

**EFFETS DE L'INTERACTION ENTRE LA DURETE DES GRAINS  
ET LE MODE DE PRESENTATION DU BLE SUR LA DIGESTION DE L'AMIDON  
CHEZ LE POULET DE CHAIR**

**Piron Fabien<sup>1</sup>, Collin Cécile<sup>1</sup>, Bodson Bernard<sup>2</sup>, Théwis André<sup>1</sup>, Beckers Yves<sup>1</sup>**

*Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux,  
<sup>1</sup>Unité de Zootechnie et <sup>2</sup>Unité de Phytotechnie des Régions tempérées,  
passage des Déportés, 2 B-5030 Gembloux (Belgique).*

**RÉSUMÉ**

Un essai est réalisé dans le but de comprendre les effets de l'interaction entre la dureté des grains et le mode de présentation du blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.) sur la digestion de l'amidon par le poulet de chair. Il consiste en un bilan digestif (sans période de jeûn) qui s'est déroulé entre j 34 et j 38 sur 108 poulets mâles (Ross) répartis en 36 cages. Deux variétés de blé sont introduites à un taux de 60 % dans les rations : Deben (soft, dureté = 27) et Folio (hard, dureté = 82). La première modalité de présentation (Fin) correspond à du blé finement broyé (moulin à marteaux, grille de 2 mm). Le second mode d'introduction (Grossier) est relatif à du blé grossièrement broyé (moulin à marteaux, grille de 5 mm). Les animaux affectés à la troisième modalité (Entier) reçoivent le blé entier à raison de 10 % entre j 10 et j 17, 20 % de j 17 à j 24 et 30 % à partir de j 24.

Il n'est pas observé d'effet significatif de la dureté (variété), du mode de présentation ou de leur interaction sur les quantités d'amidon ingérées ( $p > 0.05$ ). Par contre, la dureté (variété) interagit significativement ( $p < 0.01$ ) avec la forme de présentation au niveau des quantités d'amidon excrétées et de sa digestibilité. Néanmoins, il n'est pas mis en évidence de différence au niveau des quantités d'amidon digérées ( $p > 0.05$ ).

La digestibilité de l'amidon de Folio-Fin est significativement plus faible ( $p < 0.05$ ) que celles des 5 autres traitements. De plus, pour Deben uniquement, la digestibilité de l'amidon de Entier est plus élevée ( $p < 0.05$ ) que celle de Grossier. Par contre, la digestibilité de l'amidon ne diffère pas significativement entre Deben-Grossier et Folio-Grossier ( $p > 0.05$ ). De même, les digestibilités de l'amidon de Deben-Entier et Folio-Entier ne sont pas significativement différentes ( $p > 0.05$ ).

En conclusion, la mouture fine (2 mm) de la variété Folio (hard) entraîne une diminution de la digestibilité de l'amidon.

**ABSTRACT**

This study investigates the effect of interaction between hardness of grains and modality of wheat (*Triticum aestivum* L.) presentation on starch digestion in broiler chickens. A digestive trial (without starvation) was conducted (d 34 to d 38) with 108 chickens (Ross) divided in 36 groups. Two varieties of wheat were included at 60 % in diets: Deben (soft, hardness = 27) and Folio (hard, hardness = 82). The first modality of presentation (Fine) corresponded to finely milled wheat (hammer mill, sieve of 2 mm). The second (Coarse) was related to coarsely milled wheat (hammer mill, sieve of 5 mm). The third dietary treatment (Whole) corresponded to 10 % whole wheat between d 10 to d 17, 20 % from d 17 to d 24 and 30 % after d 24.

Hardness (varieties), modalities of presentation and their interaction did not influence ingested starch ( $p > 0.05$ ). Hardness interacted significantly ( $p < 0.05$ ) with presentation of wheat on excreted starch and starch digestibility. But quantities of digested starch were not significantly different between the six treatments ( $p > 0.05$ ).

The starch digestibility of Folio-Fine was significantly ( $p < 0.05$ ) lower than five other treatments. Moreover, starch digestibility of Whole was ( $p < 0.05$ ) better than Coarse for Deben only. On the other hand, starch digestibility was not significantly different between Deben-Coarse and Folio-Coarse ( $p > 0.05$ ). Similarly, starch digestibility of Deben-Whole was not significantly different than Folio-Whole ( $p > 0.05$ ).

In conclusion, fine milling (2 mm) of hard variety (Folio) was involved in reduction of starch digestibility.

