

A7511

## FLOCONNAGE ET EXPANSION DE L'ORGE ET DU MAIS

## I - ETUDE TECHNOLOGIQUE

## II - DIGESTION DU MAIS FLOCONNÉ CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

L.P. BORGIDA \*

*Laboratoire de Technologie des Aliments des Animaux  
I.N.R.A. - 78350 Jouy-en-Josas*

## INTRODUCTION

La fabrication des régimes du porc comporte des opérations simples de préparation des céréales comme le broyage, le concassage ou l'aplatissage. Des techniques nouvelles - expansion ou floconnage - pourraient présenter de l'intérêt car elles sont capables d'influer sur les performances du porc et son état de santé (revue de LAWRENCE, 1972).

En effet, il est connu depuis longtemps que les traitements hydrothermiques modifient la structure de l'amidon et le rendent plus accessible aux amylases et donc plus digestible (YOSHIDA et MORIMOTO, 1955, BOOHER et al., 1951, HARPER et ELVEHJEM, 1957) ; il se pourrait que cet effet sur la digestion se répercute sur la croissance. C'est pourquoi, dans le cadre d'une recherche organisée par l'I.N.R.A. sur différentes espèces animales, l'utilisation du maïs et de l'orge expansés ou floconnés a été étudiée par AUMAITRE sur le porcelet et par nous-mêmes sur le porc en croissance.

Les principales étapes de ces deux traitements et le résultat de leur action sur leur composition biochimique seront décrits avant l'exposé de nos propres résultats sur le transit et l'utilisation digestive et métabolique du maïs floconné.

## I - ETUDE TECHNOLOGIQUE

## 1/ Traitements appliqués

Le procédé de floconnage a été appliqué au maïs et à l'orge en tenant compte de la taille des grains et de la chaleur massique de ces céréales. Les opérations sont décrites au tableau 1 dans l'ordre de leur mise en œuvre ; prétraitement éventuel du grain par concassage, conditionnement d'une charge de céréale qui est d'abord chauffée et humidifiée par de la vapeur à 130°C pendant un temps suffisant puis aplatie entre des rouleaux lisses chauffés à 100°C environ et enfin broyée dans les mêmes conditions que la céréale témoin.

Après ce conditionnement, l'humidité s'élève à 18 % avec le maïs, 15 % avec l'orge ; la mouture finale, après le séchage sur rouleaux, dose 13 % d'humidité.

TABLEAU 1

CARACTERISTIQUES DU TRAITEMENT DE FLOCONNAGE

	PRETRAITEMENT DU GRAIN	CONDITIONNEMENT A LA VAPEUR (130°C) (mn)	APPLATISSEMENT (Temps rouleaux)	BROYAGE (Ø grille)
Mais	concassé	55	100°C	3 mm
Orge	—	45	100°C	3 mm

\* Avec la collaboration technique de Monique DIEZ, Françoise DUDOT et S. GUENEAU.

Le procédé d'expansion consiste en un passage rapide de grains entiers dans un courant d'air surchauffé, sans effet de pression mécanique. La succession des opérations est donnée au tableau 2. Il conduit à des grains éclatés, dans des proportions différentes suivant la taille des grains chauffés ; la perte d'eau est de 5 à 6 points au moment du traitement. Après refroidissement le produit est broyé dans les mêmes conditions que le témoin.

TABLEAU 2  
CARACTERISTIQUES DU TRAITEMENT D'EXPANSION

	TEMPERATURE DE L'AIR (°C)	DUREE (s)	GRAINS ECLATES (%)	REFROIDISSEMENT	BROYAGE (Ø grille)
Mais	280	50 - 60	10 - 20	Air ambiant	3 mm
Orge	280	50 - 60	30 - 40	Air ambiant	3 mm

## 2/ Caractérisation des produits

L'analyse fourragère ne met en évidence que peu de différence de composition des céréales traitées.

L'analyse de la fraction glucidique des céréales montre que la structure de l'amidon est modifiée par l'expansion mais plus encore par le floconnage et qu'il apparaît des glucides solubles à longue chaîne (5 % et 1,4 %) pour le floconnage respectivement du maïs et de l'orge, principalement à la suite de la dégradation d'une partie des grains d'amidon.

