

ÉVALUATION DE DIVERS TRAITEMENTS TECHNOLOGIQUES DES CÉRÉALES

I. — CHOIX DES TRAITEMENTS ET ÉTUDE DE LEUR INFLUENCE
SUR LA FRACTION GLUCIDIQUE DU BLÉ, DE L'ORGE ET DU MAÏS

J. DELORT-LAVAL et Christiane MERCIER*

avec la collaboration technique de Josette RAULT et J.-P. MELCION

*Laboratoire de Technologie des Aliments des Animaux,
Centre national de Recherches zootechniques, I. N. R. A.,
78350 Jouy en Josas*

** Station de Biochimie et Physicochimie des Céréales,
C. E. R. D. I. A., I. N. R. A.,
91305 Massy*

RÉSUMÉ

A trois céréales — blé, orge, maïs — sont appliqués, de manière aussi homogène que possible, des traitements d'agglomération dans une presse à filière (\varnothing 4,5 mm) après conditionnement à la vapeur (60°C), d'expansion (50 sec à 280°C), de floconnage, après conditionnement à 130°C par la vapeur, et d'extrusion dans une presse d'un produit finement broyé (\varnothing 2 mm) et réhumidifié (25-28 p. 100 eau), dont la température à la sortie de la filière atteint 120°C.

La composition fourragère des céréales traitées n'est que faiblement modifiée : seule l'extrusion réduit la teneur en matières grasses du blé ou du maïs. La fraction glucidique soluble n'est en général que faiblement accrue par les traitements technologiques ; elle est cependant supérieure à 7 p. 100 pour les trois céréales floconnées.

Le test alpha-amylasique met en évidence la grande sensibilité de l'orge et du blé aux traitements hydrothermiques industriels, mais le maïs réagit de manière plus variable à ces actions : si l'extrusion accroît fortement la vitesse initiale d'amylolyse et la fraction d'amidon facilement attaquant, quelle que soit la céréale, et si le floconnage lui est, dans nos essais, légèrement inférieur pour ces deux critères, les traitements d'expansion ou de pression n'agissent que faiblement sur l'amidon du maïs.

Le choix d'un procédé doit tenir compte de son coût énergétique, que nous avons tenté d'estimer, et de son influence sur la composition des céréales (teneur en eau, état de la fraction glucidique) et sur leur efficacité biologique pour différentes espèces animales.

INTRODUCTION

Aux méthodes traditionnelles de préparation des céréales pour l'alimentation animale (broyage, concassage, aplatissage), sont venues dans un passé récent s'ajouter des techniques plus élaborées (floconnage, extrusion...), susceptibles d'influer

à la fois sur les performances de l'animal et sur son état de santé (LAWRENCE, 1972).

On a proposé de les classer en traitement « à froid » ou « à chaud », selon que la chaleur est un facteur essentiel du procédé ; le terme « hydrothermique » désignant les procédés dans lesquels interviennent à la fois l'eau et la chaleur (ARMSTRONG, 1972) ; mais, comme le souligne HALE (1973), il existe une interaction évidente entre les divers paramètres d'un traitement, qui comporte une série d'opérations mécaniques et thermiques successives ou simultanées, agissant à la fois sur les propriétés physiques et les caractéristiques biochimiques des céréales. Les procédés de traitement ont, de ce fait, le plus souvent fait l'objet d'études monographiques, sans que soient toujours suffisamment précisés les paramètres appliqués et leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques des produits. Il est par ailleurs fréquent qu'une chaîne industrielle ne puisse s'adapter que dans des limites étroites, rendant impossible la mise en évidence, faute d'un équipement adéquat, de l'effet de l'intensité du traitement sur la qualité du produit.

