

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

M'bareck ESSATARA, Marie-Alice de SAINTAURIN et J. ABRAHAM

*Centre de Recherches sur la Nutrition, C. N. R. S.,
92190 Meudon-Bellevue*

RÉSUMÉ

L'étude de l'influence de l'expansion, de l'extrusion et du floconnage sur la valeur nutritionnelle du blé et du maïs a été entreprise sur le Rat blanc.

Que le blé soit donné comme seul aliment ou convenablement supplémenté en vitamines, minéraux et lipides, les traitements augmentent systématiquement la digestibilité de la matière sèche, dans un ordre croissant pour l'expansion, l'extrusion et le floconnage. Il en va de même pour la digestibilité azotée mais cet effet ne semble pas entraîner de bénéfice réel pour l'animal car la valeur biologique apparente varie en sens inverse. On n'observe pas de modification ni de l'indice de consommation ni du coefficient d'efficacité protéique ; par contre le rendement énergétique de l'aliment est toujours supérieur pour les échantillons traités.

Dans le cas du maïs, le floconnage améliore la digestibilité et l'efficacité alimentaire alors que l'expansion les abaisse et que l'extrusion est sans effet sur ces critères.

INTRODUCTION

L'influence des traitements thermiques sur la valeur nutritionnelle d'un aliment dépend bien évidemment des conditions de leur application. En effet toute action de la chaleur risque d'entraîner une destruction plus ou moins importante des vitamines thermolabiles et une disparition d'acides aminés indispensables sous l'effet de réactions de MAILLARD. Ces phénomènes ont été passés en revue, le premier en particulier par CAUSERET et MOCQUOT (1974), le second par ADRIAN (1972, 1973). Mais, simultanément, une meilleure efficacité peut aussi découler de l'amélioration de la digestibilité, de l'appétence, de la salubrité ou de destruction de facteurs anti-

nutritionnels. Ce fait a été illustré par exemple pour le soja dans un travail collectif antérieur (ABRAHAM *et al.*, 1971).

Les effets de l'expansion, de l'extrusion et du floconnage sur le blé et le maïs varient considérablement selon le procédé industriel mis en œuvre. Les échantillons qui ont été testés dans cette étude ont été produits selon une technologie précise décrite par DELORT-LAVAL et MERCIER (1976), qui ont mis en évidence certaines des modifications physico-chimiques des céréales qui en découlaient. De notre côté nous avons entrepris d'en étudier les conséquences sur l'efficacité nutritionnelle du blé et du maïs pour le Rat blanc, en recherchant les modifications qui pouvaient intervenir d'une part sur leur valeur alimentaire globale, et d'autre part sur leur efficacité protéique. De plus, dans le cas du blé, ce travail a été complété par une estimation de leur influence sur la valeur énergétique.

MATÉRIEL, ET MÉTHODES

Trois jours après le sevrage, de jeunes rats mâles de la souche *Sprague Dawley* (élevage des Oncins) ont été répartis en lots expérimentaux aussi semblables que possible à raison de 8 animaux par lot.

L'expérience a duré 28 jours, pendant lesquels ils ont été maintenus dans des cages grillagées individuelles placées dans une animalerie climatisée (température 23°C, humidité relative 55 p. 100), avec une alternance quotidienne lumière — obscurité de 12 heures — 12 heures. Leur évolution pondérale a été déterminée chaque semaine.

Les régimes sont décrits dans le tableau 1 ; ils ont été calculés pour être isozotés au taux de 10 p. 100 de protéines par rapport à la matière sèche maïs, dans l'expression des résultats on a tenu compte de leur composition réelle déterminée par l'analyse (tabl. 2). Ces régimes peuvent se diviser en deux groupes :

TABLEAU I

Composition des régimes (en g par kilo)

Supplémentation	Blé		Maïs	
	g	g	g	g
Blé	761	761	0	0
Maïs	0	0	954	954
Amidon	239	193	46	0
Mélange vitaminique complet (type N.B.C.)	0	10	0	10
Mélange salin complet type Wesson de N.B.C. !	0	20	0	20
Huile d'arachide	0	15	0	16

— le premier groupe est destiné à la mesure de la valeur alimentaire globale de la céréale en fonction du traitement appliqué ; on n'a procédé à aucune supplémentation, seule une certaine quantité d'amidon a été ajoutée en vue de réaliser le taux protéique prévu.

