

# **Influence de la nature et de la variété de la céréale sur le site de digestion de l'amidon, et conséquences nutritionnelles**

*B. MICHALET-DOREAU, C. PHILIPPEAU, C. MARTIN  
INRA, URH-DIM, 63122 St Genès Champanelle, France*

**RESUME** – Six taurillons, munis d'une canule du rumen, du duodénum et de l'iléon, étaient associés dans un double carré latin 3 x 3 afin de comparer les effets de la nature de la céréale (blé vs maïs) et de la variété de maïs (denté vs corné) sur la digestion de rations riches en céréales (70 à 75%). La digestion ruminale de l'amidon de maïs était en moyenne inférieure à celle du blé, 48 et 87 % respectivement, et celle du maïs corné inférieure à celle du maïs denté, 35 et 61 % respectivement. La digestion de l'amidon dans l'ensemble du tube digestif était plus élevée avec les taurillons recevant le blé par rapport aux taurillons recevant le maïs, et était comparable pour les 2 maïs. Avec le maïs corné, une proportion importante d'amidon était digérée dans le gros intestin. Le pH ruminal était plus bas et la concentration en AGV plus élevée pour les taurillons recevant le régime à base de blé que pour ceux recevant le régime à base de maïs, mais il n'y avait pas de différences entre les 2 régimes à base de maïs sur ces critères.

## **Effect of grain source, nature and variety of cereal, on site and extent of digestion in steers**

*B. MICHALET-DOREAU, C. PHILIPPEAU, C. MARTIN  
INRA, URH-DIM, 63122 St Genès Champanelle, France*

**SUMMARY** – Six cannulated steers were used in a double Latin square design to measure the effects of the nature of cereal (wheat vs corn) and the corn variety (dent vs flint) on digestion of high-concentrate diets (70 - 75% cereal). Differences in ruminal starch digestion were observed between wheat and corn-based diets (87 vs 48%) and between dent and flint corn varieties (61 vs 35%). Total tract digestion of starch was higher in steers fed wheat than for those fed corn, and was similar for the 2 corns. For flint corn, an important part of starch was digested in the hindgut. Ruminal pH was lower and total VFAs concentration was higher for wheat- than for corn-based diets and were not different between dent and flint corns. Ruminal digestion of NDF was lower with wheat than with corn-based diets (49 vs 55%), and with dent corn than with flint corn (53 vs 57%). Total tract digestion of NDF was the same for the 3 cereals (55% in mean). A post ruminal compensation of NDF digestion (14% of total tract digestion) seemed to occur with the wheat diet.

## INTRODUCTION

Pour répondre aux exigences nutritionnelles des animaux à forte productivité d'une part et du fait de la diminution du prix des céréales d'autre part, la proportion de céréales, et donc d'amidon, dans les rations a régulièrement augmenté au cours des dernières années. La digestibilité de l'amidon de ces céréales dans l'ensemble du tube digestif du ruminant est très élevée et proche de 100 %, mais la part digérée dans le rumen est beaucoup plus variable; Or si la vitesse de digestion de l'amidon dans le rumen est trop lente, la digestibilité de ce constituant dans l'ensemble du tube digestif peut être incomplète, ce qui entraîne un gaspillage énergétique (Owens *et al.*, 1997). Mais si elle est trop rapide, un apport massif de glucides rapidement fermentescibles entraîne une modification des conditions physico-chimiques ruminales défavorables à l'activité fibrolytique de l'écosystème microbien et une diminution de la digestion des parois végétales dans le rumen, soit là encore un gaspillage énergétique important. Par ailleurs, l'augmentation de la quantité d'amidon digérée dans le rumen est à l'origine des problèmes de santé de plus en plus fréquents, et en particulier des acidoses subaiguës, dans les exploitations intensives. Aussi est-il nécessaire de mieux maîtriser, pour mieux l'optimiser, la répartition de la digestion de l'amidon entre le rumen et l'intestin grêle. Celle-ci varie avec la nature de la céréale et son éventuel traitement technologique. Une autre voie possible est le choix de la variété. Or la dégradation in situ de l'amidon de maïs mature (Philippeau *et al.*, 1999) ou immature (Philippeau et Michalet-Doreau, 1997) varie de façon importante avec la texture du grain de maïs. L'objectif de ce travail est de quantifier l'effet de la variété de maïs, caractérisée par la texture du grain, sur le site et l'étendue de la digestion de l'amidon et des parois chez des taurillons recevant une ration riche en céréales, et de comparer le comportement digestif du maïs à celui du blé, choisi comme modèle de céréale à amidon rapidement dégradable.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Six taurillons Salers (poids et âge en début d'expérience : 305 ± 17 Kg et 311 ± 36 j respectivement), munis de canules du rumen, du duodénum et de l'iléon, étaient associés dans un double carré latin 3 x 3. Ils recevaient une ration à base de céréales grossièrement broyées (67 à 75%MS), apportées sous forme de blé (B) ou de maïs de type denté (MD) ou corné (MC), et d'un foin de luzerne complétement par de l'urée. La taille moyenne des particules de concentrés était appréciée, chaque semaine, par tamisage à sec. Les rations, calculées pour apporter la même quantité d'amidon et de matières azotées, étaient distribuées en 2 repas égaux, à 9 et 16 h.