Tenant compte de ces limitations, il est toutefois possible de définir les principaux paramètres de divers traitements et d'en comparer les effets sur différentes céréales. C'est dans cet esprit que nous avons appliqué à trois céréales — blé, orge, maïs — plusieurs traitements — agglomération, floconnage, expansion, extrusion —, dont le coût énergétique a pu être évalué. Nous avons déterminé la composition des produits ainsi préparés, en particulier celle de la fraction glucidique ; dans d'autres expériences ont été étudiées, la structure microscopique (FARBER et GALLANT, 1976) et l'efficacité biologique des produits pour différentes espèces animales.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. - *Technologie des céréales*

Des lots homogènes de trois céréales du commerce — blé, orge, maïs — ont été soumis à des traitements d'agglomération, de floconnage, d'expansion ou d'extrusion dans les conditions ci-après :

A) *Agglomération.*

Le rendement de l'agglomération d'un aliment est généralement accru par un conditionnement préalable à la vapeur. Dans nos essais, après passage dans un broyeur à marteaux muni d'une grille à trous de 3 mm, la céréale, placée durant quelques secondes au contact de vapeur vive, voit sa température s'élever à 60°C et son humidité s'accroître de deux à trois points. Elle est immédiatement agglomérée dans une presse à filière verticale tournante, percée de trous cylindriques de 4,5 mm de diamètre. Il en résulte un échauffement du granulé (+ 15°C), ramené à la température ordinaire dans un courant d'air froid.

B) *Floconnage.*

Le grain entier (blé, orge) ou grossièrement concassé (maïs) est porté sous l'action de la vapeur, à une température de 130°C. La durée de ce conditionnement dépend de la nature du grain — 30 mn pour le blé, 45 pour l'orge, 55 pour le maïs — et élève son humidité finale respectivement à 15-15-18 p. 100 pour les trois céréales. Il est ensuite écrasé en flocons de faible épaisseur entre deux rouleaux chauffés à 100°C et son humidité ramenée à 13 p. 100 par aération.

C) *Expansion.*

L'expansion est un traitement à sec, qui comporte un passage de courte durée (50 à 60 sec) dans un courant d'air chaud porté à environ 280°C. Sous l'action de la chaleur, une fraction non négligeable des grains éclate et augmente considérablement de volume.

D) *Extrusion.*

Dans le procédé que nous avons appliqué et dont il existe de nombreuses variantes, le grain, préalablement broyé à travers une grille à trous de \varnothing 2 mm, est partiellement réhumidifié jusqu'à un taux de 25-28 p. 100 ; il est ensuite introduit dans une vis chauffée, où il est soumis, durant un temps court (20 sec), à des pressions instantanées très élevées, qui portent sa température à 120°C à la sortie de l'appareil. Sa décompression brutale entraîne fréquemment un accroissement net du volume apparent du produit ; l'humidité en excès est ensuite éliminée par passage dans un courant d'air chaud.

Après traitement, toutes les céréales sont réduites en farine dans un broyeur à marteaux muni d'une grille à trous de \varnothing 3 mm.

II. — *Méthodes d'analyses*A) *Composition analytique.*

La teneur en eau des produits est déterminée selon la norme NF V03-602 (méthode pratique), qui consiste à sécher le produit broyé durant 2 heures à 130°C. Les autres constituants majeurs (cendres, cellulose, azote, matières grasses) sont dosés par des méthodes officielles d'analyse des aliments des animaux. L'amidon total du produit broyé, dosé par la méthode d'EWERS (1965), inclut la fraction glucidique soluble dans l'éthanol à 40 p. 100.

B) *Extraction, fractionnement et dosage des glucides solubles.*a) *Fraction éthanolsoluble à 80°GL.*

2 g de produit broyé (matière sèche) sont extraits par 40 ml d'éthanol à 80°GL, à l'ébullition à reflux pendant 30 minutes. Après centrifugation à 1 800 g, le résidu est soumis successivement à une deuxième extraction à chaud et à 2 lavages à froid ; les extraits alcooliques collectés sont complétés à volume connu et les glucides extraits dosés par la méthode à l'anthrone (TOLLIER, 1965) et identifiés par chromatographie en couche mince.