La digestion pepsique *in-vitro* du maïs floconné et sa composition en acides aminés ne diffèrent pas sensiblement de celles du témoin. Le fractionnement protéique (BAUDET et al. 1965) conduit à des valeurs élevées en azoté insoluble et à des taux faibles en prolamines (17,6 et 15,7 % Nt) et en albumines + globulines (9,4 et 7,0 % Nt) respectivement pour le témoin et le floconné.

## II – DIGESTION DU MAÏS FLOCONNÉ CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

Chez le porc en croissance (30 - 60 kg), des mesures antérieures de la digestibilité des constituants du maïs floconné et de son efficacité alimentaire se dégagent des résultats contradictoires :

- favorables sur la digestibilité (WOODMAN, 1925 ; WOODMAN et EVANS, 1932)
- défavorables sur l'azote retenu (LAWRENCE, 1968)
- peu favorables ou indifférents sur la croissance et l'indice de consommation (SHEEHY et SENIOR, 1939; BURNETT et NEILL, 1964).

Les conditions du traitement, lorsqu'elles sont connues, varient fortement suivant les auteurs ; elles ont certainement une influence importante sur l'efficacité alimentaire en raison d'une part de leur effet favorable sur la disponibilité de l'énergie fournie par les glucides et d'autre part sur celle des acides aminés, que pourrait altérer l'apparition de réactions de Maillard, comme l'ont montré GODON et PETIT, (1971) sur le maïs seulement séché.

Nous avons tenté de dissocier, par des bilans azotés, les parts respectives de l'utilisation digestive et métabolique du maïs floconné, puis avons examiné *in-vivo* les modalités de sa digestion comparée à celle de la céréale non traitée.

### 1/ Matériel et méthodes

#### a) Bilan :

Huit porcs Large White mâles castrés provenant de deux portées sont affectés à 4 régimes expérimentaux désignés par le niveau azoté H (15 % de protéine brute) ou B (11 % de protéine brute) ainsi que par le traitement du maïs broyé, T (témoin) ou F (floconné).

Les aliments sont distribués à raison de 4 % du poids vif sur la base de la matière sèche. Le réajustement du poids des rations est hebdomadaire et l'aliment présenté en pâtée (2,5 l d'eau/kg de matière sèche). Pour la formulation des aliments (tableau 3), il n'a pas été tenu compte des légères différences analytiques entre les maïs témoin et floconné. L'analyse moyenne de ces aliments est donné au tableau 4.

L'essai se déroule sur deux périodes de collecte de 8 jours avec permutation des animaux et des régimes.

**TABLEAU 3**  
COMPOSITION DES ALIMENTS (p. cent)

	BT et BF	HT et HF
Farine de poisson (Pérou) . . . . .	6,0	12,0
Maïs . . . . .	87,0	81,0
Cellulose . . . . .	3,0	3,0
C. Minéral . . . . .	3,0	3,0
C. Vitaminique . . . . .	0,88	1,0
L. Lysine . . . . .	0,12	—

**TABLEAU 4**  
CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DES REGIMES (p. cent)

	BT	BF	HT	HF
Matière sèche . . . . .	88,5	88,1	88,9	88,5
Matières azotées . . . . .	12,0	11,9	15,3	15,6
Matières grasses . . . . .	1,8	1,9	2,4	2,2
Cellulose Weende . . . . .	3,7	3,9	4,2	3,9
Cendres brutes . . . . .	4,7	4,6	5,4	5,2
Acides aminés soufrés . . . . .	0,49	0,49	0,65	0,60
L. Lysine . . . . .	0,73	0,71	0,85	0,83

#### *b) Abattage :*

L'étude de la digestion des céréales est effectuée par abattage soit 1 heure soit 3 heures après la fin du repas de 20 animaux ayant reçu un aliment test BT ou BF contenant des marqueurs de la phase liquide (polyéthylène glycol) et de la phase solide (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adsorbé sur cellulose). Les contenus, immédiatement congelés à l'azote liquide, sont lyophilisés avant analyse des fractions glucidiques et azotées et des traceurs.

## 2/ Résultats

Les données d'utilisation digestive apparente ainsi que du bilan azoté sont indiquées au tableau 5.

