

Digestion des glucides cytoplasmiques de la féverole par le veau préruminant

par J. M. BESLE, B. LASSALAS, P. THIVEND

Laboratoire de la Digestion des Ruminants, I.N.R.A.
Theix 63110 Beaumont France.

Summary. *Digestion of field bean cytoplasmic carbohydrates by the preruminant calf.*

Three veal calves, fitted with a re-entrant ileo-ileal and a single cannula in the colon, were fed according to a Latin-square design, after which the first period was repeated. They were given three milk substitutes containing crude (C), infranised (I) and steamflaked (F) dehulled field bean flour which supplied (DM basis) 15 p. 100 starch, 1.8 p. 100 sucrose and 1.0 p. 100 α -galactosides (table 1). Carbohydrate digestion was studied along the digestive tract (ileum, colon, faeces) using chromic oxide as a marker when the animals were 33, 61, 84 and 102 days old. Starch was determined enzymatically. Water-soluble carbohydrates were analysed as total sugars and then separated by ion-exchange and molecular-sieve chromatography. Reducing carbohydrates were determined by an ultra-sensitive automated method (appendix and fig. 5).

The mean starch content dropped from 30 in the ileum to 15 and 2 p. 100 (DM basis) in the colon and faeces, respectively (table 3). Similarly, the solubilized portion (reducing glycans) increased from 11.8 and 14.3 in the ileum and colon, respectively, to 60 p. 100 of total starch in the faeces. This portion (figs. 1 and 2, table 3) was divided into :

- 1) short oligosaccharides (maltose, maltotriose and maltotetraose) found in different proportions in the ileum (mainly maltose) and in the large intestine (mainly maltotriose) ;
- 2) reducing oligosaccharides with a 4-22 degree of polymerization (\overline{DP}) mainly in the large intestine ;
- 3) reducing polysaccharides with a \overline{DP} greater than 22 (mean \overline{DP} : 100 in the ileon and 50 in the large intestine).

These results show that calf amylases were in equilibrium with disaccharidase activities (maltase and isomaltase). Enzymes from micro-organisms, whose hydrolysis rate seemed faster than that of calf amylases, completed starch digestion in the large intestine. By the end of the first month, apparent starch digestibility (table 4) was 0.97, and afterwards it was practically total. An age effect was noted up to 2 months, as shown by increased digestion in the small intestine (42 to 70 p. 100 total digestible starch) and a rise in water-soluble polysaccharide ($\overline{DP} < 22$) in the ileum with diets I and F, as well as in the colon whatever the diet. Similarly, the proportion of oligosaccharides (\overline{DP} 2-4) in the small intestine decreased with age (fig. 3).

Processing the field beans slightly modified water-soluble carbohydrate composition (table 2) and increased starch solubilization in the small intestine, mainly by infranisation, but had no significant effect on total digestion. Infranisation processing slightly increased apparent digestibility : 0.838 vs 0.826 and 0.797 for nitrogen ; 0.946 vs 0.929 and 0.934 for lipids with I, C and F diets, respectively.

In the ileum contents, the proportions of α -galactosides and sucrose were close to those of the diet (fig. 4) but in the large intestine, we observed a rise in short-chain α -galactosides (raffinose, stachyose) due to the mechanisms of galactosidase action.

The microbial activity (table 5) found in the ileum contents (pH : 6.5) greatly increased in the large intestine (pH : 5.7). Nevertheless, faecal dry matter did not decrease and the calves were not disturbed. Microbial fermentations slightly decreased after two months of age.

Introduction.

La féverole est une source de protéines, mais aussi de glucides, que l'on peut incorporer dans les aliments pour jeunes animaux, en particulier pour le porcelet (Aumaitre, 1980) et pour le veau préruminant (Duthie *et al.*, 1974 ; Wittenberg et Ingalls, 1979 ; Toullec *et al.*, 1980) après avoir éliminé les facteurs antinutritionnels (Valdebouze, 1977) et les tannins (Martin-Tanguy, Guillaume et Kossa, 1977). Les résultats obtenus sont cependant modestes.

Si l'utilisation des protéines de la féverole par le veau préruminant a déjà fait l'objet de plusieurs travaux (Sissons et Smith, 1975 ; Guilloteau *et al.*, 1977, 1979 ; Patureau-Mirand *et al.*, 1977), celle de ses glucides cytoplasmiques est peu connue. Ces derniers sont composés d'amidon (46 p. 100), de saccharose et d' α -galactosides (6,2 p. 100) (Cerning, Saposnik et Guilbot, 1975 ; Cerning-Beroard et Filiatre, 1976). Il est bien établi maintenant que le veau est capable de digérer l'amidon, en grande partie dans l'intestin grêle (Thivend, 1979), mais l'importance de cette dégradation varie avec l'origine botanique de l'amidon et n'a pas été étudiée pour la féverole. En outre, nous ignorons encore de nombreux mécanismes de cette digestion, en particulier la composition et la quantité de dextrines produites au cours de l'hydrolyse intestinale. Une accumulation de celles-ci, pouvant limiter l'utilisation de l'amidon, a été observée par Mathieu, Thivend et Barré (1970) avec des amidons de maïs et de pomme de terre dextrinisés chez le veau préruminant, puis par Mayes et Orskov (1974) avec de l'amidon de maïs pré-gélatinisé chez l'agneau.

Le saccharose et les α -galactosides ne peuvent être dégradés par les enzymes de l'animal. Ainsi, dans le cas du soja, ils le sont par la microflore, principalement dans le gros intestin (Besle et Thivend, 1980) mais leur présence dans l'aliment peut provoquer des troubles digestifs (Hellendoorn, 1969).

Nous nous sommes donc attachés à étudier, d'une part dans quelle mesure et comment les glucides cytoplasmiques de la féverole décortiquée sont digérés dans les différentes parties du tube digestif et, d'autre part quelle peut être l'influence de deux traitements (infranisation et floconnage) et de l'âge des animaux sur ces phénomènes.

Matériel et méthodes.

Animaux et régimes. — Trois veaux mâles de race Frisonne recevant un aliment d'allaitement classique ont été munis, à l'âge de 12 jours, d'une canule double iléo-iléale et d'une canule simple dans le côlon proximal. Huit jours après l'opération, ils ont été adaptés, en 10 jours, à trois aliments d'allaitement expérimentaux contenant

de la farine de féverole décortiquée crue (C), infranisée (I) ou floconnée (F) (à raison de 31,1, 30,3 ou 31,5 p. 100 respectivement) (tabl. 1). La composition des aliments et la nature du traitement technologique (Melcion et Valdebouze, 1977) étaient les mêmes que celles décrites par Toullec *et al.* (1980).

TABLEAU 1
Composition des aliments

Aliment féverole décortiquée	Crue	Infranisée	Floconnée
Constituants (p. 100 de l'aliment) :			
Féverole	31,1	30,3	31,5
Poudre de lait écrémé	38,9	38,9	38,9
Matières grasses ⁽¹⁾	19,0	19,0	19,0
Lactose	4,4	5,2	4,0
Lysine HCl	0,34	0,34	0,34
DI méthionine	0,29	0,29	0,29
Amidon pré-gélatinisé	1,0	1,0	1,0
Complément minéral vitaminisé	3,5	3,5	3,5
Polyéthylène glycol 4000	1,0	1,0	1,0
Oxyde de chrome	0,5	0,5	0,5
Composition chimique (p. 100 de MS) :			
Matières azotées (N × 6,25)	24,3	24,1	23,9
Lipides	20,5	20,5	20,5
Matières minérales	7,8	7,5	7,6
Amidon	15,2	15,4	14,9
Lactose	21,5	22,7	21,1
Saccharose	0,8	0,8	0,8
α-galactosides	1,0	1,1	1,0
Farine de féverole décortiquée :			
Activité antitrypsique (TUI/mg MS) ⁽²⁾ ...	8	1,7	1,2
Activité hémagglutinante ⁽³⁾	100	25	50

(¹) Suif 97,9 p. 100 + sucroglycérides (2,1 p. 100). (²) Selon Toullec *et al.*, 1980. (³) Résultats exprimés en unités d'hémagglutinine/mg M.S., selon Valdebouze *et al.*, 1980.

En plus du lactose (21,5 p. 100 par rapport à la matière sèche), les trois aliments renfermaient approximativement 15 p. 100 d'amidon, 1 p. 100 d'α-galactosides et 0,8 p. 100 de saccharose. En outre, ils contenaient deux marqueurs de transit, de l'oxyde de chrome et du polyéthylène glycol 4000 (PEG), aux taux respectifs de 0,5 et 1 p. 100 de la matière sèche.

Les 3 régimes ont été distribués successivement aux 3 animaux selon un carré latin, durant 3 périodes d'environ un mois, puis durant une 4^e qui répétait la 1^{re}.