b) *Fraction éthanolsoluble à 40°GL.*

Le résidu obtenu est ensuite soumis à 2 extractions successives par 40 ml d'éthanol à 40°GL au bain-marie à 50°C, suivies de 2 lavages à froid. La fraction glucidique extraite est dosée par la méthode à l'anthrone.

c) *Test de « digestibilité » in vitro de l'amidon.*

La sensibilité de l'amidon des produits témoins et traités à l'alpha-amylase de *Bacillus subtilis* est définie selon la méthode décrite par TOLLIER et GUILBOT (1971) et mesure la quantité

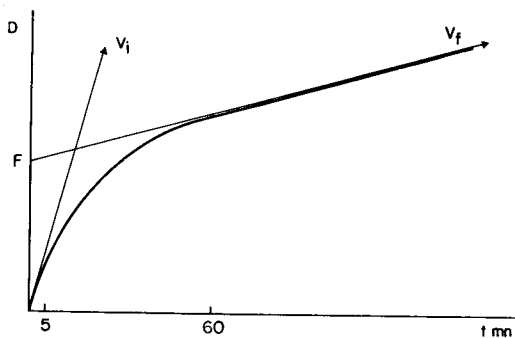


FIG. 1. — Paramètres d'une courbe d'alpha-amylolyse

$$V_i = D_5 - D_0$$

$$V_f = \frac{D_{240} - D_{60}}{36}$$

D = p. 100 d'amidon dégradé

F = fraction d'amidon facilement attaquable

V_i = vitesse initiale d'amylyolyse

V_f = vitesse finale d'amylyolyse

de glucides solubles dans l'éthanol 80°GL, formés sous l'action de l'enzyme et exprimés en p. 100 de l'amidon introduit. En fonction du temps, cette dernière croît d'abord rapidement, puis au-delà d'une heure, proportionnellement au temps de l'incubation. Les caractéristiques de la courbe sont les suivantes (fig. 1) :

- V_i , vitesse initiale d'amyolyse, est la quantité de glucides apparue durant les 5 premières minutes de l'attaque enzymatique ;
- V_f , vitesse finale d'hydrolyse, est la quantité moyenne de glucides apparue en 5 mn au-delà de la première heure de l'attaque enzymatique ;
- F , fraction facilement hydrolysable, est l'ordonnée à l'origine de la droite représentative de la phase linéaire de la courbe d'amyolyse.

RÉSULTATS

A. — *Composition des céréales*

Les résultats d'analyse des constituants majeurs et de la fraction glucidique des aliments, rapportés à la matière sèche de la céréale, sont regroupés dans le tableau 1. Les produits traités sont tous légèrement plus secs que les témoins correspondants. Cette diminution est particulièrement sensible dans le traitement d'expansion : — 6 p. 100 pour l'orge et le blé ; — 2,5 p. 100 pour le maïs, grain plus volumineux et donc plus lent à s'échauffer.

La composition des céréales traitées reste le plus souvent comparable à celle des témoins correspondants. Toutefois, l'extrusion entraîne une réduction nette de la teneur des matières grasses extraites à l'éther, sans doute sous l'effet de la forte pression exercée sur le produit au cours du traitement. Quelques valeurs élevées (matières azotées du blé floconné, amidon de l'orge ou du maïs floconné) s'expliquent plus difficilement, mais rejoignent les observations de LAWRENCE (1973) sur les modifications sensibles de la composition des céréales sous l'effet du floconnage.

La fraction glucidique soluble dans l'éthanol à 80°GL, avant traitement, est supérieure pour l'orge (2,9 p. 100) et le blé (3,7 p. 100) à celle du maïs (1,4 p. 100). Cette fraction est surtout constituée de traces de fructose, glucose et maltose, de quantités plus importantes de saccharose et de raffinose. Dans le cas de l'orge et du blé, des glucides à poids moléculaire plus élevé ont été détectés par chromatographie. Aucune évolution significative de cette fraction éthanolosoluble n'a pu être observée pour les 3 céréales étudiées à la suite de leur traitement.

