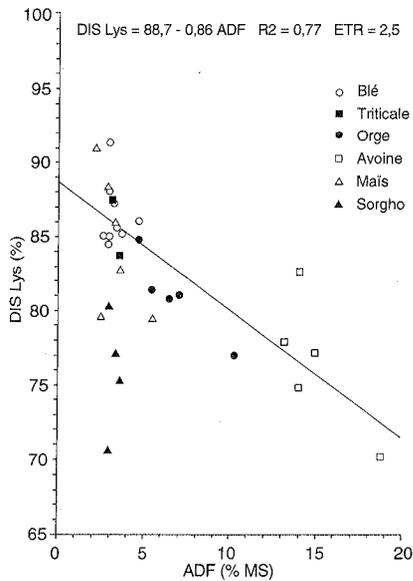
**Tableau 4 - Prédiction de la digestibilité iléale standardisée (DIS) des acides aminés (%) des céréales à paille en fonction de leur teneur en ADF (% MS)**

Équation	R <sup>2</sup>	ETR
DIS MAT = 96,9 - 0,95 ADF	0,87	1,9
DIS Lys = 88,7 - 0,86 ADF	0,77	2,5
DIS Thr = 94,0 - 1,08 ADF	0,89	2,0
DIS Met = 93,2 - 0,40 ADF	0,65	1,5
DIS Cys = 100,1 - 1,36 ADF	0,92	2,0
DIS Trp = 96,4 - 0,59 ADF	0,51	3,0
DIS His = 94,4 - 0,42 ADF	0,46	2,3
DIS Ile = 93,5 - 0,84 ADF	0,87	1,7
DIS Leu = 94,9 - 0,81 ADF	0,90	1,4
DIS Phe = 94,4 - 0,71 ADF	0,84	1,6
DIS Tyr = 97,6 - 0,81 ADF	0,70	2,8
DIS Val = 91,6 - 0,85 ADF	0,86	1,8
DIS Ala = 88,8 - 0,99 ADF	0,83	2,3
DIS Asp = 92,6 - 0,82 ADF	0,81	2,1
DIS Glu = 99,0 - 0,82 ADF	0,92	1,2
DIS Gly = 105,8 - 1,21 ADF	0,82	3,0
DIS Ser = 97,2 - 1,1 ADF	0,88	2,1

**Figure 1- Digestibilité iléale standardisée de la protéine en fonction de la teneur en ADF**



**Figure 2- Digestibilité iléale standardisée de la lysine, de la thréonine, de la méthionine et du tryptophane en fonction de la teneur en ADF**



du blé soit peu variable d'un lot à l'autre est à mettre en relation avec la faible amplitude de variation de la teneur en ADF des lots de blé étudiés. Cette stabilité est représentative de la collecte française (METAYER et al., 1993). Pour l'orge et l'avoine, la variabilité de la digestibilité de la protéine et des acides aminés est plus large, comme l'est celle de leurs teneurs en ADF.

La diminution de la digestibilité des acides aminés et de la protéine lorsque la teneur en ADF augmente peut avoir différentes origines. Certains auteurs ont observé une augmentation de l'excrétion azotée endogène lorsque le régime est enrichi en cellulose (de LANGE et al., 1989). Toutefois FURUYA et KAJI (1991) et LETERME et al. (1992) ne décèlent aucune influence de l'addition de cellulose à l'aliment expérimental sur l'excrétion azotée endogène.

Le principal effet des fibres réside dans l'effet de piège qu'elles peuvent exercer sur les protéines, les rendant inaccessibles aux enzymes digestives (EHLE et al., 1982). Sur des issues de blé, MARISCAL - LANDIN (1992) a montré que la digestibilité des acides aminés est négativement corrélée à la teneur en azote du résidu NDF. Sur les mêmes produits, SÈVE et al. (1993) ont montré que la digestibilité de la lysine peut être prédite par la proportion d'acide aminé liée à la fraction NDF, suggérant que la diminution de la digestibilité de cet acide aminé avec l'augmentation de la teneur en fibres est due à l'effet de piège exercé par les fibres sur les protéines.