Les 3 laits ont été reconstitués à raison de 130 g d'aliment d'allaitement par kg de lait distribué. Les quantités offertes ont augmenté du début à la fin de l'expérience de 43 à 50 g de poudre/kg P^{0.75}/jour. Les animaux ont été alimentés deux fois par jour, au seau, à 8 h 30 et 17 h.

Mesures et prélèvements. — Les animaux ont été pesés chaque semaine. Après une période d'adaptation de 2 semaines pour chaque aliment, des prélèvements de contenus d'iléon, de côlon et de rectum ont été effectués aux âges de 33, 61, 84 et 102 jours.

Ils ont été collectés pendant 3 jours consécutifs toutes les 6 heures, avec un décalage quotidien de 2 h (ce qui équivaut à un prélèvement toutes les 2 h pendant 24 h) et recueillis de façon à reconstituer un échantillon moyen pour chaque niveau du tube digestif. Une fraction d'environ 25 p. 100 destinée à l'analyse des glucides, était immédiatement congelée puis lyophilisée et broyée. Le reste servait d'abord à la mesure du pH, était congelé puis utilisé pour les autres analyses sous forme soit fraîche (décongelée et homogénéisée), soit sèche (lyophilisée et broyée). En outre, les refus et les eaux de lavage des seaux ont été soigneusement recueillis pour y doser l'oxyde de chrome qui aurait pu sédimenter pendant la buvée. Cette précaution a entraîné une augmentation de la digestibilité apparente de la matière sèche en moyenne de 0,2 p. 100.

Méthodes d'analyse. — La teneur en matière sèche a été déterminée à 80 °C, jusqu'à poids constant. Sur les contenus secs ont été dosés : 1) l'azote total par la méthode de Kjeldahl, 2) les lipides après hydrolyse (méthode de Folch *et al.*, 1957), 3) les cendres à 600 °C pendant 4 h, 4) l'oxyde de chrome, tout d'abord oxydé en Cr^{VI} par la méthode de Bolin, King et Klosterman (1952) modifiée (le réactif oxydant sulfurique est remplacé par de l'acide nitrique) puis dosé colorimétriquement par le procédé automatisé de Mathieson (1970).

Sur les échantillons de contenu frais, éventuellement dilués, ont été dosés : 1) le polyéthylène glycol par la méthode de Malawer et Don Powell (1967) modifiée (lecture à 420 nm ; temps de stabilisation de 1 h 15), puis, après centrifugation (5 min à 35 000 g), 2) les acides gras volatils par chromatographie en phase gazeuse (Jouany, 1978), 3) l'acide lactique (Barker et Summerson, 1941), 4) l'ammoniaque par la réaction de Berthelot modifiée par Weatherburn (1967) et automatisée par Michel (1971).

— *Extraction des glucides hydrosolubles.* Les enzymes ont été dénaturés par l'alcool éthylique 95° GL bouillant avant extraction aqueuse à 40 °C par de l'eau additionnée d'acide benzoïque (1 p. 1 000 P/V), ce dernier jouant un rôle de conservateur. L'extraction a été réalisée de la manière suivante :

Peser environ 1 g d'échantillon dans un pot de centrifugation de 500 ml, taré. Placer celui-ci dans un bain-marie à ébullition. Ajouter 5 ml d'éthanol 95°GL bouillant en homogénéisant avec une baguette de verre. Evaporer l'alcool, d'abord à ébullition (environ 10 min), puis à température ambiante sous vide (environ 2 h). Extraire ensuite successivement par 40, 30 et 30 ml de solution d'acide benzoïque. A chaque opération laisser 15 min dans un bain-marie à agitation à 40 °C, centrifuger (10 min à 3 300 g) et recueillir le surnageant à l'aide d'une seringue dans une fiole de 100 ml que l'on ajuste en fin d'opération. Le résidu est lyophilisé dans le pot de centrifugation puis séché 24 h à 80 °C et pesé. Il a été vérifié par cette méthode que la glycolyse enzymatique est évitée et que la totalité des glucides hydrosolubles est extraite. Le résidu contient en particulier l'amidon insoluble dans ces conditions.

— *Fractionnement et dosage des glucides.* L'amidon a été dosé par la méthode à l'amyloglucosidase de Thivend, Mercier et Guilbot (1972) et les sucres totaux par celle à l'orcinol sulfurique automatisée (Besle, 1974 ; Besle, Lassalas et Thivend, 1980). Les glucides ont été analysés par chromatographie échangeuse d'ions (CEI) (Besle, 1974) et par tamisage moléculaire (CTM) sur Biogel P2 selon la méthode de John et Dellweg (1973) modifiée : le gel de polyacrylamide est élué de façon à ne conserver que les

grains de diamètre 10 à 40 μ , l'élution est faite par une solution à 1 p. 1 000 P/V de Brij 35 (Touzart et Matignon) à un débit de 1,1 ml/min, de bas en haut, afin d'éviter les surpressions. Ces modifications ont permis de séparer les tri- et tétraosides entre eux (par exemple stachyose et maltotétraose) et de différencier les α -glucanes jusqu'au degré de polymérisation moyen (\overline{DP}) égal à 22, le poids moléculaire étant déterminé à partir du volume d'élution des oligosides, selon Determan et Michel (1966). A la sortie de la colonne CTM, les glucides sont dosés en continu, par rapport à un standard externe, d'une part par l'orcinol sulfurique et d'autre part par une méthode de dosage du pouvoir réducteur des sucres (voir annexe). Dans ces conditions, le maltose et les homologues supérieurs ont un pouvoir réducteur molaire identique, mais inférieur d'environ 10 p. 100 à celui du glucose (Robyt, Ackerman et Keng, 1972). Mesuré pour le glucose, le maltose et le maltotriose, il a servi à calculer le facteur de réponse des oligosides réducteurs en fonction de leur poids moléculaire. La concentration du mélange polysidique élué en exclusion, est déterminée à l'aide du dosage à l'orcinol sulfurique avec le facteur de proportionnalité du maltose. Son \overline{DP} est calculé connaissant son pouvoir réducteur. Les autres glucides sont évalués à partir de composés standards ou, lorsqu'ils font défaut, en utilisant le coefficient de proportionnalité (K) de l'homologue inférieur (par exemple $K_{\text{verbascose}} = K_{\text{stachyose}}$). Certains glucides qui ne sont pas séparés par CTM peuvent l'être directement par CEI (oses) ou, dans le cas couple réducteur-non réducteur (saccharose-maltose; raffinose-trioside réducteur, ...), par CEI pour l'un d'eux au moins, et/ou calculés par différence entre les dosages « sucres réducteurs » et « sucres totaux » de l'effluent CTM. Enfin, nous avons recueilli quelques fractions éluées par CTM et les avons analysées par CEI en particulier pour séparer les diholosides entre eux. Les dextrines solubles ont été évaluées d'une part par CTM et d'autre part par la méthode de Thivend, Mercier et Guilbot (1972), mais en supprimant l'empesage et l'autoclavage.

Résultats.

Les veaux ont toujours très bien consommé les aliments quels que soient leur âge et le type de féverole utilisée. Leur gain de poids a été modeste, compte tenu des manipulations qu'ils ont subies (prélèvements de contenu digestif, entretien des canules) et du plan de rationnement volontairement limité. Il a cependant augmenté avec l'âge des veaux (de 470 g/jour à 33 jours à 920 g/jour à 102 jours).

L'état sanitaire des veaux a été très satisfaisant pendant tout l'essai. L'un d'entre eux a toutefois présenté, entre la première et la deuxième période de prélèvements, une anastomose intestinale qui a provoqué le passage du contenu directement de la partie de l'iléon située en aval de la canule réentrante, dans le côlon. Son état sanitaire ne s'est pas détérioré pour autant et a été aussi satisfaisant que celui des autres animaux. Cette perturbation a toutefois modifié la composition des échantillons ; les données obtenues à partir de cet animal ont donc été éliminées des résultats, à partir de la 2^e période. L'interprétation statistique n'a donc pu se faire suivant le schéma « carré latin », mais par analyse de variance à 2 voies.

Aucun trouble digestif n'est apparu pendant tout l'essai. En particulier, la teneur en matière sèche des fèces a toujours été satisfaisante (respectivement $22,7 \pm 2,2$; $24,3 \pm 3,3$; $25,8 \pm 4,2$ pour les régimes C, I et F).

Composition glucidique de l'aliment et des contenus digestifs.

Farine de féverole (tabl. 2).