Le pH ruminal était mesuré sur 15 échantillons de contenu prélevé sur une période de 24h. Les concentrations en acides gras volatils (AGV) et en acide lactique du contenu ruminal étaient déterminées sur 3 échantillons prélevés avant, 3 et 7 h après le repas du matin. Les flux duodénaux étaient déterminés à partir de la moyenne des valeurs obtenues en utilisant indépendamment 2 marqueurs, un marqueur de la phase liquide, le PEG, et un marqueur de la phase solide, l'ADL. La répartition de l'amidon en fonction la taille des particules était mesurée dans les céréales et dans les contenus duodénaux, à partir des résultats de l'analyse granulométrique réalisée par tamisage à sec ou sous courant d'eau et par dosage de l'amidon dans les différentes fractions.

Les résultats étaient analysés dans un double carré latin 3 x 3, avec la nature de la céréale, l'animal et la période comme facteurs de variation, pour les mesures de pH, d'AGV et d'acide lactique. Les effets respectifs de la nature de la céréale (blé vs maïs) et du type de maïs (corné vs denté) étaient testés par la méthode des contrastes orthogonaux.

## 2. RESULTATS - CONCLUSION

La digestion ruminale de l'amidon de maïs était, en moyenne pour les 2 variétés, inférieure à celle du blé, 48 et 87 % respectivement, et celle du maïs corné inférieure à celle du maïs denté, 35 et 61 % respectivement (Tableau 1).

Si ces valeurs sont peu différentes de celles rapportées dans la littérature pour le blé et le maïs denté (Huntington *et al.*, 1997), celle du maïs corné est plus faible. Dans cet essai, les céréales étaient grossièrement broyées, et la taille moyenne des particules était respectivement de 2.209, 2.974 et 3.389 µm pour le blé, le maïs denté et le maïs corné, soit une différence significative entre céréales ( $P < 0.001$ ) et entre maïs ( $P < 0.01$ ). Or, le broyage du grain entraîne une augmentation de la digestion ruminale de l'amidon par suite d'une modification de la taille et de la surface des particules d'autant plus importante que la céréale est initialement moins dégradée dans le rumen (Huntington *et al.*, 1997). Le broyage grossier du grain retenu dans cet essai aurait donc amplifié les différences entre céréales, et serait à l'origine de la faible proportion d'amidon digéré dans le rumen avec le maïs corné. De plus l'amidon des 3 céréales était principalement localisé dans les grosses particules, 70 % de l'amidon du blé, 78 % et 87 % de l'amidon du maïs denté et corné se retrouvait dans les grosses particules (> 2000µm). Après digestion ruminale, l'amidon contenue dans les grosses particules ne représentait plus que 9, 26 et 34 % de l'amidon by-pass du blé, du maïs denté et du maïs corné respectivement (Figure 1).

Tableau 1  
Digestion de l'amidon et des parois végétales dans les différents segments du tube digestif

|                                    | Maïs |       |       |     | Effet       |                |
|------------------------------------|------|-------|-------|-----|-------------|----------------|
|                                    | blé  | denté | Corné | SE  | blé vs maïs | denté vs corné |
| QI (g MS/j)                        | 6807 | 6602  | 6650  | 287 | NS          | NS             |
| <b>Digestion amidon (% ingéré)</b> |      |       |       |     |             |                |
| Rumen                              | 87   | 61    | 35    | 2,4 | ***         | ***            |
| Intestin grêle                     | 3    | 9     | 18    | 0,1 | **          | **             |
| Gros intestin                      | 5    | 13    | 28    | 4,5 | *           | †              |
| Tube digestif                      | 96   | 84    | 82    | 1,6 | ***         | NS             |
| <b>Digestion du NDF (% ingéré)</b> |      |       |       |     |             |                |
| Rumen                              | 49   | 53    | 57    | 0,9 | ***         | **             |
| Tube digestif                      | 57   | 51    | 56    | 1,8 | NS          | †              |