— le deuxième groupe est destiné à la comparaison des efficacités protéiques ; on a donc ajouté vitamines, minéraux et lipides en quantité suffisante pour que ces nutriments ne puissent être des facteurs limitants et que seul l'équilibre des acides aminés détermine les performances des animaux.

TABLEAU 2

Analyse des régimes (supplémentés ou non) (p. 100)

Régime	Matière sèche	Protéines (N x 6,25 p. 100 MS)
Blé témoin	89,0	10,2
Blé expansé	90,0	10,1
Blé extrudé	89,0	10,2
Blé floconné	88,6	10,2
Maïs témoin	88,4	10,2
Maïs expansé	90,0	10,0
Maïs extrudé	89,3	10,1
Maïs floconné	88,5	10,2

Les aliments ont été distribués sous forme de farine dans des mangeoires munies d'un couvercle grillagé qui n'en gêne pas la consommation mais élimine pratiquement tous les risques de gaspillage. La nourriture était allouée *ad libitum*, les quantités de matière sèche et d'azote ingérées déterminées chaque semaine.

Les essais de digestibilité ont été réalisés en recueillant les fèces de 4 animaux de chaque lot pendant deux périodes de 3 jours au cours de la 3^e semaine d'expérience. Les fèces ont été analysées par lot et par période, le poids sec a été déterminé après dessiccation à 103°C et l'azote par la méthode de Kjeldahl.

La valeur biologique apparente des échantillons de blé a été mesurée à partir des résultats de l'analyse corporelle des animaux par lot : en fin d'expérience, les animaux ont été sacrifiés, puis congelés, broyés, lyophilisés, rebroyés, et, sur une partie aliquote, on a dosé l'azote total par la méthode de Kjeldahl. En début d'expérience, on avait procédé de même avec des animaux représentatifs du lot de cet essai ; ainsi, par différence, nous avons obtenu la rétention azotée moyenne par lot. Par ailleurs, nous avons extrapolé à l'ensemble de l'expérience les résultats de digestibilité azotée et calculé, à partir des ingérés, la quantité d'azote digérée. Nous avons appelé Valeur Biologique Apparente (V. B. app) le pourcentage de l'azote retenu par rapport à l'azote digéré. Cette valeur n'est qu'une approximation de la V. B. réelle que nous ne pouvions définir, en l'absence des données relatives aux pertes métaboliques et endogènes, mais elle peut cependant permettre une comparaison intéressante entre les échantillons.

L'efficacité énergétique des différents régimes a été estimée à partir des quantités de lipides corporels dosés par extraction à l'éther d'une partie aliquote du broyat. Les quantités stockées dans la carcasse ont été déterminées selon la méthode des témoins en début d'expérience. La rétention énergétique a été estimée sur la base de 9 calories par gramme de lipides et de 4 calories par gramme de protéines déposées dans la carcasse au bout de 28 jours d'expérience. L'ingéré calorique a été calculé selon les coefficients d'Atwater (4, 9, 4) appliqués aux régimes. Le rapport entre ces deux valeurs, exprimé en pourcentage, représente le rendement énergétique de la ration considérée.

RÉSULTATS

1. — Le blé

Croissance et quantités ingérées.

Les résultats figurent dans le tableau 3.