TABLEAU 2

Composition glucidique des farines de féverole utilisées (p. 100 de la matière sèche)

	Traitement technologique		
	Crue	Infranisée	Floconnée
Amidon	45,4	46,8	46,8
Non réducteurs hydrosolubles :			
— saccharose	2,55	2,72	2,49
— α -galactosides			
{ raffinose	0,08	0,05	0,08
{ stachyose	0,50	0,55	0,48
{ verbascose	2,56	2,71	2,48
{ ajugose	0,08	0,05	0,05
{ polyosides ⁽¹⁾ $\overline{DP} > 20$	0,11	0,13	0,21
— Total (saccharose + α -galactosides)	5,88	6,21	5,79
Réducteurs hydrosolubles :			
— inconnu 1	0,08	0,03	ND
— inconnu 2 (diholosite)	tr	tr	tr
— maltotétraose ($\overline{DP} = 4$)	—	0,03	0,06
— maltonaose ($\overline{DP} = 9$)	—	0,05	0,11
— maltodécaose ($\overline{DP} = 10$)	0,11	—	—
Total hydrosolubles (chromatographie) ⁽²⁾	6,17	6,32	5,96
Sucres totaux, EGHT $\times 0,9$ ⁽³⁾	6,48	6,45	6,57
Hemicelluloses + cellulose ⁽⁴⁾	6,2	6,2	6,2
Total général ⁽⁵⁾	57,5	59,2	58,8

\overline{DP} = degré de polymérisation moyen ; ND = non déterminé ; tr = traces.

(¹) Elués en exclusion. (²) Chromatographie par tamisage moléculaire. (³) EGHT = Equivalent glucidique hydrosoluble total = dosage des sucres totaux par rapport au glucose. (⁴) D'après Cerning, Saposnik et Guilbot (1975), valeur moyenne pour différentes variétés de féverole. (⁵) Total général = saccharose + α -galactosides + amidon + glucides pariétaux.

La farine de féverole crue utilisée renferme 45,4 p. 100 d'amidon, 2,6 p.100 de saccharose, 3,2 p. 100 d' α -galactosides (principalement constitués de verbascose) et 6,2 p. 100 de glucides pariétaux. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Cerning, Saposnik et Guilbot (1975). Comme ces auteurs, nous avons observé des pics inconnus ; en particulier le glucide élué après l'ajugose (« pic A » selon leur dénomination) est réducteur et correspond probablement au maltonaose ($\overline{DP}9$). On trouve également un faible pourcentage de polyosides non réducteurs de \overline{DP} supérieur à 20 qui pourraient être des α -galactosides supérieurs.

L'infranisation et principalement le floconnage font apparaître des oligosides et des polyosides dont certains sont réducteurs (\overline{DP} 4 et 9) et sont différents de ceux analysés par Pridham (1958). Cette observation rejoint celle de Colonna, Melcion et Mercier (1976) et de Cerning-Beroard (1977) qui ont observé une augmentation de l'amidon soluble sous l'effet de l'infranisation du maïs et de l'extrusion de la féverole.

Contenus digestifs (fig. 1, tabl. 3).

Aspects qualitatifs (fig. 1).

Dans la fraction insoluble dans l'eau des contenus digestifs, seul l'amidon a été déterminé. En revanche, nous avons séparé par chromatographie, les glucides hydrosolubles provenant de l'hydrolyse de l'amidon, les α -galactosides, et ceux d'origine vraisemblablement endogène (Besle *et al.*, 1981). Par CTM les diholosides se décomposent en 2 pics mal séparés, G2 et G2'. Le premier, isolé et chromatographié par CEI, correspond à un mélange de maltose et de saccharose, avec des traces de lactose ; il n'y a pas d'isomaltose. Le second pic correspond vraisemblablement à des diholosides endogènes (Besle *et al.*, 1981) ; le mélibiose qui devrait être élué dans cette fraction apparaît en quantité négligeable ou nulle.

De même les triosides se décomposent par CTM en 2 pics, G₃ et G₃'. Le premier correspond au maltotriose avec peut-être l'isomaltotriose, le second aux glucides endogènes réducteurs et au raffinose. Les tétraosides sont séparés en maltotétraose (linéaire + éventuellement ramifié) et en stachyose + endogènes réducteurs, ces derniers n'ayant été détectés qu'à l'état de traces. Nous avons obtenu en outre des dextrans de \overline{DP} 5, 6, 7 (2 structures), 8 (2 structures), 9, 13, 16-22 (indifférenciés) et > 22, élués en exclusion. Cette dernière fraction contient aussi probablement des α -galactosides de poids moléculaire élevé ($\overline{DP} > 20$) hydrosolubles, qui ont été évalués en supposant qu'ils n'étaient ni absorbés, ni digérés dans l'intestin grêle et qu'ils étaient digérés, comme l'ajugose, dans le côlon.

Aspects quantitatifs (tabl. 3).

— *Amidon et dextrans*. La teneur en amidon passe d'environ 30 p. 100 dans l'iléon à 15 p. 100 dans le côlon et à 2 p. 100 dans les fèces. La part d'amidon rendue hydrosoluble (évaluée sans doute par excès sous forme de glycanes réducteurs de $\overline{DP} \geq 2$) est faible dans l'iléon et le côlon, mais importante dans les fèces (équivalant respectivement à 11,8-14,3 et 60,3 p. 100 de l'amidon). La proportion de dextrans de $\overline{DP} > 4$ est plus importante dans le côlon et dans les fèces que dans l'iléon (tabl. 3, fig. 2). La taille des dextrans est plus faible dans le gros intestin et dans les fèces que dans l'iléon (les \overline{DP} du pic en exclusion étant respectivement de 46, 56 et 110). Il semble qu'il y ait moins de tétraosides par rapport aux triosides et au maltose dans le gros intestin que dans l'iléon. Les glucides endogènes réducteurs des pics G2' et G3' disparaissent progressivement à partir de la fin de l'iléon.

L'infransation et le floconnage augmentent considérablement la proportion de dextrans solubles et principalement des oligosides de \overline{DP} 2-4, surtout dans l'iléon, mais la teneur en amidon total de chaque compartiment étudié n'est pas modifiée par le traitement.

Jusqu'à 2 mois, mais pas au-delà, la proportion de dextrans de poids moléculaire élevé ($\overline{DP} > 4$) augmente avec l'âge (fig. 3) dans l'iléon et surtout dans le côlon, mais leur longueur de chaîne est peu affectée. Cette augmentation est surtout sensible avec les produits infransés et floconnés.

— *α -galactosides et saccharose*. Ils représentent respectivement 2,9 et 1,1 p. 100 de la matière sèche du contenu dans l'iléon, 1,6 et 0,3 p. 100 dans le côlon et ont disparu dans

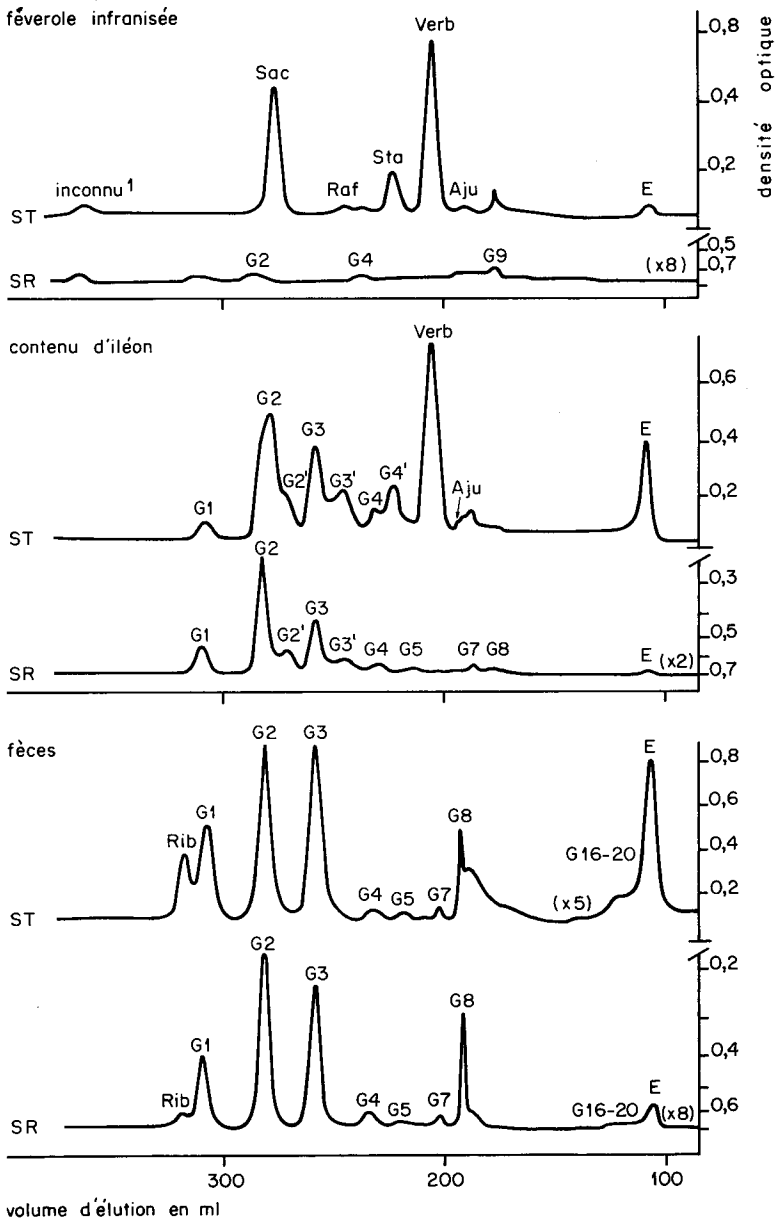


FIG. 1. — Exemples d'analyses chromatographiques sur biogel de la fève et des contenus intestinaux : iléon et fèces.