La fraction glucidique soluble dans l'éthanol à 40°GL est plus importante pour l'orge (2,75 p. 100) que pour le blé (1,4 p. 100) et le maïs (1,7 p. 100). Bien que l'amidon solubilisé soit vraisemblablement le principal constituant de cette fraction, la technique chimique utilisée ne permet pas de conclure à la seule présence d'amidon, des fractions de pentosanes et de fructosanes pouvant avoir été extraites, surtout dans le cas de l'orge et du blé. Les traitements d'extrusion et surtout de floconnage accroissent nettement le taux de cette fraction, alors que l'expansion et le pressage (sauf celui du blé) la modifient peu.

B. — *Influence des traitements technologiques sur la sensibilité de l'amidon à l'alpha-amyolyse bactérienne*

Des trois amidons témoins, celui de l'orge, qui n'a pas subi d'autre traitement que le broyage, est le plus sensible à l'alpha-amylase, comme le montrent les caractéristiques de la courbe d'amyolyse.

TABLEAU I

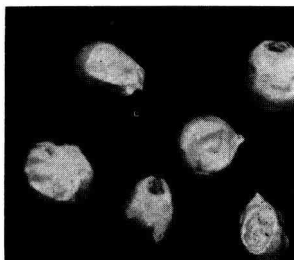
Composition de la matière sèche (g/kg) et caractéristiques d'amylolyse des céréales traitées

Céréale	Traitement	Cendres brutes	Cellulose brute	Matières azotées	Matières grasses	Amidon	Fraction éthanolosoluble		Caractéristiques d'amylolyse (p. 100 amidon)		
							80%GL	50%GL	V _f	V _f	F
Blé	Témoin	19	20	138	22	669	37	14	3,5	0,12	8
	Pressé	20	24	139	25	665	38	38	35	0,10	72
	Floconné	20	28	155	22	653	29	48	33	0,66	52
	Expanse	19	22	163	24	657	38	22	27	0,25	56
	Extrudé	17	19	138	12	683	38	35	51	0,10	79
Orge	Témoin	27	51	133	23	560	29	27	5,5	0,55	10
	Floconné	26	46	133	25	589	30	41	34	0,33	72
	Expanse	31	64	136	26	534	29	25	45	0,25	78
Maïs	Témoin	15	24	104	50	702	14	17	2,0	0,38	3
	Pressé	18	20	108	48	694	14	20	11	0,38	24
	Floconné	13	18	101	46	741	16	67	43	0,25	65
	Expanse	14	18	105	48	717	11	17	11	0,75	30
	Extrudé	16	17	104	20	695	15	29	50	0,33	73

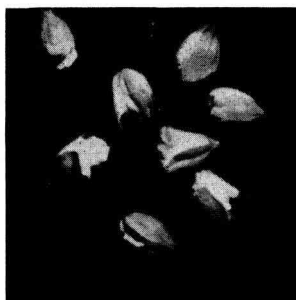
ORGE

MAÏS

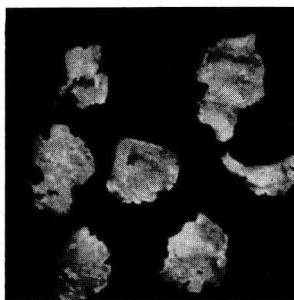
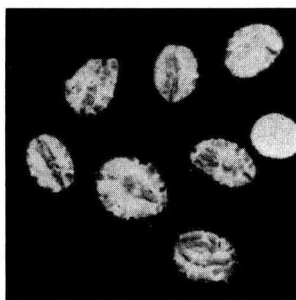
Témoin



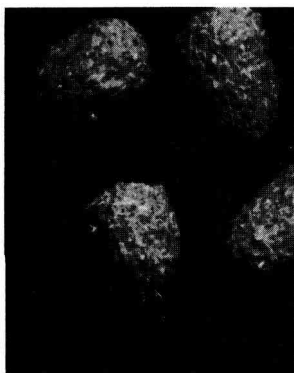
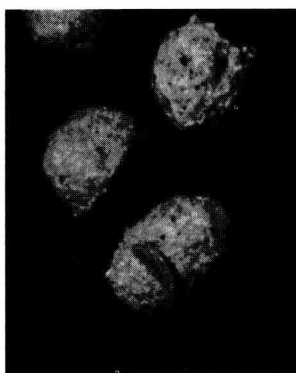
Expansé