Le fait que certains acides aminés soient plus sensibles que d'autres à une augmentation de la teneur en ADF pourrait être dû au profil des fractions protéiques de chacune des espèces végétales étudiées, à leur proportion dans la protéine totale et à leur répartition dans les différentes parties du grain.

Le fait que la digestibilité de la cystine, de la glycine et de la sérine décroissent rapidement lorsque la teneur en ADF du grain augmente pourrait être lié à leur abondance dans les protéines de structure du blé, de l'orge et de l'avoine ; l'effet serait accentué par le fait que les globulines de l'avoine représentent 80% de la protéine totale alors que les protéines de réserve constituent la majorité de la protéine des autres céréales (CHUNG et POMERANZ, 1985). En outre la sensibilité de la digestibilité de la thréonine et de la glycine à l'augmentation de la teneur en ADF pourrait avoir pour origine leur abondance dans les sécrétions azotées endogènes.

En revanche, pour les quatre acides aminés (tryptophane, méthionine, histidine et arginine) qui n'obéissent pas à la loi générale de décroissance de la digestibilité lorsque la teneur en ADF augmente, aucune hypothèse de ce type ne peut être émise puisque les trois premiers sont également représentés dans l'ensemble des fractions protéiques du grain et que la proportion d'arginine est plus importante dans les globulines

que dans la fraction prolamines-glutélines ; ce fait est d'autant plus inexplicable par cette voie que l'arginine de l'avoine est plus digestible que sa protéine, constituée de 80% de globulines.

## CONCLUSION

La digestibilité iléale standardisée de la plupart des acides aminés des céréales à paille est donc directement affectée par la teneur en ADF de la céréale étudiée. Les équations de prédiction obtenues permettent donc d'estimer de façon satisfaisante la digestibilité des acides aminés de ces matières premières. Il est remarquable que, malgré la répétabilité plus élevée du dosage de la cellulose brute par rapport à celui du dosage de fibres par la méthode de VAN SOEST, la teneur en ADF et non la teneur en cellulose brute apparaisse comme le principal facteur de variation de la digestibilité des acides aminés.

Il ne semble pas que la teneur, ni même la nature de la protéine soient à l'origine des variations de digestibilité constatées parmi les lots de céréales étudiés, mais leur localisation dans le grain et les fibres qui exercent un effet de piège sur elles.

Reste à préciser, pour l'ensemble des céréales à paille, le mécanisme de cette diminution de la digestibilité lorsque la teneur en ADF augmente, et l'éventuel effet de l'augmentation de l'excrétion azotée endogène. Reste également à élucider pourquoi certains acides aminés ne montrent pas le même comportement que la protéine.

La moindre digestibilité iléale standardisée de la protéine et des acides aminés, à teneur en ADF équivalente, des lots de sorgho et, dans une moindre mesure, de certains lots de maïs, par rapport à celle des autres céréales a vraisemblablement pour origine d'autres facteurs tels que la qualité de certains composants chimiques que nous n'avons pas mesurés. Il ne semble pas que la qualité de la protéine de ces espèces végétales constituent ce facteur.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié de financements publics de la part de la Communauté Européenne (programme CAMAR) et du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (programme ACTA). Il a été réalisé en collaboration avec les sociétés UT-DELFA (PAYS-BAS) et SANOFI SANTE NUTRITION ANIMALE que nous remercions. Les auteurs remercient également le personnel des laboratoires d'analyses biochimiques ITCF de BOIGNEVILLE et EUROLYSINE d'AMIENS pour leur collaboration efficace à la réalisation de cette étude.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR, 1985. Method V 03-751.
- ADEOLA O., YOUNG L.G., MAC MILLAN E.G., MORAN E.T., 1986. *J. Anim. Sci.*, 63, 1862-1869.
- CHUNG K.O., POMERANZ Y., 1985. Amino acids in cereal proteins and protein fractions. In : digestibility and amino acid availability in cereals and oilseeds. Ed. FINLEY J.W., HOPKINS D.T., American Association of Cereal Chemists, ST Paul, Minnesota, USA, 65-107.
- COUSINS B.W., TANKSEY T.D., KNABE, D.A., ZEBROWSKA T., 1981. *J. Anim. Sci.*, 53, 1524-1537
- DARCY B., LAPLACE J.P., VILLIERS P.A., 1981. *Ann. Zootech.*, 30, 31-62.
- DRAKE A.P., FULLER M.F., CHESSON A., 1991. Simultaneous estimations of precaecal protein and carbohydrate digestion in the pig. In : Fuller, M.F. Ed. *In Vitro Digestion for Pigs and Poultry*. C.A.B. International, Wallingford, United Kingdom, 162-176.
- EHLE F.R., JERACI J.L., ROBERTSON J.B., VAN SOEST P.J.,