ST = Dosage des sucres totaux à l'orcinoï sulfuriq, échelle linéaire. SR = Dosage des sucres réducteurs au ferricyanure, échelle semi-logarithmique (représentation inversée), () = expansion d'échelle. Sac = Saccharose ; Raf = Raffinose ; Sta = Stachyose ; Verb = Verbascose ; Aju = Ajugose ; Rib = Ribose ; G1 = Hexoses ; G2, G2', G3, G3' ..., G20 = Oligosides ; E = Exclusion du matériel polysidique.

TABLEAU 3
Composition moyenne des digesta en glucides hydrosolubles et amidon (1)

Lieu Traitement (2)	iléon			côlon			féces		
	C	F	I	C	F	I	C	F	I
Amidon (3) (p. 100 de la MS)	29,2	24,9	28,4	13,8	16,9	15,6	1,6	2,1	2,0
Réducteurs hydrosolubles (p. 100 de l'amidon) :									
— glucose	1,4	0,9	1,3	1,2	3,0	5,7	4,5	7,6	4,6
— autres oses	0,2	0,5	1,4	0,4	2,0	2,1	1,1	1,9	1,4
— maltose	1,5	3,3	3,2	2,1	1,1	1,6	3,9	5,2	7,7
— autres diholosides (4)	1,0	0,5	1,0	0,3	0,6	2,0	—	—	—
— maltotriose (L + R)	0,6	2,1	2,9	0,7	1,9	3,9 ^a	10,9	8,1	6,7
— autres trisides (4)	1,8	2,3	1,2	1,7	0,7	2,1	—	—	—
— maltotétraose (L + R)	0,3 ^a	0,9	1,3	—	0,1	0,5	1,3	0,5	0,5
— oligosides DP 4 à 22	1,0	0,5	1,4	2,7	1,8	2,6	10,5	8,1	8,9
— polyosides DP > 22	1,6	3,3	3,6	4,1	6,5	5,7	46,6	30,2	33,7
() DP moyen calculé	(107)	(124)	(100)	(35)	(70)	(34)	(57)	(67)	(40)
— glycanes (5) DP ≥ 2	7,8	12,9	14,6	11,6	12,7	18,4	73,1	52,1	57,5
Non réducteurs hydrosolubles :									
— composition { saccharose	28,0	30,8	27,5	22,7	7,8	19,9	tr	—	—
— centésimale { RSAV	68,1	61,8	67,8	76,7	90,3	79,2	100	—	—
— feneur totale (p. 100 de la MS)	4,2	7,4	4,7	0,6	1,9	0,9	—	—	—
Totaux (p. 100 de la MS) :	3,5	4,2	4,0	1,7	2,1	2,1	0,01	—	—
— chromatographiés	6,3	7,7	9,0	3,5	5,1	6,3	1,2	1,3	1,3
— EGHT × 0,9	10,5	13,3	12,7	6,2	7,5	8,1	2,9	2,6	2,9
— total général (6)	33,2	29,4	33,2	15,7	19,9	18,9	1,7	2,3	2,2

(1) Abréviations : MS = matière sèche ; tr = traces ; DP = degré de polymérisation moyen ; L + R = linéaire + éventuellement ramifié ; RSAV = raffinose + stachyose + verbascose + ajucose ; EGHT = équivalent glucidique hydrosoluble total (dosage des sucres totaux par rapport au glucose). (2) Traitement : C = fève crue, I = fève crue infirmisée, F = fève crue floconnée. (3) Amidon = amidon insoluble + dextrines solubles. (4) Ces glucides ont probablement une origine endogène selon Besle *et al.*, 1981. (5) Glycanes = total des glucides réducteurs polymérisés. (6) Total général = amidon + oses totaux + saccharose + α -galactosides, ^a = différence significative, P < 0,05.

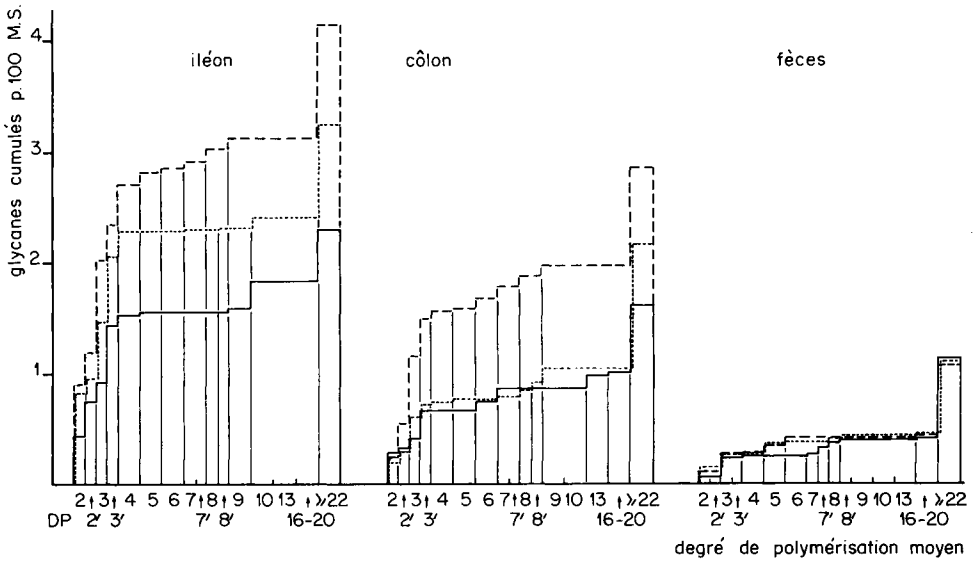


FIG. 2. — Composition moyenne des contenus intestinaux en glycane réducteurs (« Dextrines ») pour différents régimes.

— : féverole crue ; - - - - : féverole infranisée ; : féverole floconnée

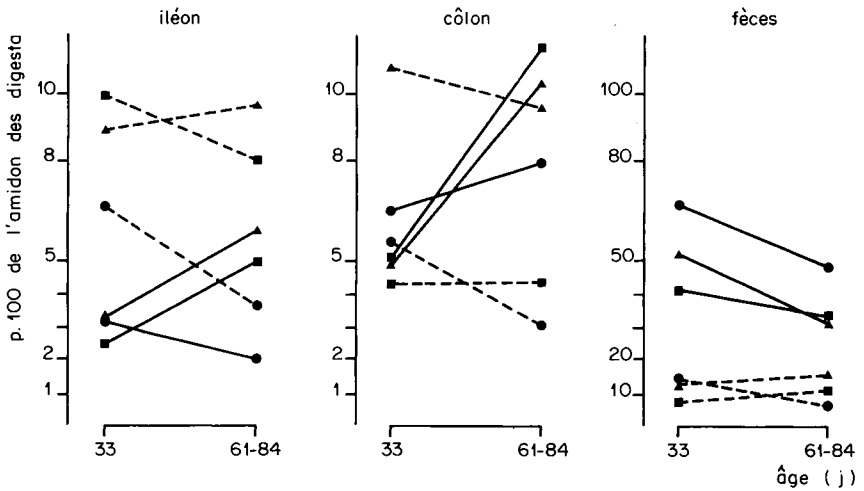


FIG. 3. — Evolution avec l'âge des teneurs en polysides et en oligosides réducteurs solubles des digesta. Résultats 61-84 jours regroupés.

Traits pleins : polysides ($\overline{DP} > 4$) ; pointillés : oligosides ($\overline{DP} 2-4$) ; ● : féverole crue ; ▲ : féverole infranisée ; ■ : féverole floconnée.

les fèces (tabl. 3). Dans l'iléon (fig. 4), la proportion relative des α -galactosides est proche de celle de l'aliment, mais celle du saccharose est plus faible. Dans le côlon, on note un accroissement relatif en stachyose et en raffinose alors que la part du saccharose continue à diminuer. L'âge et le traitement technologique n'ont pas d'influence sur la composition des contenus en α -galactosides et en saccharose.