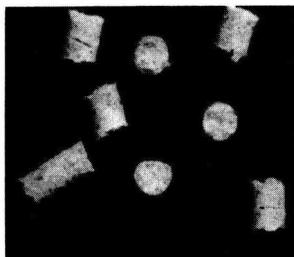
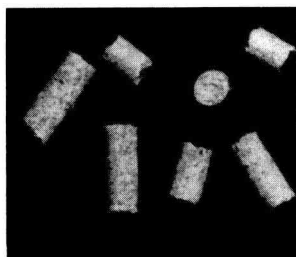
Floconné



Extrudé



Pressé



téristiques de l'action de cette enzyme ; vitesse initiale (V_i) et finale (V_f) d'amylolyse, fraction (F) d'amidon facilement attaquable par l'enzyme (tabl. 1).

De tous les traitements, le plus favorable pour le blé et le maïs est l'extrusion, qui augmente respectivement V_i et F de 10 fois pour le blé, de 25 pour le maïs. Par floconnage, la vitesse initiale d'attaque des trois céréales est accrue, ainsi que la vitesse finale dans le cas du blé, sans que les F soient aussi élevés que dans le cas des céréales extrudées. L'expansion procure des résultats variables en fonction de la céréale : le taux d'amidon endommagé paraît dans ce cas en relation étroite avec la vitesse initiale d'amylolyse, élevée dans le cas de l'orge, faible pour le maïs. Quant à l'agglomération, elle paraît fortement agir sur l'amidon du blé, de manière limitée sur celui du maïs.

C. — Coût énergétique du procédé

Lors de la préparation des produits expérimentaux (fig. 2) ont été enregistrées les puissances thermiques et mécaniques consommées (tabl. 2) : exprimées en kWh/t de céréale, elles sont de 5-13 pour le broyage, 40-45 pour l'agglomération et le conditionnement à la vapeur qui le précède ; 80-100 pour le floconnage ; 110, principalement d'origine thermique pour l'expansion. Dans le cas de l'extrusion, elle peut-être estimée à environ 250 kWh/t. Si nous prenons pour référence la consommation d'énergie nécessaire au broyage (grille \varnothing 3 mm) et à l'agglomération des aliments et que nous y ajoutons celle des traitements appliqués à la céréale, nous constatons que, pour l'orge incorporée à un aliment complet, le floconnage multiplie par 2,5, l'expansion par 3, l'extrusion par 5,5 la quantité d'énergie consommée par le traitement de l'aliment. Pour le maïs, ces facteurs sont respectivement de 3,3-3,4 et 6,5.

TABLEAU 2

Puissances consommées par le traitement des céréales
(kWh/t)

	Blé	Orge	Mais
Broyage			
\varnothing 3 mm	8,0	13,0	5,5
\varnothing 2 mm	11,6	—	9,2
Pressage	43	43	41
Floconnage	89	82	106
Expansion	110	110	110

FIG. 2. — Photographies d'orge et de maïs témoins ou traités par expansion, floconnage, extrusion et pressage
(cliché E. MARGELIE)

DISCUSSION

Les trois céréales de ces essais diffèrent nettement par leur teneur en glucides solubles dans l'éthanol à 80°CGL, ce qui confirme les résultats obtenus par CERNING (1970). L'ensemble des fractions alcoolosolubles est nettement moins élevé dans le cas du maïs (3,1 p. 100) que de l'orge (5,6 p. 100) ou du blé (5,1 p. 100). Sous l'effet des traitements, nous n'avons pas retrouvé l'accroissement spectaculaire du taux de glucides solubles cité dans le cas du « popping » par MERCIER (1971) ou obtenu dans des essais récents d'extrusion à haute température.