1982. *J. Anim. Sci.*, 55, 1071-1080.
- FULLER M.F., CADENHEAD A., BROWN D.S., BREWER A.C., CARCER M., ROBINSON R., 1989. *J. Agric. Sci.*, 113, 149-163.
  - FURLUYA S., KAJI Y., 1989. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 26, 271-285.
  - FURLUYA S., KAJI Y., 1991. The effects of feed intake and dietary fibre levels on the endogenous ileal amino acid output in growing pigs. In : Verstegen, M.W.A., Huisman, J., den Hartog, L.A., Eds. *Proceedings of the 5 th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs*. Wageningen, The Netherland, 24-26 April, 190-195.
  - LANGE C.F.M. DE, SAUER W.C., MOSENTHIN R., SOUFFRANT W.B., 1989. *J. Anim. Sci.*, 67, 746 - 754.
  - LAPLACE J.P., DARCY-VRILLON B., PÉREZ J.M., HENRY Y., GIGER S., SAUVANT D., 1989. *Brit. J. Nutr.* 61, 75-87.
  - LETERME P., THIELEMANS C., BODART C., BAUDART E., THEWIS A., 1989. *Rev. Agric.*, 42, 305-316.
  - LETERME P., PIRARD L., THEWIS A., 1992. *Anim. Prod.*, 54, 163-165.
  - LIN F.D., KNABE D.A., TANKSLEY T.D., 1987. *J. Anim. Sci.*, 64, 1655-1663.
  - MARISCAL LANDIN G., 1992. Facteurs de variation de l'utilisation digestive des acides aminés chez le porc. Thèse d'Université. Rennes, France. 135 p.
  - MÉTAYER J.P., GROSJEAN F., CASTAING J., 1993. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 43, 87-108.
  - RAKOWSKA M., ZEBROWSKA T., NEUMANN M., MEDYNSKA K., RACZYNSKA-BOJANOWSKA K., 1990. *Arch. Anim. Nutr.*, 8, 695-701.
  - SAUER W.C., OZIMEK L., 1986. *Livest. Prod. Sci.*, 15, 367-388.
  - SÈVE B., FÉVRIER C., MARISCAL LANDIN G., LECHEVESTRIER Y., 1993. Significance of monstarch polysaccharides for estimation of the ileal digestibility of amino acids of some feedstuffs in pigs. In : *Improvements in nutrient availability*. 44 th Meeting FEZ, EAAP, EVT. Session 4, Aarhus, Dannemark, 16-19 août 1993. 4pp.
  - TAVERNER M.R., HUME I.D., FARRELL D.J., 1981. *Brit. J. Nutr.*, 46, 159-171.
  - TAVERNER M.R., FARRELL, D.J., 1981. *Br. J. Nutr.*, 46, 181-192.
  - WÜNSCHE J., HERRMANN U., MEINL M., HENNING U., KREIENBRING F., ZWIERS P., 1987. *Arch. Tierernähr.*, 37, 745-764.