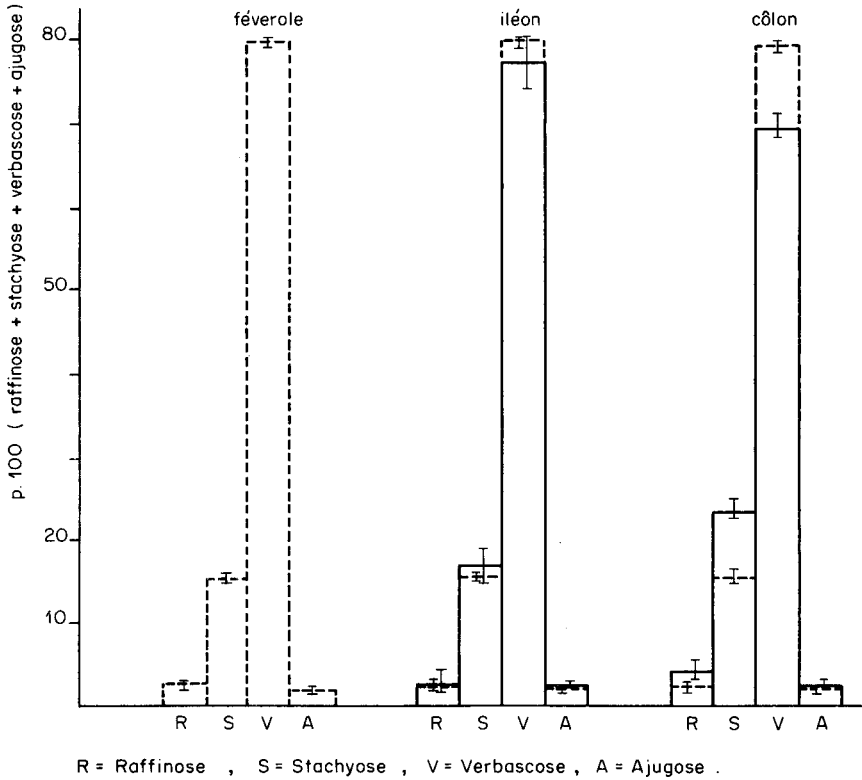


FIG. 4. — Dégradation comparée des α -galactosides dans l'intestin pour les trois régimes ; valeurs moyennes et extrêmes (I).

----- : proportion dans l'aliment; — : proportion dans le contenu digestif.

— Oses libres. Le pourcentage d'oses libres est très faible. Dans l'iléon, le glucose et le galactose constituent en moyenne 0,34 et 0,18 p. 100 de la matière sèche. Dans le côlon, en plus de ces 2 oses (en moyenne respectivement 0,52 et 0,23 p. 100 MS) on trouve du ribose (0,01 p. 100 MS). Dans les fèces, seul du glucose est présent avec du ribose (en moyenne respectivement 0,11 et 0,03 p. 100 MS).

Digestion des aliments.

Choix du marqueur. — L'utilisation de l'oxyde de chrome et du PEG comme marqueurs pour quantifier la digestion dans l'intestin grêle et le gros intestin a abouti à des

résultats différents. Les coefficients d'utilisation digestive apparents (CUDA) moyens calculés avec le PEG ont été significativement inférieurs ($P < 0,01$) au niveau de l'iléon (de 7 et 3 points respectivement pour la matière sèche et les lipides) à ceux calculés avec l'oxyde de chrome. Les différences sont moindres (3,5 et 3,9 points) au niveau du côlon et les valeurs sont très proches (0,95 et 0,34 point d'écart) dans les fèces. Nous avons préféré utiliser l'oxyde de chrome plutôt que le PEG pour deux raisons : 1) parce que les valeurs du CUDA de la matière sèche calculées dans ce cas étaient en bonne concordance avec les résultats de Toullec *et al.* (1980), obtenus par collecte totale des fèces de veaux recevant des régimes expérimentaux identiques ; 2) parce que le CUDA moyen des lipides, calculé avec l'oxyde de chrome, a été proche à la fin de l'iléon de celui des fèces (respectivement 92,7 ; $\sigma = 3,0$ et 92,2 ; $\sigma = 3,0$), comme cela a été montré par collecte totale des digesta (Van Hellemond et Van Weerden, 1973).

Digestibilité et part de la digestion dans l'intestin grêle et dans le gros intestin (tabl. 4). — La digestibilité apparente de l'amidon de la féverole est élevée dès le premier mois de la vie du veau (0,974) et augmente avec l'âge pour être quasiment totale (0,994) à l'âge de 84 jours. La part de l'amidon digestible digérée dans l'intestin grêle est faible chez le jeune veau (42 p. 100) ; elle atteint un maximum (environ 70 p. 100) au bout de 2 mois, ce qui signifie qu'une part relativement importante de l'amidon est donc digérée dans le gros intestin. L'infransation et le floconnage n'améliorent pas la digestibilité apparente de l'amidon mais augmentent de façon significative ($P < 0,05$) la part de l'amidon digérée dans l'intestin grêle.

La digestibilité apparente des α -galactosides et du saccharose est toujours totale quels que soient les animaux et le traitement de la féverole. Une part importante et croissante avec l'âge des animaux est digérée dans l'intestin grêle (de 28,4 à 52,6 p. 100 du digestible pour les α -galactosides et de 59,0 à 76,1 p. 100 pour le saccharose).

Par ailleurs, l'infransation a tendance à améliorer légèrement la digestibilité apparente des autres constituants de la ration (0,838 au lieu de 0,826 et 0,797, ainsi que 0,946 au lieu de 0,929 et 0,934 pour l'azote et les matières grasses respectivement avec les régimes I, C et F). Pour tous les régimes la digestibilité apparente de l'azote diminue d'environ 6 p. 100 dans le gros intestin alors que celle des matières grasses n'est pas modifiée.

Produits terminaux de la fermentation microbienne (tabl. 5). — A la fin de l'iléon, l'activité microbienne est essentiellement orientée vers une production relativement importante d'acide lactique (environ 40 mmoles/l) ; la concentration en acides gras volatils (AGV) est faible (de l'ordre de 15 mmoles/l) et la valeur du pH est d'environ 6,5. Les fermentations augmentent fortement dans le côlon : la concentration en AGV est élevée (95 mmoles/l) mais la teneur en acide lactique n'est pas modifiée par rapport à celle du contenu iléal ; la teneur en azote ammoniacal est faible, les valeurs du pH sont voisines de 5,5. L'intensité des fermentations semble varier le long du côlon puisque la teneur en AGV et en ammoniacque s'élève dans les fèces alors que la teneur en acide lactique diminue ; corrélativement le pH augmente. D'une façon générale le traitement de la féverole n'a pas eu d'influence sur la nature et l'intensité des fermentations dans l'intestin. L'activité fermentaire diminue légèrement entre 1 et 2 mois d'âge puis se stabilise. De ce fait nous avons regroupé les résultats au-dessus de 2 mois d'âge.

TABLEAU 4

Importance et lieu de la digestion des glucides en fonction de l'âge ou du régime
Moyennes et écart type de la moyenne ()

	Age (jours) (régimes confondus)			Régime (1) (âge moyen)	Moyenne générale
	33	61	102		
Quantités ingérées (g/jour)	111,5	150,4	186,7	220,0	
Digestibilité apparente	0,974 (0,006)	0,983 (0,001)	0,994 (0,007)	0,993 (0,006)	0,984 (0,014)
Quantités digérées dans l'intestin grêle :					
— p. 100 du digestible	41,9 ^a	70,2	72,2	71,4	64,6
	(2,2)	(6,1)	(4,8)	(18,2)	(19,9)
— g/kg P ^{0,75}	2,5	4,6	5,0	5,0	64,6
	(0,2)	(0,2)	(0,9)	(0,9)	(22,2)
					61,5
					(16,3)
Quantités ingérées (g/jour)	8,9	10,3	12,9		
Digestibilité apparente	1,000 (0)	0,999 (0,002)	1,000 (0)	ND	1,000 (0)
Quantités digérées dans l'intestin grêle (p. 100 du digestible)	28,4	43,2	52,6	ND	39,9
	(7,8)	(13,9)	(18,7)		(22,6)
					38,3
					(1,4)
					39,5
					(16,2)
Quantités ingérées (g/jour)	5,9	8,0	9,9		
Digestibilité apparente	1,000 (0)	1,000 (0)	1,000 (0)	ND	1,000 (0)
Quantités digérées dans l'intestin grêle (p. 100 du digestible)	59,0	76,9	76,1	ND	71,7
	(4,3)	(9,7)	(7,2)		(8,8)
					63,4
					(10,7)
					69,0
					(10,9)

ND = non déterminé. (1) C = féverole crue, I = féverole infranisée, F = féverole floconnée.

^a = différence significative P < 0,05.