## INTRODUCTION

La dureté traduit l'état de cohésion du grain de blé (Mahaut, 1993). Elle intervient sur la qualité technologique des farines (endommagement de l'amidon, granulométrie, hydratation...) et sur le comportement du grain au broyage (Turnbull et Rahman, 2002). De plus, c'est un paramètre mesurable facilement, rapidement et à faible coût par spectrométrie infrarouge (Rose et al., 2001). Chez le poulet nourri à base de blé, elle peut avoir un impact sur les performances et la digestion (Carré et al., 2003, Skiba et al., 2003 et Carré et al., 2005).

D'autre part, le type de présentation des grains (broyés  $\pm$  finement vs. entiers) et de la ration (granulée ou non) peut influencer sur les processus digestifs de l'amidon chez le poulet (Svihus, 2001, Hetland et al., 2002, Carré, 2004 et Péron et al., 2005).

Dans le cadre de la compréhension des processus digestifs chez le poulet, il est généralement difficile de séparer l'effet direct de la dureté des grains et celui de la granulométrie après broyage au moulin. En effet, ce dernier paramètre est ordinairement corrélé à la dureté (Carré, 2000). Une première manière d'étudier distinctement l'effet direct de la dureté consiste à adapter les paramètres de mouture afin de stabiliser les granulométries obtenues avec des blés de dureté variable (Carré et al., 2003 et Carré et al., 2005).

Une autre méthodologie peut consister à étudier la manière dont interagissent le mode de présentation des grains de blé (broyage  $\pm$  fin, grains partiellement introduits entiers) et leur dureté sur les processus digestifs. L'objectif de ce travail est de contribuer à mieux comprendre l'impact de cette interaction sur la digestion de l'amidon par le poulet de chair.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

108 poulets mâles (Ross 308) sont répartis en 36 cages (disposées en batterie) pour former un dispositif comprenant 6 traitements (3 présentations x 2 duretés) et 6 répétitions. Cette expérience est approuvée, sous la référence *fusagx 05/06*, par le comité d'éthique compétent.

Le régime alimentaire (à partir de j 10) est constitué de 60.0 % de blé, 20.7 % de tourteau de soja 46, 6.9 % de graines de soja toastées, 7.2 % d'huile de soja et d'acides aminés de synthèse, minéraux et vitamines. Les rations ne sont pas granulées et sont distribuées *ad libitum*.

La première forme de présentation (Fin) correspond à du blé entièrement broyé à l'aide d'un moulin à marteaux (type I-A de Gladiator) équipé d'une grille dont les mailles circulaires ont un diamètre de 2 mm. La seconde présentation (Grossier) est relative à du blé entièrement broyé (moulin à marteaux, grille de 5

mm). Les animaux affectés à la troisième modalité de présentation (Entier) reçoivent du blé entier à raison de 10 % (de la ration totale) entre j 10 et j 17, 20 % de j 17 à j 24 et 30 % à partir de j 24. Dans le cas du traitement Entier, le solde du blé est broyé au moulin à marteaux à la grille de 2 mm.

La variation du facteur dureté est obtenue grâce à l'emploi de deux lots de blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.). Il s'agit des variétés Deben et Folio cultivées dans les mêmes conditions (à B-5030 Loncée) et récoltées en 2005. Ces deux lots ont été choisis (parmi 7 lots disponibles et cultivés dans des conditions similaires) sur la base de leurs principales caractéristiques physico-chimiques : dureté, teneurs en matières azotées totales et en amidon, viscosités des extraits aqueux.

Un bilan digestif est réalisé (suivant Bourdillon et al., 1990) entre j 34 et j 38. Néanmoins, comme le suggèrent Péron et al. (2005), les animaux ne sont pas soumis aux deux périodes de jeûn. Les aliments distribués et les refus collectés en fin de bilan sont quantifiés. Leurs teneurs en matière sèche sont déterminées. Les fientes sont collectées quotidiennement, congelées, lyophilisées, quantifiées et cumulées. Les aliments, les refus et les fientes sont alors broyés (P 14 de Fritsch, grille de 0.5 mm) et leurs teneurs en amidon sont déterminées.