On note l'effet très significatif du floconnage sur la digestibilité de tous les éléments de la ration mais surtout de celle des matières azotées ; l'utilisation métabolique de l'azote n'est pas modifiée par ce traitement. Cependant on pourrait expliquer l'interaction significative entre niveau azoté et traitement par une meilleure utilisation de l'énergie digérée pour la rétention azotée. Le rapport m.a.d./m.o.d. du régime BF, plus élevé que celui du régime BT, devrait en effet normalement conduire à un coefficient de rétention azotée plus faible. L'autre possibilité d'explication, à savoir une plus grande disponibilité des acides aminés après floconnage, est exclue au vu des valeurs de rétention azotée des régimes à taux élevé d'azote (HT et HF). Au total l'utilisation pratique de l'azote est peu améliorée au niveau azoté élevé (+ 1,6 point); au contraire, au bas niveau azoté, elle est nettement

**TABLEAU 5**  
**UTILISATION DIGESTIVE APPARENTE DES ELEMENTS DU REGIME (n = 8)**  
**ET BILAN AZOTE (n = 4)**

	REGIMES				SIGNIFICATION <sup>b</sup>		
	BT	BF	HT	HF	T	N	TN
<b>UTILISATION DIGESTIVE (p. 100)</b>							
Composés ternaires <sup>a</sup> .....	92,4	93,9	91,2	93,0	**	**	—
Matière organique .....	85,1	88,5	83,4	87,9	**	*	—
Cellulose (Weende) .....	33,4	38,6	35,5	39,7	—	—	—
<b>BILAN AZOTE</b>							
C U D (p. 100) .....	74,2	86,2	77,3	84,5	**	—	*
C U P (p. 100) .....	39,1	50,1	44,5	46,1	**	—	*
C R (p. 100) .....	53,0	58,1	57,4	54,7	—	—	*
N bilan (g/j) .....	13,1	15,8	16,7	16,8	—	—	—
N bilan (g/kg P. 0,75) .....	0,83	1,02	1,11	1,10	—	—	—

a : Matière grasse + extractif non azoté

b : Effet statistique (analyse de variance)

\* :  $P < 0,05$

\*\* :  $P < 0,01$

T : du traitement

N : du niveau azoté

TN : de l'interaction

plus élevée, ce que traduit la faible différence, en valeur absolue, des rétentions observées avec les régimes BF et HT (1,02 et 1,10 g/j/kg P 0,75 respectivement).

L'ingestion du maïs floconné modifie fortement le transit digestif (tableau 6) : par rapport à celle du témoin, la vidange stomacale est beaucoup plus lente pour la phase soluble et plus rapide pour la phase solide.

**TABLEAU 6**  
**TRACEURS PRESENTS DANS LES CONTENUS DIGESTIFS**  
 (p. cent du total retrouvé) n = 5

**A) OXYDE DE CHROME**

MAIS	HEURE APRES REPAS	ESTOMAC	INTESTIN GRELE			COECUM
			1er Tiers	2ème Tiers	3ème Tiers	
BROYE	1	80,0	4,5	15,2	0,3	0
	3	64,4	4,8	9,2	18,9	2,7
FLOCONNÉ	1	78,5	5,7	10,1	5,7	0
	3	48,7	4,0	14,0	30,0	3,3

**B) POLYETHYLENE GLYCOL**

BROYE	1	33,3	10,6	54,7	1,4	0
	3	23,6	3,6	10,6	50,3	11,9
FLOCONNÉ	1	92,0	1,8	3,4	2,7	0,1
	3	71,9	4,0	6,2	16,1	1,8

Par ailleurs, on remarque que, dans les 3 premières heures de la digestion, le pH stomacal est abaissé plus rapidement et plus tardivement avec le maïs floconné. Son amidon subit une dégradation très rapide dans l'intestin grêle, où apparaissent des concentrations de glucides solubles 10 à 30 fois supérieures à celles observées avec le maïs broyé.