TABLEAU 5
Evolution avec l'âge (régimes confondus) des produits terminaux de la digestion microbienne
Moyennes et écart type de la moyenne ()

	Iléon		Côlon		Fèces	
	33	61 à 102 (1)	33	61 à 102 (1)	33	61 à 102 (1)
pH	6,4 (0,1)	6,6 (0,5)	5,1 (0,1)	5,6 (0,2)	5,6 (0,5)	6,3 (0,3)
--- p. 100 molaire :						
acétique	69,7	75,5	51,0	49,8	48,8	53,4
propionique	21,2	13,9	26,4	21,2	17,7	25,8
isobutyrique	—	0,2	—	0,2	0,4	1,1
butyrique	7,1	8,1	19,3	22,1	25,2	12,7
isovalérique	0,8	1,8	0,2	0,3	0,6	1,3
valérique	1,2	0,6	3,2	6,5	7,3	5,4
— Total (mmoles/l) ..	15,9 (5,4)	13,5 (5,7)	106,0 (17,7)	88,8 (21,4)	171,3 (41,8)	142,3 (34,3)
Acide lactique (mmole/l)	35,5 (9,0)	39,1 (14,1)	39,9 (3,4)	35,2 (15,1)	12,1 (2,7)	11,6 (5,6)
Ammoniacque (mmoles/l)	7,2 (5,2)	8,7 (2,6)	8,4 (3,4)	9,5 (2,5)	23,5 (3,3)	27,5 (3,7)
Moyenne générale						
Moyenne générale						
Moyenne générale						

(1) Résultats regroupés au-dessus de 2 mois d'âge. (2) Acides gras volatils.

Discussion.

Digestion de l'amidon.

Importance et lieu de la digestion.

Comme l'amidon de blé (Thivend, 1978), l'amidon de féverole, incorporé à raison de 15 p. 100 de la matière sèche de l'aliment d'allaitement, est entièrement digéré par le veau préruminant. La part de l'amidon digérée dans l'intestin grêle (de 42 à 72 p. 100) est proche de celle mesurée pour l'amidon de maïs cru par Coombe et Smith (1974) et supérieure à celle de l'amidon de manioc, de patate douce et de banane qui sont moins digestibles (Assan, 1974 ; Assan et Thivend, 1976). La digestion de l'amidon de féverole est donc analogue à celle des amidons de céréales (maïs, blé) ; la susceptibilité de ces différents amidons à l' α -amylolyse bactérienne *in vitro* est d'ailleurs très voisine (Colonna, Gallant et Mercier, 1981).

Très peu d'auteurs (Assan, 1974, chez le veau et Mayes et Ørskov, 1974, chez l'agneau préruminant) ont étudié l'état de l'amidon dans le contenu intestinal. La part des dextrines solubles est, selon ces auteurs, toujours plus importante que celle que nous avons observée. Si l'on considère que l'hydrolyse de l'amidon est semblable chez le veau et chez l'agneau, ces différences peuvent s'expliquer, non seulement par la qualité et la quantité d'amidon arrivant dans l'intestin grêle mais aussi par la méthodologie employée pour la détermination des glucides : dosage global des sucres de l'extrait alcoolique par Assan (1974) ; détermination du glucose, très vraisemblablement par excès, par Mayes et Ørskov (1974) sur des échantillons dont les enzymes glycolytiques n'ont pas été dénaturés au préalable.

Produits intermédiaires et mécanismes.

Il est maintenant bien établi que le veau possède des amylases pancréatique et intestinale ainsi qu'une maltase qui lui permettent de dégrader l'amidon dans l'intestin grêle (Thivend, 1979). Nos résultats ne nous permettent pas de confirmer ou d'infirmer la présence d'oligo (1 \rightarrow 6) glucosidases mais l'absence d'isomaltose dans le contenu d'iléon appuie les résultats de Coombe et Siddons (1973) qui ont mis en évidence une isomaltase pouvant cependant être d'origine microbienne.

— A la fin de l'iléon, la faible part d'amidon solubilisé (8 à 15 p. 100) montre d'une part que les α -amylases du veau sont moins actives que celles ayant d'autres origines (Myrbäck, 1948) et d'autre part que, dans nos conditions expérimentales, leur action est en équilibre avec celle des dissaccharidases (maltase et isomaltase). Il n'en est certainement pas de même chez l'animal jeune dont l' α -amylase est beaucoup moins active (Ternouth, Siddons et Toothill, 1971) et lorsqu'on offre des quantités importantes d'amidon très facilement hydrolysable ou préhydrolysé (Mayes et Ørskov, 1974). Dans ce dernier cas, la teneur en dextrines hydrosolubles s'accroît compte tenu, 1) de la saturation probable des dissaccharidases qui ont une activité peu développée (Coombe et Smith, 1974) ; 2) de l'absence d'oligo (1 \rightarrow 6) glucosidases et enfin 3) de l'accélération du débit iléal observé avec ce type de produit (Thivend *et al.*, 1979). Le rôle respectif des différents enzymes glycolytiques dans la digestion de l'amidon chez le veau préruminant dépend donc de l'âge de l'animal, de la nature et de la quantité d'amidon ingéré.

— Dans le gros intestin, l' α -amylase bactérienne serait responsable, ainsi que l'ont observé John et Dellweg (1973) avec *Bacillus subtilis*, de l'obtention plus régulière et en plus grande proportion d'oligosides plus longs (dans notre cas jusqu'à \overline{DP} 9) que dans l'intestin grêle (fig. 1 et 2). Les dextrines de \overline{DP} 16-20 apparaissent d'une part dans la mesure où, au fur et à mesure de la digestion, il y a davantage de chances d'obtenir, par coupure au hasard, de telles chaînes et d'autre part comme résidus de l'attaque des polyosides. Le phénomène de lyse progressive explique aussi la diminution du \overline{DP} des polyosides de la fraction en exclusion ($\overline{DP} > 22$) ; son importance croissante par rapport aux oligosides ($\overline{DP} < 4$) (tabl. 3) s'expliquerait par l'action des α -amylases bactériennes plus actives et dont le degré d'attaque multiple serait plus faible que celui des amylases du porc (Robyt et French, 1967), et sans doute du veau. En outre, une dégradation microbienne plus rapide des oligosides contribue probablement à ce phénomène.

Influence du traitement et de l'âge.

— L'infranisation et le floconnage en modifiant l'état physico-chimique de l'amidon ont amélioré d'environ 7 points la part de sa digestion dans l'intestin grêle en favorisant son accessibilité aux amylases digestives. Ce mécanisme a de même été observé *in vitro* avec des amidons infranisés (Colonna, Melcion et Mercier, 1976) et floconnés (Mercier, 1971). Corrélativement, ces traitements ont diminué l'importance de la digestion microbienne dans le gros intestin, ce qui peut vraisemblablement expliquer l'amélioration de la digestibilité apparente de l'azote, observée dans cette étude avec la féverole infranisée, et confirmée, pour les deux types de traitement technologique avec les mêmes aliments, par Toullec *et al.* (1980). Signalons à ce sujet que la digestibilité apparente de l'azote et de l'amidon, déterminée au cours de cet essai, est différente de celle obtenue avec des animaux non fistulés (Toullec *et al.*, 1980) parce que le niveau d'alimentation de nos animaux était inférieur de 10 à 17 g/kg $P^{0.75}$ au leur, et que les conditions expérimentales (canules et prélèvements) ont pu ralentir le transit dans le gros intestin (Peyraud, 1981). Ce ralentissement a sans doute favorisé le développement des fermentations microbiennes.

— L'augmentation significative de la digestibilité de l'amidon dans l'intestin grêle, jusqu'à 2 mois d'âge, confirme les résultats d'Assan (1974). Nous n'avons pas observé d'évolution ultérieure, de même que Coombe et Smith (1974) (jusqu'à 4 mois). Cette augmentation chez le jeune animal traduit une évolution de l'équipement glycolytique du jeune préruminant qui existe également chez l'agneau (Peyraud, 1981). Elle est due à l'augmentation de la concentration en amylase du suc pancréatique (Mc Cormick et Stewart, 1967 ; Ternouth, Siddons et Toothill, 1971) et de celle de la maltase (Toofanian, Kidder et Hill, 1974). Dans le gros intestin, l'augmentation de la part des dextrines hydrosolubles de $\overline{DP} > 4$ après 2 mois est probablement due à une modification de l'activité microbienne.

Utilisation des α -galactosides et du saccharose.

La disparition de ces glucides est importante (43 à 63 p. 100) dans l'intestin grêle. Une faible partie (environ 2 p. 100) est excrétée directement dans l'urine (Besle, Desrut et Thivend, 1981). Le reste est probablement dégradé par la microflore, le saccharose

l'étant plus rapidement que les α -galactosides. Le mécanisme de cette dégradation est encore à élucider puisque les proportions d' α -galactosides dans l'iléon sont encore très proches de celles de l'aliment.

Dans le gros intestin, l'augmentation de la proportion de stachyose et de raffinose laisse penser que la microflore possède une α -galactosidase qui dégraderait chaque composé en son homologue inférieur. L'absence de mélibiose montre qu'il n'y a pas de D fructosidase. Ainsi que nous l'avons observé pour le soja (Besle et Thivend, 1980) la microflore dégrade plus rapidement le saccharose que les α -galactosides.