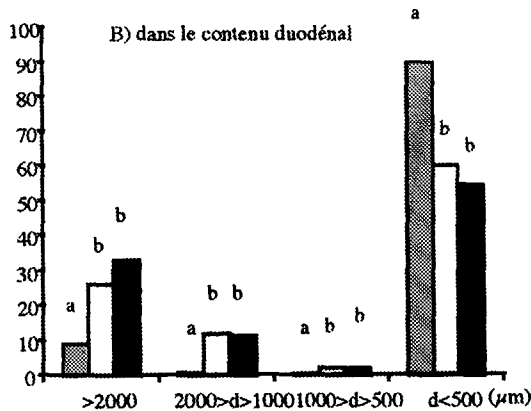
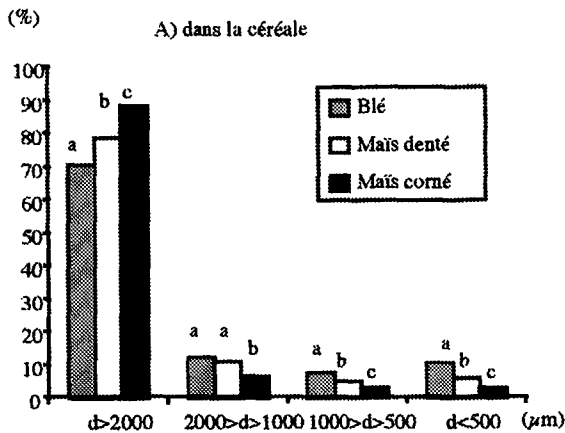
NS :  $P > .1$ ; † :  $P < .1$ ; \* :  $P < .05$ ; \*\* :  $P < .01$ ; \*\*\* :  $P < .001$ .

Pour le blé, cette diminution s'explique à la fois par une réduction de la taille moyenne des particules dans le contenu duodéal, exprimée sur la base de la MS, et par une diminution de la teneur en amidon dans les grosses particules. Mais pour les 2 variétés de maïs, le teneur en amidon des grosses particules n'était pas modifiée après passage dans le rumen, et la diminution de la proportion d'amidon contenue dans les grosses particules au niveau duodéal était uniquement due à la réduction de la taille moyenne des particules, exprimée en terme de MS. Ces résultats sont à mettre en relation avec les différences d'accessibilité des granules d'amidon aux enzymes microbiennes entre céréales, différences qui portent sur la nature des liaisons entre le granules d'amidon et la matrice protéique dans laquelle ces granules sont enchâssés (Kotarski *et al.*, 1992). Au niveau intestinal, un accroissement de la proportion d'amidon by-pass s'est traduit par une augmentation de la quantité d'amidon digérée dans ce segment, mais cette augmentation n'était pas suffisante pour compenser totalement les variations de digestion de l'amidon dans le rumen (Tableau 1). Exprimé en proportion de l'amidon by-pass, la quantité d'amidon digérée dans l'intestin grêle était limitée et relativement constante quel que soit le régime considéré, soit 25% en moyenne. En conséquence, le gros intestin participe efficacement à ce phénomène compensatoire, particulièrement dans le

cas de rations riches en céréale à amidon lentement dégradable dans le rumen.

Le pH moyen du rumen était plus bas avec le régime à base de blé comparé aux régimes à base de maïs (Tableau 2). Le pH minimal était plus bas avec le blé qu'avec le maïs (5.16 vs 5.88), et le temps pendant lequel le pH restait à des valeurs faibles (< 6.2) était 2 fois plus long avec le blé qu'avec le maïs. Parallèlement les concentrations en acide lactique (245 mg/L) et en acides gras volatils (940 mole/L) étaient élevées et indépendantes de la nature et du type de céréale (Tableau 2). Le ratio acétate/propionate était plus faible avec le blé qu'avec le maïs, et avec le maïs denté qu'avec le maïs corné, mais ces différences n'étaient pas significatives. Cependant les variations des concentrations en AGV du contenu ruminal ne reflètent pas réellement les quantités produites de chacun d'eux.