Dans le cas du blé non supplémenté, les traitements ne modifient ni les quantités ingérées, ni les gains de poids et, par conséquent, sont sans effet sur le CIP ou l'Indice de Consommation. Lorsqu'on supplémente le blé, il semblerait que le

floconnage ait un effet défavorable sur le gain de poids, mais, en réalité, celui-ci est lié à une moindre consommation de nourriture et ni le CÉP, ni l'indice de consommation ne sont statistiquement modifiés. Si donc on retient ces critères, les quatre échantillons sont équivalents.

TABLEAU 3

Ingérés et croissance du rat recevant les régimes à base de blé seul ou supplémenté en vitamines, mélange salin et huile

	Ingéré total matière sèche (g)	Ingéré protéique (g)	Gain de poids (g)	Gain de poids (g/j)	CÉP	IC
<i>Régimes non supplémentés</i>						
Blé témoin	259 ± 3,4 ^a	26,5	24,2 ± 0,9 ^a	0,86	0,91	10,8 ± 0,3 ^a
Blé expansé	258 ± 7,3 ^a	26,1	23,2 ± 1,1 ^a	0,83	0,89	11,2 ± 0,3 ^a
Blé extrudé	252 ± 5,2 ^a	25,8	21,8 ± 0,8 ^a	0,78	0,85	11,6 ± 0,4 ^a
Blé floconné	248 ± 6,1 ^a	25,2	20,9 ± 1,1 ^a	0,75	0,83	12,0 ± 0,4 ^a
<i>Régimes supplémentés (V + S + H)</i>						
Blé témoin	283 ± 4,6 ^a	28,9	43,7 ± 2,2 ^a	1,56	1,51	6,5 ± 0,2 ^a
Blé expansé	288 ± 11,5 ^a	29,1	44,9 ± 3,0 ^a	1,60	1,54	6,5 ± 0,2 ^a
Blé extrudé	296 ± 9,5 ^a	30,3	45,8 ± 3,8 ^a	1,64	1,51	6,6 ± 0,2 ^a
Blé floconné	250 ± 5,0 ^b	25,4	34,1 ± 1,9 ^b	1,22	1,34	7,4 ± 0,3 ^a

Les calculs statistiques sont effectués à l'aide du test de Keuls. Les ingérés et gains de poids totaux sont donnés avec l'erreur de la moyenne. Pour chacun des 2 types de régime les valeurs qui ne sont pas affectées de la même lettre placée en exposant sont statistiquement différentes ($P < 0,05$).

L'efficacité de la supplémentation est analogue pour les produits testés ; elle diminue l'indice de consommation de 40 p. 100 pour le blé témoin, de 42 p. 100 pour l'expansé, de 43 p. 100 pour l'extrudé et de 38 p. 100 pour le floconné. Il semble donc que ces traitements n'aient pas d'influence particulière sur les vitamines.

Digestibilité.

Dans chacun des deux groupes de régimes, les blés traités ont une meilleure utilisation digestive de leur matière sèche que les témoins. Le même résultat s'observe pour l'azote alimentaire avec des écarts relatifs encore plus importants. Le meilleur résultat est obtenu avec le floconnage qui cependant n'a d'effet ni sur la croissance, ni sur l'indice de consommation (tabl. 4).

Pour chaque céréale testée, la supplémentation en minéraux, huile et vitamines augmente la digestibilité dans des proportions équivalentes, quel que soit le traitement.

TECHNOLOGIE ET EFFICACITÉ DES CÉRÉALES

TABLEAU 4

Influence des traitements sur la digestibilité du blé

Traitement	Blé non supplémenté		Blé supplémenté	
	CUD MS	CUD azoté	CUD MS	CUD azoté
Blé témoin	87	77	91	80
Blé expansé	91	81	93	82
Blé extrudé	92	84	94	84
Blé floconné	93	87	95	87

$$\text{CUD MS} = \frac{\text{matière sèche ingérée} - \text{matière sèche fécale}}{\text{matière sèche ingérée}} \times 100.$$

$$\text{CUD azoté} = \frac{\text{azoté ingéré} - \text{azote fécal}}{\text{azote ingéré}} \times 100.$$

Ces valeurs apparentes ont été calculées par différence en admettant que la digestibilité de l'amidon ajoutée aux céréales est de 100 p. 100.