Plus encore que les teneurs en amidon, ce sont les sensibilités à l'alpha-amylase qui distinguent les céréales intactes ou traitées : l'extrusion et le floconnage fournissent dans nos essais des échantillons comparables à ceux prélevés dans des chaînes industrielles (MERCIER, 1971). Si l'expansion accroît fortement la sensibilité de l'amidon à l'enzyme dans le cas de l'orge, elle ne le solubilise pratiquement pas. Pour les deux autres céréales, ce traitement, appliqué dans les mêmes conditions de durée, paraît moins efficace. L'agglomération exerce sur le blé une influence très marquée, le maïs paraît moins sensible à ce traitement léger. Notre observation recoupe celle de MELCION *et al.* (1974) sur l'effet de la chaleur et du pressage appliqués à un aliment à base d'orge et de manioc.

Globalement, il est possible d'affirmer que toutes les céréales réagissent aux traitements mécaniques et thermiques, mais que l'amidon de certaines d'entre elles (blé et surtout orge) est plus sensible que celui du maïs à l'action de la chaleur. Un traitement donné n'aura donc logiquement pas toujours le même effet sur toutes les céréales; s'il n'implique qu'une faible dépense énergétique, son efficacité sera moindre sur les amidons de céréales qui, par leur nature ou par la taille des grains qui les englobent, sont naturellement moins accessibles aux effets des traitements technologiques.

Nous n'avons comparé, dans le présent essai, qu'une seule des variantes de chacun des traitements appliqués aux trois céréales : il est vraisemblable que, dans chaque cas, une optimisation serait possible, qui en réduise le coût et en accroisse le rendement et l'efficacité biologique. A cet égard, les perspectives offertes par les traitements secs à l'air libre (expansion) paraissent plus limitées que celles des procédés sous pression, à température réglable.

Le choix d'un procédé déterminé s'effectue en fonction du coût énergétique du traitement, du montant des investissements qu'il suppose, mais aussi du gain d'efficacité biologique que l'on peut en attendre. Pour estimer ce dernier, ces mêmes céréales ont été soumises à des tests d'efficacité nutritionnelle sur différentes espèces animales. Rat (ÉSSATARA *et al.*, 1976), Porcelet (AUMAITRE, 1976), Poulet (CALET, 1976), Lapin (LEBAS, 1976), Truite (LUQUET et BERGOT, 1976), et jeune ruminant (BOR-GIDA *et al.*, 1976).

Reçu pour publication en juin 1975.

REMERCIEMENTS

La société Buhler Frères (CH-UZWIL) a assuré la fourniture des céréales de ces essais et leur traitement, sous la responsabilité de R. SCHULTZ. P. VALDEBOUZE et le Laboratoire d'essai et d'analyse des aliments de l'Institut national de la Recherche agronomique ont bien voulu prendre en charge l'analyse fourragère des échantillons. Que tous en soient ici bien vivement remerciés.

SUMMARY

EFFICIENCY OF VARIOUS TREATMENTS OF CEREALS.

I. — SELECTION OF TREATMENTS AND STUDY
OF THEIR INFLUENCE ON THE CARBOHYDRATE FRACTION OF WHEAT,
BARLEY AND MAIZE

Homogenous lots of three cereals, wheat, barley and maize, were subjected to the following treatments :

Pelleting in a die press (\varnothing 4.5 mm) after previous steaming at 60°C,

Popping for 50 seconds at 280°C,

Flaking after previous steaming at 130°C and

Extrusion, in a press, of a finely ground (\varnothing 2 mm) and remoistened product, the temperature of which reaches 120°C at the outlet of the die.

The composition of the treated cereals was only slightly changed, except the fat content of wheat and maize, which was reduced by the extrusion treatment. The soluble carbohydrate fraction was generally only a little enhanced by the technological treatments, but it exceeded 7 p. 100 for the three flaked cereals.

According to the alpha-amylase test, barley and wheat are very sensitive to industrial moist-heat treatments, whereas the reactions of maize are variable : extrusion highly increased the initial amylolysis rate and the easily hydrolysable starch fraction, whatever the cereal. whereas, in our trial, flaking gave a little lower values ; popping as well as pelleting only slightly affected maize starch.