Produits terminaux de la digestion.

A la fin de l'iléon, l'activité fermentaire est plus élevée et qualitativement différente (moins d'acide acétique et davantage d'acide propionique), par comparaison avec celle observée par Assan (1974) chez des veaux recevant un aliment d'allaitement renfermant 17 p. 100 d'amidon. Le pH plus acide (6,5) est proche de celui observé par Chongo Garcia (1976) avec des laits contenant de la mélasse et par Besle et Thivend (1980) avec un aliment d'allaitement riche en tourteau de soja. Il est vraisemblable que les α -galactosides et surtout le saccharose sont responsables d'une activité fermentaire plus importante dans l'intestin grêle que celle obtenue avec l'amidon seul.

Dans le côlon, l'activité microbienne est proche de celle qui a été décrite chez des veaux préruminants ingérant de la mélasse (Chongo Garcia, 1976) ou des amidons dont une partie est dégradée dans le gros intestin (Assan, 1974). La légère diminution de l'activité fermentaire avec l'âge provient sans doute de l'amélioration de la digestibilité dans l'intestin grêle. Ces résultats confirment le rôle du gros intestin du veau préruminant dans la digestion des glucides autres que le lactose, susceptibles d'être incorporés dans les aliments d'allaitement.

Conclusion.

Nous avons précisé le lieu, l'importance et les mécanismes de la dégradation des glucides de la féverole chez le veau préruminant. L'amidon est presque entièrement digéré par l'animal. Malgré l'action lente des enzymes glycolytiques, son utilisation dans l'intestin grêle devient prépondérante après deux mois d'âge. Une amélioration dans cette partie du tube digestif nécessiterait une action à plusieurs niveaux des mécanismes d'hydrolyse, car il est probable que tous les enzymes puissent être limitants suivant l'âge de l'animal, le niveau alimentaire et la dégradabilité du substrat. La faible utilisation de l'azote aurait essentiellement pour cause l'action de facteurs antigéniques inflammatoires présents dans la féverole, comme dans le soja (Kilshaw et Sissons, 1979a et b). Les traitements (infranisation et floconnage) améliorent légèrement la digestibilité de l'amidon, principalement en favorisant son hydrolyse dans l'intestin grêle. Toutefois la faible amélioration obtenue ne justifie leur mise en œuvre que pour éliminer les facteurs antinutritionnels. Enfin le saccharose et les α -galactosides sont bien utilisés et ne semblent pas provoquer de troubles chez l'animal.

Reçu en octobre 1980.

Accepté en mars 1981.

Remerciements. — A la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique pour l'aide financière apportée à la réalisation de cette étude (contrat n° 74-7-1051). A Marie-Thérèse Beaufort, Renée Demanèche, Michel Fabre, Marie-Paule Girard, Paulette Journaix, Jacques Lefavre, Alain Vizet pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

ANNEXE

Dosage automatique des sucres réducteurs

Principe. La méthode de Hoffman (1937) au ferricyanure de potassium, automatisée et rendue plus sensible par l'adjonction de KCN par Durieux, Brouhon et Heusghem (1960) a été adaptée et employée par Robyt, Ackerman et Keng (1972) pour le dosage des dextrines. Nous l'avons modifiée pour en décupler la sensibilité avec un appareillage identique. Avec le montage, décrit figure 5, la réponse est linéaire de 2 à 15 $\mu\text{g/ml}$ de glucose, pour une cuve Technicon de 15 mm. Dans ces conditions, la DO, non amplifiée, d'une solution de 1 $\mu\text{g/ml}$ de glucose est de 0,040 ; nous avons utilisé un enregistreur qui permettait d'amplifier jusqu'à 8 fois ce signal.

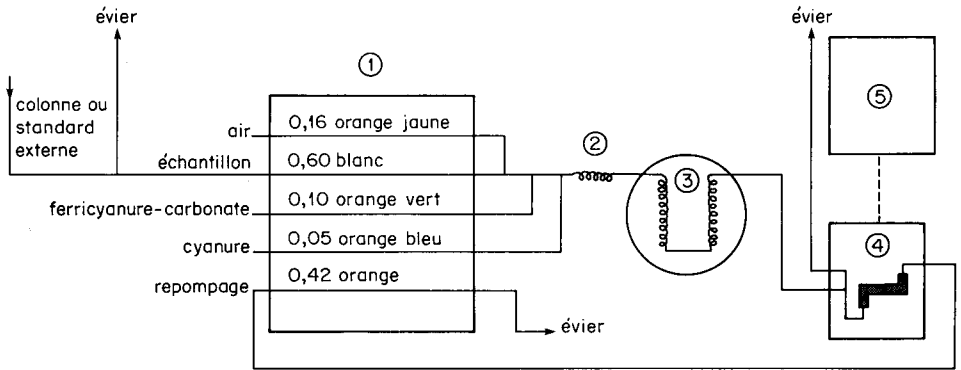


FIG. 5. — Circuit de dosage en continu des sucres réducteurs.

- (1) Pompe péristaltique, débit (ml/min) et couleur des tubes. (2) Petite bobine de mélange. (3) Bain-marie 93,5°C, avec 2 grandes bobines de mélange, délai = 7 min. (4) Colorimètre, cellule 15 mm, filtre 420 nm. (5) Enregistreur.

Réactifs.

—	{ Ferricyanure de potassium p.a. (1)	1,7 g
	{ Carbonate de sodium anhydre p.a. (1)	60 g
	{ Eau distillée q.s.p.	1 000 ml
—	Cyanure de potassium p.a. (1)	1 p. 100

Dans le cas où l'échantillon ne contient pas de Brij 35 (2) saturé, il convient d'en rajouter dans le réactif au ferricyanure à raison de 3 ml/l. Les réactifs doivent être conservés à 4°C et filtrés chaque jour avant l'emploi.

Pour des dosages en série on peut adopter la cadence suivante : prélèvement 30 sec, rinçage 30 sec.

(1) Sté Prolabo, 12, rue Pelée, 75011 Paris.

(2) Ets Touzart & Matignon, 8, rue Eugène-Henaff, 94400 Vitry sur Seine.

Références

- ASSAN B. E., 1974. *Contribution à l'étude de la digestion intestinale de l'amidon chez le veau préruminant*. Th. Dr Ing. N° I-64, Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand.
- ASSAN B. E., THIVEND P., 1976. Intestinal digestion of tropical starches by the preruminant calf. *Proc. Nutr. Soc.*, **35**, 104A-105A.
- AUMAITRE A., 1980. Communication personnelle.
- BARKER S. B., SUMMERSON W. H., 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. biol. Chem.*, **138**, 535-554.
- BESLE J. M., 1974. Séparation des oses, des di- et triholosides par chromatographie d'échanges d'ions. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **14**, 545-573.
- BESLE J. M., DESRUT M., THIVEND P., 1981. Excrétion urinaire des glucides neutres et des glycoprotéines chez le veau préruminant recevant de la féverole. *Reprod. Nutr. Dévelop.* (à paraître).
- BESLE J. M., LASSALAS B., THIVEND P., 1980. Digestion des glucides de la levure d'alcanes par le veau préruminant. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, **20**, 1401-1414.
- BESLE J. M., POUGHEON M., BAYLE E., THIVEND P., 1981. Etude des glucides intestinaux et des glycoprotéines d'origine endogène chez le veau préruminant. *Reprod. Nutr. Dévelop.* (à paraître).
- BESLE J. M., THIVEND P., 1980. Etude préliminaire de la digestion intestinale des glucides du soja par le veau préruminant. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, **20**, 1849-1854.
- BOLIN D. W., KING R. P., KLOSTERMAN E. W., 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide Cr₂O₃ when used as an index substance. *Science*, **116**, 634-635.
- CERNING J., SAPOSNIK A., GUILBOT A., 1975. Carbohydrate composition of horse beans *Vicia Faba* of different origins. *Cereal Chem.*, **52**, 125-138.
- CERNING-BEROARD J., FILIATRE A., 1976. A comparison of the carbohydrate composition of legume seeds : horsebeans, peas, and lupines. *Cereal Chem.*, **53**, 968-978.
- CERNING-BEROARD J., 1977. Effect of technological processing on the carbohydrate composition of horse beans and on the susceptibility of starch to α -amylase, 125-135. In *Protein quality from leguminous crops*. EUR 5686 EN, Publ. C. E. C.
- CHONGO GARCIA B. M., 1976. *Etude de la digestion intestinale de la mélasse de canne à sucre chez le veau préruminant*. Th. Dr Ing. n° D.U. 52 Univ. Clermont II.
- COLONNA P., GALLANT D., MERCIER C., 1981. *Pisum sativum* et *Vicia faba* carbohydrates. Part. I. — Studies of fractions obtained after dry and wet protein extraction processes. *J. Food Sci.* (sous presse).
- COLONNA P., MELCION J. P., MERCIER C., 1976. Influence de l'irradiation infrarouge et de l'applatissage sur la fragmentation, la composition du maïs grain et sur l'état de son amidon. *Ann. Technol. agric.*, **25**, 291-307.
- COOMBE N. B., SIDDON R. C., 1973. Carbohydrases of the bovine small intestine. *Br. J. Nutr.*, **30**, 269-276.
- COOMBE N. B., SMITH R. H., 1974. Digestion and absorption of starch, maltose and lactose by the preruminant calf. *Br. J. Nutr.*, **31**, 227-235.
- DETERMAN H., MICHEL W., 1966. The correlation between molecular weight and elution behaviour in the gel chromatography of proteins. *J. Chromatog.*, **25**, 303-312.
- DURIEUX M., BROUHON N., HEUSGHEM C., 1960. La détermination de la glycémie et de l'urémie par méthode automatique. *Ann. Biol. clin.*, **18**, 331-340.
- DUTHIE I. F., EDWARDS D. G., ROGERS B., ANDREWS R. J., WRIGHT J. A., 1974. Preliminary studies on the suitability of field bean (*Vicia faba* L.) protein isolate for lambs and calves. *Proc. Nutr. Soc.*, **33**, 40A-41A.
- FOLCH J., LEES M., SLOANE STANLEY G. H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. biol. Chem.*, **226**, 497-509.
- GUILLOTEAU P., TOULLEC R., CULIOLI J., LE DOUARON D., 1977. Utilisation des protéines par le veau préruminant à l'engrais. 5. — Utilisation digestive des protéines du poisson, du soja et de la féverole. *Ann. Zootech.*, **26**, 15-28.
- GUILLOTEAU P., TOULLEC R., SAUVANT D., PARUELLE J. L., 1979. Utilisation des protéines par le veau préruminant à l'engrais. 7. — Influence du remplacement des protéines du lait par celles du soja et de la féverole sur la vidange gastrique. *Ann. Zootech.*, **28**, 1-17