Valeur biologique apparente.

D'une manière générale (tabl. 5), les traitements diminuent la valeur biologique apparente des protéines du blé alors qu'ils en augmentent la digestibilité. On peut supposer que l'amélioration de la digestibilité est due au moins partiellement à la destruction par les traitements thermiques d'un facteur antitrypsique thermolabile dont on a signalé l'existence dans le blé cru (CAMUS et LAPORTE, 1973) ; plus le traitement est intense, plus la destruction est complète mais, en même temps, il est certain que les protéines pourraient être davantage altérées et leur efficacité diminuée d'autant ; on comprendrait ainsi que le blé floconné, qui a la meilleure digestibilité, ait en même temps la moins bonne valeur biologique. Les résultats observés sur la croissance des animaux nourris avec les blés traités sont la résultante de deux facteurs : l'un positif, l'autre négatif qui les amènent au niveau du blé témoin auquel ils ne sont pourtant pas exactement comparables.

Efficacité énergétique.

Les animaux consommant les blés traités sont plus gras que ceux nourris au blé témoin (tabl. 5). Ce phénomène s'observe à l'intérieur de chacun des deux groupes de régimes, qu'ils soient supplémentés ou non, et devrait correspondre à une augmentation de la valeur énergétique de la céréale. Notre protocole expérimental ne permettait pas de donner, sur ce point, des indications pratiques transposables au plan zootechnique ; néanmoins, pour montrer le bien-fondé de cette hypothèse, nous avons calculé les rendements énergétiques des rations, qui sont rapportés dans le tableau 5. Pour chaque groupe, ce rendement est notablement augmenté lorsque le blé a subi l'un des trois traitements étudiés. La supplémentation élève aussi bien l'adiposité de la carcasse que le rendement énergétique ; ce fait s'explique en partie

par la différence de poids corporel entre les lots correspondants (il est logique que les animaux les plus lourds soient plus gras) et en partie par l'influence propre d'un régime hypoprotéique mais équilibré dans ses autres constituants (augmentation de la lipogenèse).

TABLEAU 5

Influence des traitements sur la valeur biologique apparente du blé, l'adiposité des animaux et le rendement énergétique des régimes

	Valeur biologique apparente (azote retenu pour 100 azote digéré)	Teneur de la carcasse en lipides (%)	Rdt énergétique (calories retenues pour 100 calories ingérées)
<i>Régimes non supplémentés</i>			
Blé témoin	27	5,7	3,0
Blé expansé	27	6,7	3,8
Blé extrudé	22	7,3	3,8
Blé floconné	22	7,5	4,0
<i>Régimes supplémentés</i>			
Blé témoin	37	9,1	6,3
Blé expansé	35	12,3	9,5
Blé extrudé	29	13,4	10,0
Blé floconné	26	11,7	8,4

2. Le maïs

Croissance et ingérés.

Les résultats relatifs aux gains de poids vif, aux ingérés et aux relations entre ces deux paramètres sont présentés dans le tableau 6.

Le maïs utilisé seul est un aliment médiocre et la croissance qu'il permet est si faible que la notion d'indice de consommation ou de CEP est sans grande signification. On peut cependant remarquer que l'expansion a une influence défavorable, qui est statistiquement significative.

Lorsqu'on procède à une supplémentation de cette céréale, l'indice de consommation est amélioré dans des proportions supérieures à celles que nous avons relevées pour le blé : il est diminué de 55 p. 100 pour le témoin, de 50 p. 100 pour l'expansé, de 58 p. 100 pour l'extrudé et de 45 p. 100 pour le floconné. Ces valeurs ne permettent pas de conclure à une destruction plus ou moins intense de vitamines thermolabiles du fait des traitements. Comme l'effet négatif de l'expansion subsiste, on peut supposer qu'il est dû, en partie au moins, à une altération de la disponibilité des acides aminés de cet échantillon (ADRIAN, 1972-1973).