### III – DISCUSSION

Les effets du floconnage, très spectaculaires (+ 12 points) sur la digestibilité de l'azote d'un régime à faible taux azoté confirment ceux de WOODMAN 1925 (+ 18 points) et WOODMAN et EVANS 1932 (+ 15,4 points). Avec un régime équilibré à taux azoté suboptimal pour la croissance, le coefficient de rétention est diminué de 3,5 points alors que le rapport m.a.d./m.o.d. est accru du même pourcentage avec le maïs floconné.

Les régimes HT et BF conduisent à des rétentions qui ne diffèrent pas de plus de 0,09 g N ret. /j./ kg P<sub>0,75</sub> à niveau identique d'ingestion. Cet écart, bien inférieur à celui des taux azotés des régimes, n'est expliqué qu'en partie par l'amélioration de la digestibilité de l'azote et de l'énergie ; il faut donc penser à un effet du floconnage soit sur la disponibilité d'acides aminés des régimes soit sur l'efficacité de leur utilisation métabolique, due à une interaction favorable entre l'azote et l'énergie digérés.

En effet les traitements hydrothermiques d'amidon permettent une épargne de divers acides aminés (HARPER et al., 1952), notamment de lysine (YET-OY CHANG, 1962 et 1965) chez le rat ainsi qu'une diminution de l'excrétion d'azote endogène fécal et urinaire chez le porc (ZELTER et al., 1966). D'autres auteurs ont observé l'effet favorable des traitements hydrothermiques des céréales sur la rétention du glycogène plutôt que de graisse dans le foie du rat. Ces modifications métaboliques se répercutent sur la composition corporelle, comme le constate LAWRENCE (1968) : le floconnage du maïs réduit l'adiposité de la carcasse de porcs abattus à 90 kg.

L'observation des phénomènes de la digestion du maïs floconné : rétention importante de l'eau dans l'estomac et digestion très rapide de l'amidon dans l'intestin grêle, liées à une teneur en eau élevée et à des pH plus bas, nous fait penser que l'emploi rationnel de céréales traitées doit conduire à accorder le taux de céréale traitée à l'intensité de son traitement : pour chaque produit, il existe sans doute un taux optimal d'incorporation qui dépend des paramètres du traitement. L'étude de leur effet sur la physiologie digestive et l'efficacité alimentaire reste à faire. Dans le cas du floconnage, le trempage préalable, la durée et la température du conditionnement, le type de rouleau peuvent modifier les caractéristiques physico-chimiques du produit : leur incidence sur la digestion et l'efficacité alimentaire du maïs floconné restent à déterminer.

### REMERCIEMENTS

A Melle C. MERCIER (C.E.R.D.I.A. Massy) pour l'analyse de la fraction glucidique des céréales ; à M. G. VIROBEN (L.T.A.A. Jouy-en-Josas) pour l'étude du fractionnement et de la composition des protéines du maïs.

### BIBLIOGRAPHIE

- BAUDET J., MOSSE J., LANDRY J., MOUREAUX T., 1966. Ann. Physiol. Veg., 8 321.
- BOOHER L.E., BEHAN I., Mc MEANS., 1951. J. Nutr., 45 75.
- BURNETT G.S., NEILL E.L., 1964. Anim. Prod., 6 237.
- GODON B.N., PETIT L., 1971. Ann. Zoot., 20 641.
- HARPER A.E., ELVEHJEM C.A., 1957. J. agric. Food Chem., 5 754.
- HARPER A.E., KATAYAMA M.C., JELINEK B., 1952. Canad. J. Med. Sci., 30 578.
- LAWRENCE T.L.J., 1968, J. agric. Sci., 70 287
- LAWRENCE T.L.J., 1972. Vet. Rec., 91 108.
- SHEEHY E.J., SENIOR B.J., 1939. J. Dept. Agr. Eire, 36 230

- WOODMANN H.E., 1925. *J. agric. Sci.*, **15** 1.
- WOODMANN H.E., EVANS R.E., 1932. *J. agric. Sci.*, **22** 670.
- YET-OY CHANG, 1962. *J. Nutr.*, **78** 21.
- YET-OY CHANG, 1965. *J. Nutr.*, **85** 207.
- YOSHIDA M., MORIMOTO H., 1955. *J. Nutr.*, **57** 565.
- ZELTER S.Z., CHARLET-LERY G., DELORT-LAVAL J., 1966. *C. R. Acad. Agr. Fr.*, 567.