Les teneurs en matière sèche (MS) et en matières azotées totales (MAT = 6.25 x N) sont mesurées suivant l'AOAC (1990). Les teneurs en amidon sont dosées suivant une méthode adaptée (quantités engagées et volumes des solutions) de McCleary et al. (1997). La dureté des grains est mesurée par SPIR (d'après Mahaut, 1993 et Bollen et al., 1996), après standardisation des grains à 15.5 % d'humidité et mouture (Cyclotec 1093 de Foss-Tecator équipé d'une grille de 1 mm). La viscosité des extraits aqueux des blés est appréciée par les viscosités utiles potentielle (VUP) et réelle (VUR) mesurées selon Carré et al. (1994).

Afin de rendre les populations normales (test de Anderson-Darling, Minitab 13.20) et de contribuer à stabiliser les variances (Dagnelie, 1998), les résultats sont transformés suivant la relation :

$$Y = \log(-\log(X/100)).$$

Les variables transformées sont traitées statistiquement par la procédure GLM (Minitab 13.20) suivant un modèle croisé à 3 critères de classification qui peut s'écrire :

$Y_{ijkl} = D_i + F_j + DF_{ij} + b_k + Db_{ik} + Fb_{jk} + DFb_{ijk} + e_{ijkl}$ .  
 $D_i$  représente l'effet de la dureté,  $F_j$  symbolise celui de la forme de présentation et  $DF_{ij}$  représente l'interaction de ces deux facteurs. Le facteur bloc ( $b_k$ ) est aléatoire.

Les moyennes transformées significativement différentes sont structurées ( $p < 0.05$ ) à l'aide du test de Newman et Keuls (Dagnelie, 1998). Elles sont présentées non transformées et accompagnées de leurs erreurs standards (SEM) observées sur les valeurs non transformées.

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Physico-chimie des 2 lots variétaux de blé

Les deux lots variétaux de blé diffèrent fortement au niveau de la dureté des grains (tableau 1). Deben, qui peut être qualifié de soft, est nettement plus tendre que Folio (qui peut être qualifié de hard). La dureté est, en effet, un critère principalement sous influence génétique (Rose et al., 2001).

Malheureusement, une différence apparaît également au niveau de la teneur en protéines (MAT). En effet, pour les 7 lots disponibles, la dureté a tendance à être corrélée à la teneur en MAT ( $r = 0.72$ ,  $p = 0.066$ ). Skiba et al. (2003) et Carré et al. (2002) observent également une corrélation élevée entre ces deux paramètres. La différence de teneurs en MAT des blés a notamment pour conséquence que le régime préparé avec Folio est légèrement plus riche en protéines que celui préparé avec Deben (21.6 vs. 20.9 % MS).

Compte tenu de la relativement faible sensibilité de la digestion de l'amidon aux variations de viscosité (Carré et al., 2002 et Carré, 2004), la différence de VUR qui est observée entre les deux lots de blé (tableau 1) peut être considérée comme relativement négligeable, dans le cadre de cette étude.

**Tableau 1.** Caractéristiques des 2 lots de blé.

		Deben	Folio
Dureté		27	82
MAT	% MS	11.5	12.7
Amidon	% MS	67	65
VUP	ml/g MS	5.5	5.4
VUR	ml/g MS	2.8	3.4

### 2.2. Digestibilités fécales de l'amidon

Une observation (Folio – Fin) est retirée car un des trois animaux présents dans la cage a perdu du poids au cours du bilan (gain moyen quotidien = - 2.5 g/j). Son ingestion et sa digestion risqueraient, par conséquent, d'être anormales.

De manière similaire aux observations de Svihus et Hetland (2001), les quantités d'amidon excrétées par les différents groupes d'animaux sont caractérisées par des variabilités relativement importantes (tableau 2) et numériquement très peu homogènes. En effet, les SEM relatives à la variété hard (Folio) sont numériquement plus élevées que celles relatives à l'endosperme soft (Deben). De plus, l'excrétion d'amidon ne suit pas une distribution normale ( $A^2 = 1.91$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 35$ ).

La non normalité de l'excrétion de l'amidon ne se répercute pas sur le flux d'amidon digéré mais entraîne, néanmoins, la non normalité du pourcentage de digestibilité ( $A^2 = 1.53$ ,  $p = 0.001$ ,  $n = 35$ ). De même, les variances relatives au pourcentage de digestibilité (figure 1) sont numériquement peu homogènes (tableau 2). Néanmoins, après

transformation, les valeurs ne se distinguent plus ( $p > 0.10$ ) d'une distribution normale. Les variances sont également plus stables.