- HELLENDOORN E. W., 1969. Intestinal effects following ingestion of beans. *Fd Technol.*, **23**, 87-92.
- HOFFMAN W. S., 1937. A rapid photoelectric method for the determination of glucose in blood and urine. *J. biol. Chem.*, **120**, 51-55.
- JOHN M., DELLWEG H., 1973. Gel chromatographic separation of oligosaccharides. *Sep. Purif. Methods*, **2**, 231-257.
- JOUANY J. P., 1978. Contribution à l'étude des protozoaires ciliés du rumen : leur dynamique, leur rôle dans la digestion et leur intérêt pour le ruminant. Th. Dr Etat n° 256. Univ. Clermont II.
- KILSHAW P. J., SISSONS J. W., 1979a. Gastrointestinal allergy to soybean protein in preruminant calves. Antibody production and digestive disturbances in calves fed heated soya bean flour. *Res. vet. Sci.*, **27**, 361-365.
- KILSHAW P. J., SISSONS J. W., 1979b. Gastrointestinal allergy to soybean protein in preruminant calves. Allergenic constituents of soybean products. *Res. vet. Sci.*, **27**, 366-371.
- Mc CORMICK R. J., STEWART W. E., 1967. Pancreatic secretion in the bovine calf. *J. Dairy Sci.*, **50**, 568-571.
- MALAWER S. J., DON POWELL W., 1967. An improved turbidimetric analysis of polyethylene glycol utilizing an emulsifier. *Gastroenterology*, **53**, 250-256.
- MARTIN-TANGUY J., GUILLAUME J., KOSSA A., 1977. Condensed tannins in horse bean seeds ; chemical structure and effects on the food value of the horse bean in growing poultry, 162-182. In *Protein quality from leguminous crops*, EUR 5686 EN, Publ. C.E.C.
- MATHIESON J., 1970. The automated estimation of chromic oxide. *Proc. Nutr. Soc.*, **29**, 30A-31A.
- MATHIEU C. M., THIVEND P., BARRE P. E., 1970. Digestion et utilisation des aliments par le veau préruminant à l'engrais. V. — Remplacement des matières grasses du lait par des dextrines. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 253-269.
- MAYES R. W., ØRSKOV E. R., 1974. The utilization of gelled maize starch in the small intestine of sheep. *Br. J. Nutr.*, **32**, 143-153.
- MELCION J. P., VALDEBOUZE P., 1977. Quality problems in « Protein plants » with attention paid to the proteins of legumes, 116-124. In *Protein quality from leguminous crops*, EUR 5686 EN, Publ. C.E.C.
- MICHEL M. C., 1971. Analyse quantitative de quelques substances azotées et glucidiques en milieu biologique. Essai de rationalisation. Th. Dr. Univ. n° 43, Fac. Sci. Clermont-Ferrand.
- MERCIER Ch., 1971. Effects of various US grain processes on the alteration and the *in vitro* digestibility of starch granule. *Feedstuffs*, **43**, 33-36.
- MYRBÄCK K., 1948. Products of the enzyme degradation of starch and glycogen, vol. 3, 251-310. In PIGMAN K., WOLFROM M. L., *Advances in carbohydrate chemistry*, Acad. Press, New York.
- PATUREAU-MIRAND P., TOULLEC R., GUILLOTEAU P., PION R., 1977. Influence de la nature des protéines alimentaires sur la composition en acides aminés des fèces du veau préruminant. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **17**, 71-83.
- PEYRAUD J. L., 1981. Communication personnelle.
- PRIDHAM J. B., 1958. Occurrence and metabolism of oligosaccharides in the broad bean (*Vicia faba*). *Nature*, **182**, 1687-1688.
- ROBYT J. F., ACKERMAN R. J., KENG J. G., 1972. Reducing value methods for maltodextrins. II. — Automated methods and chain length independence of alkaline ferricyanide. *Anal. Biochem.*, **45**, 517-524.
- ROBYT J. F., FRENCH D., 1967. Multiple attack hypothesis of α -amylase action : action of porcine pancreatic, human salivary and *Aspergillus Oryzae* α -amylases. *Arch. Biochem. Biophys.*, **122**, 8-16.
- SISSONS J. W., SMITH R. H., 1975. Field-bean (*Vicia faba* L.) protein in feeds preruminant calves. *Proc. Nutr. Soc.*, **34**, 102A-103A.
- TERNOUTH J. H., SIDONS R. C., TOOTHILL J., 1971. Pancreatic secretion in the milk fed calf. *Proc. Nutr. Soc.*, **30**, 89A-90A.
- THIVEND P., 1978. L'amidon de blé. I. — Production, composition et utilisation dans les aliments d'allaitement. *Ind. alim. anim.*, **315**, 29-34.
- THIVEND P., 1979. La digestion des glucides chez le veau non sevré. *Ann. Nutr. Alim.*, **33**, 233-245.
- THIVEND P., CLARK C. S., ØRSKOV E. R., KAY R. N. B., 1979. Digestion of partially hydrolysed starch in milk replacers by the young lamb. *Ann. Rech. vet.*, **10**, 422-424.

- THIVEND P., MERCIER C., GUILBOT A., 1972. Determination of starch with glucoamylase, **VI**, 100-106. In WHISLER R. L., WOLFROM M. C., *Methods of carbohydrate chemistry*, Acad. Press.
- TOOFANIAN F., KIDDER D. E., HILL F. W. G., 1974. The postnatal development of intestinal disaccharidases in the calf. *Res. vet. Sci.*, **16**, 382-392.
- TOULLEC R., COROLLER J. Y., PATUREAU-MIRAND P., MELCION J. P., PRUGNAUD J., VALDEBOUZE P., DELORT-LAVAL J., CERNING-BEROARD J., 1980. Influence des traitements technologiques sur l'utilisation des protéines de la féverole par le veau préruminant. *Ann. Zootech.*, **29**, 339-361.
- VALDEBOUZE P., 1977. Trypsin inhibiting and hemagglutinating activities in seeds of some legumes species, 87-98. In *Protein quality from leguminous crops*, EUR 5686 EN, Publ. C.E.C.
- VALDEBOUZE P., BERGERON E., GABORIT T., DELORT-LAVAL J., 1980. Content and distribution of trypsin inhibitors and hemagglutinins in some legume seeds. *Can. J. Plant Sci.*, **60**, 695-701.
- Van HELLEMOND K. K., Van WEERDEN E. J., 1973. Milk proteins substitutes in rations of veal calves. *Proc. Nutr. Soc.*, **32**, 231-235.
- WEATHERBURN M. W., 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal. Chem.*, **39**, 971-974.
- WITTENBERG K. M., INGALLS J. R., 1979. Utilization of faba bean protein concentrate in milk substitute diets by preruminant calves. *J. Dairy Sci.*, **62**, 1626-1631.
-