Figure 1  
Distribution de l'amidon



Les valeurs marquées d'une lettre différente au sein d'un même histogramme correspondent à une différence significative.

La vitesse d'absorption relative des AGV dépend du pH ruminal et de la nature des AGV (Peters *et al.*, 1992), la vitesse d'absorption du propionate est plus rapide que celle de l'acétate quand le pH ruminal diminue. Aussi la vitesse d'absorption du propionate pourrait être plus importante avec la ration à base de blé, caractérisée par un pH bas, et la comparaison des ratios acétate/propionate pour apprécier les orientations fermentaires avec ces 2 types de rations conduirait à une sous-estimation de la production d'acide propionique avec la ration à base de blé par rapport aux 2 rations à base de maïs.

La digestion ruminale des parois dans la ration à base de blé était en moyenne inférieure à celle des parois dans la ration à base de maïs, 49 et 55 % respectivement, et celle du maïs denté inférieure à celle du maïs corné, 53 et 57 % respectivement (Tableau 1). Cette diminution pouvait être mise en relation avec une diminution du temps de séjour des particules dans le

rumen et/ou avec les faibles valeurs de pH rapportées précédemment. La participation du gros intestin à la digestion des parois dans l'ensemble du tube digestif était de 14 % pour la ration à base de blé, soit une valeur comparable à celle (10 % en moyenne) rapportée par Tisserand et Demarquilly (1995). Elle était nulle dans le cas des rations à base de maïs. Parallèlement une quantité non négligeable d'amidon arrivait dans la partie distale du tube digestif avec les régimes à base de maïs. Cet amidon pourrait induire un effet dépressif sur la digestion des parois dans ce compartiment, comme cela a déjà été mis en évidence au niveau ruminal. Au niveau de l'ensemble du tube digestif, le déplacement de la digestion de l'amidon du rumen vers l'intestin n'a donc pas permis d'augmenter la digestion de la fraction pariétale, par suite de l'existence probable d'interactions digestives au niveau caecal.

Tableau 2  
Caractéristiques fermentaires ruminales

|                | maïs  |       |       | SE   | Effet       |                |
|----------------|-------|-------|-------|------|-------------|----------------|
|                | blé   | denté | corné |      | blé vs maïs | denté vs corné |
| pH moyen       | 6.26  | 6.51  | 6.48  | 0.05 | **          | NS             |
| pH minimal     | 5.16  | 5.81  | 5.94  | 0.09 | ***         | NS             |
| Tps < pH 6.2   | 13h30 | 5h03  | 8h30  | 1.42 | **          | NS             |
| Lactate (mg/L) | 231   | 227   | 269   | 28.0 | NS          | NS             |
| AGV (mole/L)   | 1000  | 830   | 980   | 63   | †           | NS             |
| Ratio C2/C3    | 2.66  | 2.89  | 3.15  | 0.27 | NS          | NS             |

NS : P > .1 ; † : P < .1 ; \*\* : P < .01 ; \*\*\* : P < .001.

En conclusion, nous avons montré que la variété de maïs constituait un moyen de manipuler le site de digestion de l'amidon d'une part, et que les différences de digestion ruminale de l'amidon entre céréales à amidon lentement et rapidement dégradable s'exprimaient d'autant plus que le grain est grossièrement broyé. Il devrait donc être possible à l'avenir de choisir un maïs en fonction de la vitesse de dégradation de son amidon, et donc de sa capacité à induire des problèmes d'acidose chez le ruminant.

Remerciements. – Ce travail a bénéficié du soutien financier de Limagrain Genetics International, B.P.1, 63270 Chappes, France.

Huntington G.B., 1997. *J. Anim. Sci.*, 75, 852-867.

Kotarski S.F., Waniska R.D., Thurn K.K., 1992. *J. Nutr.*, 122, 178-190.

Owens F.N., Secrist D.S., Hill W.J., Gill D.R., 1997. *J. Anim. Sci.*, 75, 868-879.

Peters J.P., Shen R.Y.W., Robinson J.A., 1992. *J. Anim. Sci.*, 70, 1509-1517.

Philippeau C., Le Deschault de Monredon F., Michalet-Doreau B., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77, 238-243.

Philippeau C., Michalet-Doreau B., 1997. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 68, 25-35.

Tisserand J.L., Demarquilly C., 1995. *Nutrition des ruminants domestiques*, ed. Jarrige J, Ruckebusch Y., Demarquilly C., Farce M.H., Journet M., INRA-Paris, pp.583-600.