TABLEAU 6

Ingérés et croissance du rat recevant les régimes à base de maïs seul ou supplémentés en vitamines, mélange salin et huile (1)

	Ingéré total matière sèche (g)	Ingéré protéique (N × 6,25) (g)	Gain de poids total (g)	Gain de poids (g)	CEP	IC
<i>Régimes non supplémentés</i>						
Maïs témoin	210 ± 6,5 ^a	21,4	11,0 ± 0,9 ^a	0,39	0,51	20,0 ± 1,8 ^b
Maïs expansé	211 ± 5,6 ^a	21,1	7,8 ± 0,8 ^b	0,28	0,37	29,0 ± 2,7 ^a
Maïs extrudé	196 ± 7,4 ^b	19,7	9,4 ± 0,9 ^b	0,34	0,48	22,1 ± 1,8 ^b
Maïs floconné	220 ± 6,9 ^a	22,3	14,9 ± 1,3 ^a	0,53	0,67	15,4 ± 1,2 ^c
<i>Régimes supplémentés</i>						
Maïs témoin	237 ± 8,9 ^a	24,1	26,6 ± 1,6 ^a	0,95	1,10	9,1 ± 0,4 ^b
Maïs expansé	218 ± 7,8 ^a	21,8	15,6 ± 1,2 ^b	0,57	0,72	14,4 ± 0,9 ^a
Maïs extrudé	225 ± 10,0 ^a	22,7	24,8 ± 2,0 ^a	0,89	1,09	9,31 ± 0,9 ^b
Maïs floconné	231 ± 8,7 ^a	23,5	28,1 ± 2,0 ^a	1,00	1,20	8,4 ± 0,4 ^b

(1) Voir l'interprétation statistique au bas du tableau 3.

Digestibilité.

L'utilisation digestive de la matière sèche et de l'azote alimentaire varie dans le même sens pour chaque traitement par rapport au témoin (tabl. 7), mais l'éventail des valeurs est plus large pour le CUD azoté que pour le CUD global. Ces coefficients sont diminués légèrement par l'extrusion et de manière plus nette par l'expansion ; par contre, le floconnage les améliore et la classification que l'on peut établir en fonction de ces critères est la même que celle que l'on a obtenue à partir de l'indice de consommation.

TABLEAU 7

Influence des traitements sur la digestibilité du maïs non supplémenté (1)

	CUD MS	CUD azoté
Maïs témoin	92	84
Maïs expansé	91	80
Maïs extrudé	92	82
Maïs floconné	93	86

(1) La définition du CUD est donnée au bas du tableau 4.

DISCUSSION

L'effet des trois traitements étudiés dépend de la céréale à laquelle ils sont appliqués. Dans leur étude de leur influence sur la fraction glucidique, DELORT-LAVAI et MERCIER (1976) ont conclu de la même manière et tenté d'expliquer les causes de cette disparité. Les résultats biochimiques qu'ils ont obtenu ne semblent pas directement reliés à nos observations *in vivo*, néanmoins il faut remarquer une certaine corrélation entre la fraction éthanolosoluble 40°GI, et la digestibilité globale ou azotée du blé ou du maïs.