The choice of a method must be made on account of its energy cost, that we have attempted to estimate, but also according to its influence on the composition of the cereals (water content, state of the carbohydrate fraction) and on their biological efficiency for various animal species.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARMSTRONG D. G., 1972. Developments in cereal processing-ruminants. In *Cereal processing and digestion* 9-37. U. S. Feed Grain Council, Washington D. C.
- ACUMAITRE A., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. IV. Influence du floconnage et de l'expansion de l'orge et du maïs sur les performances du porcelet sevré à 21 jours : effets sur la digestibilité des éléments de la ration. *Ann. Zootech.*, **25**, 41-51.
- BORGIDA L. P., DURAND M., DELORT-LAVAL J., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. VIII. Efficacité comparée de traitements thermiques du maïs pour l'utilisation de l'urée *in vitro* et chez le chevreau précocement sevré. *Ann. Zootech.*, **25**, 71-77.
- CALET C., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. V. Effet du floconnage et de l'expansion sur l'efficacité du blé et du maïs pour le poulet. *Ann. Zootech.*, **25**, 53-61.
- CERNING J., 1970. *Contribution à l'étude de l'évolution de la composition glucidique des céréales au cours de leur maturation: maïs, blé, orge*. Thèse de Doctorat d'Université de Lille, n° 80.
- ÉSSATARA M'BARECK, SAINTAURIN M. A. de, ABRAHAM J., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. III. Effet de l'expansion, de l'extrusion et du floconnage sur la valeur alimentaire du blé et du maïs pour le rat en croissance. *Ann. Zootech.*, **25**, 31-39.

- EWERS E., 1965. Determination of starch by extraction and dispersion with hydrochloric acid. *International Organisation for Standardisation* (ISO/TC 93/WGL).
- FARBER B., GALLANT D., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. II. Études histologiques et cytochimiques des caryopses du maïs et de l'orge. Effets des traitements d'expansion et de floconnage. *Ann. Zootech.*, **25**, 13-30.
- HALE W. H., 1973. Influence of processing on the utilization of grains by ruminants. *J. Anim. Sci.*, **37**, 1075-1080.
- LAWRENCE T. L. J., 1972. Developments in cereal processing-growing pigs. In *Cereal processing and digestion*, 77-105. *U. S. Feed grain Council*, Washington D. C.
- LAWRENCE T. L. J., 1973. An evaluation of the micronization process for preparing cereals for the growing pig. *Anim. Prod.*, **16**, 99-107.
- LEBAS F., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. VI. Influence des traitements de floconnage et d'expansion du blé sur les performances de croissance du lapin. *Ann. Zootech.*, **25**, 59-61.
- LUQUET P., BERGOT F., 1976. Évaluation de divers traitements technologiques des céréales. VII. Utilisation de maïs pressé, floconné, expansé et extrudé dans l'alimentation de la Truite arc-en-ciel. *Ann. Zootech.*, **25**, 63-69.
- MELCION J.-P., VAISSADE P., VALDEBOUZE P., VIROBEN G., 1974. Influence des conditions d'agglomération sur quelques caractéristiques physico-chimiques d'un aliment pour porcelet. *Ann. Zootech.*, **23**, 149-160.
- MERCIER C., 1971. Effects of various U. S. grain processes on the alteration and the *in vitro* digestibility of starch granule. *Feedstuffs*, **43** (49), 33-34.
- TOLLIER M., 1965. *Contribution à l'étude de rayonnement gamma sur les caractères physicochimiques de l'amidon et sa sensibilité aux amylases*. Thèse Ingénieur C. N. A. M., Paris.
- TOLLIER M., GUILBOT A., 1971. Le maïs grain : préstockage, séchage et qualité. IV. Caractéristiques de la fraction glucidique des échantillons de maïs grain. *Ann. Zootech.*, **20**, 633-640.