A ce sujet, Carré (2004) note que, chez le poulet, la digestibilité de l'amidon du blé est caractérisée par une relativement grande variabilité interindividuelle. Rogel et al. (1987) et Choct et al. (1999) observent qu'une plus grande variabilité est associée aux moyennes les moins favorables. Cela pourrait indiquer que les poulets n'ont pas tous la même capacité à digérer l'amidon (Svihus et Hetland, 2001), notamment en situation plus difficile.

Il n'est pas observé (tableau 2) d'effet significatif de la dureté (variété), du mode de présentation ou de leur interaction sur les quantités d'amidon ingérées ( $p > 0.05$ ). Par contre, la dureté (variété) interagit significativement ( $p < 0.01$ ) avec la forme de présentation au niveau des quantités d'amidon excrétées et de sa digestibilité (tableau 2). Néanmoins, comme le montre le tableau 2, il n'est pas mis en évidence de différence significative au niveau des quantités d'amidon digérées ( $p > 0.05$ ).

La digestibilité de l'amidon des grains hard (Folio) broyés finement (moulin à marteaux, grille de 2 mm) est significativement plus faible ( $p < 0.05$ ) que celles relatives aux grains de cette variété broyés grossièrement (moulin à marteaux, grille de 5 mm) ou introduits partiellement sous forme entière (tableau 2). Cette moindre digestibilité est associée à une excrétion plus importante ( $p < 0.05$ ) d'amidon (tableau 2).

Par contre, Péron et al. (2005) observent une augmentation de la digestibilité de l'amidon d'un blé hard lorsqu'il est broyé finement par rapport à un broyage grossier (2 vs. 6 mm). Ces observations divergentes pourraient peut-être résulter du fait que les rations utilisées par Péron et al. (2005) sont granulées, contrairement à celles de cette expérience. En outre, ces derniers auteurs ont effectué leurs mesures sur des animaux plus jeunes (entre j 20 et j 24) que ceux employés pour nos mesures de digestibilité (de j 34 à j 38).

La digestibilité de l'amidon (tableau 2) de la variété Folio (hard) est significativement plus faible ( $p < 0.05$ ) que celle relative à Deben (soft) lorsque ces deux blés sont broyés finement (moulin à marteaux, grille de 2 mm). Il semble donc que la dureté ait une influence ( $p < 0.05$ ) sur la digestibilité de l'amidon lorsque les grains sont broyés finement (2 mm). De même, Carré et al. (2002) mesurent, sur des grains broyés à 3 mm, une corrélation négative et significative entre la dureté et la digestibilité de l'amidon.

Cet effet négatif de la dureté sur la digestibilité de l'amidon, lorsque les grains sont broyés finement, pourrait être la conséquence de la production par les grains hard (lors du broyage dans un moulin), de particules dont l'amidon serait moins accessible que celui des grains soft (Carré, 2000, Carré et al., 2002 et Carré, 2004).

Néanmoins, cet effet de la dureté n'est plus mis en évidence lors du broyage sur la grille de 5 mm ( $p > 0.05$ , tableau 2). En présence de particules plus grossières, le gésier est peut-être plus développé. Il serait alors capable de désagréger efficacement ces particules plus grossières. Par contre, dans le cas des moutures plus fines, le gésier est peut-être trop peu développé pour jouer pleinement son rôle. En effet, selon Hetland et al. (2002), un accroissement de la taille de cet organe est associé à une augmentation de la digestibilité de l'amidon. D'autre part, la vidange du gésier est sélective sur la taille et la plasticité des particules et ne laisserait passer directement (sans allongement significatif du temps de séjour) que celles de moins de 0.5 à 1.5 mm (Ferrando et al., 1987). Par conséquent, les particules broyées à la grille de 5 mm, ou du moins les plus grosses d'entre elles, sont certainement soumises plus intensément à l'action mécanique du gésier que celles issues de la mouture à 2 mm (Carré, 2000). Outre l'action mécanique plus importante du gésier, une meilleure digestion pepsique de la matrice protéique qui entoure les granules d'amidon ainsi qu'une meilleure régulation du transit gastro-intestinal peuvent également être évoquées (Carré, 2000 et Carré, 2004).