Il est malaisé de comparer nos résultats avec ceux de la littérature ; en effet, les termes expansion, extrusion, floconnage correspondent à des technologies très différentes selon les procédés mis en œuvre et le but poursuivi. C'est ainsi que TRÉMOLIÈRES et coll. (1972) ont écrit que « pour les céréales à breakfast, l'extrusion était néfaste à la fois au potentiel vitaminique et à l'efficacité protéique et que les procédés d'expansion détruisaient la totalité de la vitamine B₁ et entraînaient une diminution de la valeur azotée qui pouvait atteindre 70 p. 100 ». Ce n'est pas le cas des échantillons que nous avons testés ; mais ceux-ci ne possédaient peut-être pas les qualités organoleptiques exigées par l'homme pour de tels produits. Nous n'avons en effet observé aucune action évidente de trois traitements sur le potentiel vitaminique des céréales ni sur leur efficacité de croissance, exception faite pour l'expansion du maïs qui diminue cette dernière.

Le fait le plus marquant reste donc, pour le blé, l'augmentation de son efficacité énergétique ; cela correspondrait, dans la mesure où les traitements seraient réellement comparables et les résultats pourraient être transposés d'une espèce à une autre, aux données de BAYLEY *et al.* (1968), de SUMMERS *et al.* (1968) pour le poulet, de MORRILL (1971) pour le veau.

Il importerait donc dans un cadre zootechnique pratique de chiffrer l'augmentation de l'énergie métabolisable et d'en comparer l'importance avec le coût du traitement.

Reçu pour publication en juin 1975.

SUMMARY

EFFICIENCY OF VARIOUS TREATMENTS OF CEREALS.
 III. — EFFECT OF POPPING, EXTRUSION AND FLAKING
 ON THE FEEDING VALUE OF WHEAT AND MAIZE FOR GROWING RATS

The effect of popping, extrusion and flaking on the nutritive value of wheat and maize was studied on the white rat.

Whatever wheat was given alone or suitably supplemented with vitamins, minerals and lipids, dry matter digestibility was systematically enhanced by all the treatments (in the increasing order by popping, extrusion and flaking). The same effect was observed for nitrogen digestibility, but it did not seem to be truly beneficial to the animal since the apparent biological value varied in the opposite direction. No changes were noticed either in the feed conversion ratio or

the protein efficiency ratio ; the energy yield of the feed was always higher with the treated samples.

In the case of maize, flaking improved the digestibility and feed efficiency, whereas the latter were reduced by popping and unaffected by the extrusion treatment.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABRAHAM J., ADRIAN J., CALET C., CHARLET-LERY Geneviève, DELORT-LAVAL J., GUILLAUME J., GUITTON M., LOUGNON J., RÉRAT A., ZELTER S. Z., 1971. Traitement thermique et qualité des protéines de soja. VIII. *Ann. Zootech.*, **20**, 75-86.
- ADRIAN J., 1972-1973. La réaction de MAILLARD vue sous l'angle nutritionnel. *Indust. agric. alim.*, **89**, 1281-1289 ; 1713-1720 ; **90**, 449-455 ; 559-564.
- BAYLEY H. S., SUMMERS J. D., SLINGER S. J., 1968. Effect of heat treatment on the metabolizable energy value of wheat germ meal and other wheat milling by-products. *Cereal Chem.*, **45**, 557-563.
- CAMUS M. C., LAPORTE J. C., 1973. Teneur en inhibiteurs tryptiques de divers blés durs et tendres. *Ann. techn. agric.*, **22**, 111-120.
- CAUSERET J., MOCQUOT G., 1974. *Récents progrès en vitaminologie*, C. N. R. S., éd., Paris.
- DELORT-LAVAL J., MERCIER C., 1976. 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. *Ann. Zootech.*, **25**, 3-12.
- MORRILL J. L., 1971. Grain processing for dairy calves. *Feedstuffs*, **43** (13). 32-33.
- SUMMERS J. D., BENTLEY H. U., SLINGER S. J., 1968. Influence of methods of pelleting on utilization of energy from corn, wheat shorts and bran. *Cereal Chem.*, **45**, 612-615.
- TRÉMOLIÈRES J., SERVILLE Y., JACQUOT R., 1972. *Manuel élémentaire d'alimentation humaine*, ESF éd., Paris, **2**, 462.