Contrairement à la variété hard, la digestibilité de l'amidon des grains soft (Deben) broyés finement ne se différencie pas significativement ( $p > 0.05$ ) des deux autres modalités de présentation des grains soft (tableau 2). Néanmoins, le broyage grossier (5 mm) de Deben (soft) est associé à une digestibilité plus faible ( $p < 0.05$ ) que celle relative à l'introduction partielle de grains entiers de même dureté (tableau 2). Chez les blés soft, l'amidon et les protéines sont contenus dans une matrice relativement friable et sont plus facilement séparés que dans le cas de blé hard (Wiseman, 2006). D'après ce dernier auteur, la rapidité d'hydratation des matrices soft pourrait contribuer à en expliquer la meilleure digestion. Enfin, lorsque les grains sont partiellement introduits sous forme entière (tableau 2), la variété soft ne se différencie pas significativement ( $p > 0.05$ ) de Folio (hard). Cette observation tend à montrer que la dureté a peu d'influence sur les processus digestif lorsque les grains sont partiellement présentés entiers. L'ingestion de grains entiers entraîne classiquement un développement plus important du gésier (Carré, 2000, Hetland et al., 2002 et Piron et al., 2006) et elle peut donc être associée à une meilleure digestibilité de l'amidon (Hetland et al., 2002).

**Tableau 2.** Quantités d'amidon ingérées, excrétées et digérées (g/j/poulet) et digestibilités (%) de l'amidon<sup>1,2</sup>.

	Deben (soft)			Folio (hard)			Dureté <sup>3</sup>	Forme <sup>3</sup>	D x F <sup>3</sup>
	Fin	Grossier	Entier	Fin	Grossier	Entier			
Ingéré	39.6	44.3	45.1	44.9	40.5	44.8	NS	NS	NS
SEM	± 1.9	± 2.0	± 2.1	± 1.8	± 1.6	± 2.1			
Excrété	1.0 <sup>b</sup>	1.3 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	2.4 <sup>a</sup>	1.1 <sup>b</sup>	1.1 <sup>b</sup>	NS	***	**
SEM	± 0.1	± 0.2	± 0.1	± 0.4	± 0.3	± 0.5			
Digéré	38.6	42.9	44.5	42.5	39.4	43.7	NS	NS	NS
SEM	± 1.9	± 1.9	± 2.1	± 1.9	± 1.3	± 2.0			
Digestibilités	97.4 <sup>ab</sup>	97.0 <sup>b</sup>	98.6 <sup>a</sup>	94.6 <sup>c</sup>	97.4 <sup>ab</sup>	97.7 <sup>ab</sup>	NS	***	**
SEM	± 0.4	± 0.3	± 0.2	± 0.9	± 0.6	± 1.0			

<sup>1</sup>: les moyennes ± SEM présentées sont les valeurs observées non transformées ; <sup>2</sup>: n = 35 ; <sup>3</sup>: les tests sont réalisés sur les valeurs après la transformation  $y = \log(-\log(x/100))$  ; <sup>a,b,c</sup>: les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes après transformation ( $p > 0.05$ ) ; \*\*\* :  $p < 0.001$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; NS :  $p > 0.05$ .

## CONCLUSIONS

La digestibilité de l'amidon du blé et son excrétion par le poulet de chair sont influencées par l'interaction de la dureté avec la modalité de présentation des grains de blé ( $p < 0.01$ ).

La mouture fine (2 mm) de la variété Folio (hard) entraîne une diminution significative de la digestibilité de l'amidon ( $p < 0.05$ ).

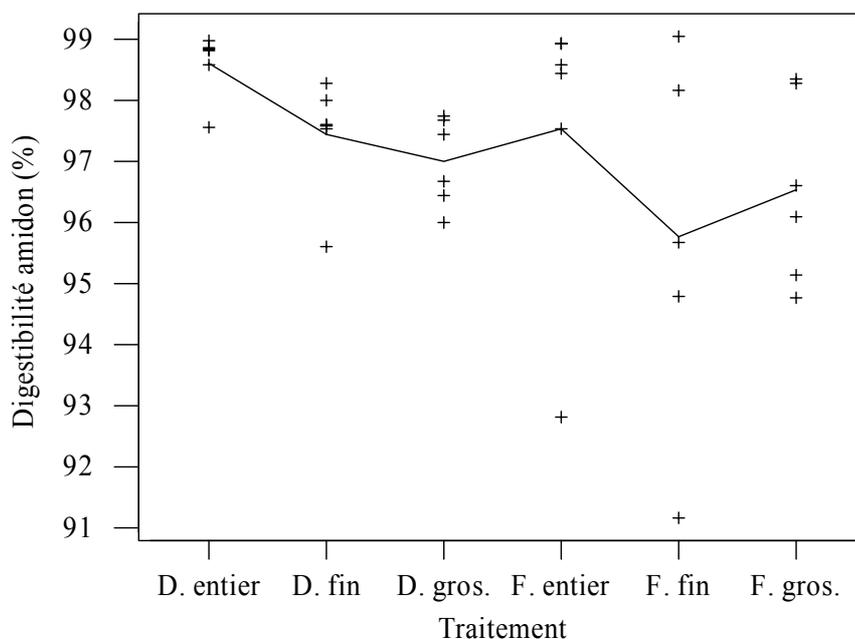
Il est également observé que la variabilité de la digestibilité et celle de l'excrétion de l'amidon par le poulet sont numériquement plus importantes dans le cas du blé hard par rapport au blé soft.

## REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est financé par la Direction Générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne. Nous remercions R. Vanderbeck pour son assistance technique. Les mesures infrarouges de dureté du blé ont été réalisées par le Centre wallon de Recherches Agronomiques (Département Qualité des Productions Agricoles).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- Bollen, L., Dubois, A., Biston, R., Deroanne, C., 1996. Phytotechnie et qualités technologiques du froment. Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture, Bruxelles. p. 159.
- Bourdillon, A., Carré, B., Conan, L., Duperray, J., Huyghebaert, G., Leclercq, B., Lessire, M., McNab, J., Wiseman, J., 1990. Br. Poult. Sci. 31:557-565.
- Carré, B., 2000. INRA Prod. Anim. 13:131-136.
- Carré, B., 2004. World's Poult. Sci. J. 60:76-89.
- Carré, B., Gomez, J., Melcion, J. P., Giboulot, B., 1994. INRA Prod. Anim. 7:369-379.
- Carré, B., Idi, A., Maisonnier, S., Melcion, J.-P., Oury F.-X., Gomez, J., Pluchard, P., 2002. Br. Poult. Sci. 43:404-415.
- Carré, B., Muley, N., Gomez, J., Oury F.-X., Laffitte, E., Guillou, D., Signoret, C., 2005. Br. Poult. Sci. 46:66-74.
- Carré, B., Muley, N., Guillou, D., Signoret, C., Oury F.-X., Gomez, J., 2003. 5<sup>o</sup> Journées de la Recherche Avicoles, Tours, 26 et 27 mars.
- Choct, M., Hughes, R. J., Bedford, M. R., 1999. Br. Poult. Sci. 40:419-422.
- Dagnelie, P., 1998. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. De Boeck et Larcier, Bruxelles.
- Ferrando, C., Vergara, P., Jiménez, M., Goñalons, E., 1987. Quartely J. Exp. Physiol. 72:251-259.
- Hetland, H., Svihus, B., Olaisen, V., 2002. Br. Poult. Sci. 43:416-423.
- Mahaut, B., 1993. Industries des Céréales. Janv.-Fév.-Mars : 39-44.
- McCleary, B. V., Gibson, T. S., Mugford, D. C., 1997. J. Assoc. Anal. Chem 80:571-579.
- Péron, A., Bastianelli, D., Oury, F.-X., Gomez, J., Carré, B., 2005. Br. Poult. Sci. 46:223-230.
- Piron F., Philippart de Foy M., Théwis A., Beckers Y., 2006. 7<sup>o</sup> Journées de la Recherche Avicoles, Tours, 28 et 29 mars.
- Rogel, A. M., Annison, E. F., Bryden, W. L., Balnave, D., 1987. Aust. J. Agric. Res. 38:639-649.
- Rose, S. P., Tucker, L. A., Kettlewell, P. S., Collier, D. A., 2001. J. Cereal Chem. 34:181-190.
- Skiba, F., Barrier-Guillot, B., Métayer, J.-P., 2003. 5<sup>o</sup> Journées de la Recherche Avicoles, Tours, 26 et 27 mars.
- Svihus, B., 2001. Anim. Feed Sci. Tech. 92:45-49.
- Svihus, B., Hetland, H., 2001. Br. Poult. Sci. 42:633-637.
- Turnbull, K.-M., Rahman, S., 2002. J. Cereal Sci. 36:327-337.
- Wiseman, J., 2006. Anim. Feed Sci. Tech. 130:66-77.



**Figure 1.** Effets de la variété (D : Deben = soft ; F : Folio = hard) et du mode de présentation du blé (broyage fin, broyage grossier et grains partiellement entiers) sur la digestibilité (%) de l'amidon du blé chez le poulet : valeurs relatives à chaque cage (+) et moyennes (reliées par le trait).