

## ALIMENTS COMPLETS AGGLOMÉRÉS A BASE DE PAILLE ET DE CÉRÉALES

### I. — ÉTUDE TECHNOLOGIQUE

J.-P. MELCION et J. DELORT-LAVAL  
avec la collaboration technique de M. HERVIO

*Fabrique de Mélanges alimentaires expérimentaux, I. N. R. A .  
La Minière  
78000 Versailles*

---

### RÉSUMÉ

Dans un essai d'orientation ayant pour but d'élaborer un aliment complet aggloméré à base de paille, de maïs et d'urée, trois facteurs de la fabrication ont été étudiés : taux de paille (30 ou 50 p. 100), finesse de broyage (grille de 5 ou 20 mm), diamètre des perforations de la filière de la presse (10 ou 18 mm).

Dans nos conditions expérimentales, la filière aux trous de plus faible diamètre et le taux de paille le moins élevé fournissent, avec un rendement satisfaisant, des agglomérés de dureté suffisante et de friabilité acceptable. Cependant, la granulométrie initiale des éléments fibreux du régime n'a pu être préservée au cours du pressage.

---

### INTRODUCTION

L'alimentation *ad libitum* des vaches laitières avec des régimes complets agglomérés à base de fourrages grossiers et de céréales impose de pouvoir fabriquer, à partir de matières premières de structure physique très hétérogène, un aliment qui réponde à des critères de qualité définis :

- non altération de la composition chimique des composants ;
- maintien d'un taux aussi élevé que possible de fibres cellulosiques d'une longueur suffisante ;
- caractéristiques de dureté et de friabilité des agglomérés conciliant à la fois leur tenue mécanique lors des manutentions et leur bonne ingestion par l'animal.

Bien que ce type de rationnement présente un intérêt certain sur le plan théorique et pratique, peu de travaux lui ont été jusqu'ici spécifiquement consacrés : citons en particulier ceux de THOMSON (1970) sur la fabrication des agglomérés, et ceux de GIBSON (1969), d'OWEN, MILLER et BRIDGE (1971) sur leur utilisation par les bovins pour l'engraissement ou la production laitière.

Un essai d'orientation selon un schéma factoriel comprenant l'étude de trois paramètres de la fabrication (taux de paille dans l'aliment, taille des trous de la grille du broyeur, diamètre des perforations de la filière) nous a permis de vérifier dans quelles conditions il était possible d'élaborer un aliment complet pour ruminants à base de paille, de maïs et d'urée. Les produits obtenus ont été ensuite testés sur animaux par la Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants de Theix (Groupe Vaches laitières).

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

Huit aliments ont été préparés : 4 qui contenaient 30 p. 100 de paille d'orge et 4 qui en contenaient 50 p. 100; ils seront désignés par la suite respectivement par aliment P<sub>30</sub> et aliment P<sub>50</sub>. La proportion des différents ingrédients dans ces aliments est présentée dans le tableau I.

TABLEAU I

*Formule des aliments expérimentaux*

Désignation	P <sub>30</sub>	P <sub>50</sub>
Paille .....	30	50
Maïs .....	65,5	45,5
Urée .....	1,5	1,5
Phosphate bicalcique .....	2	2
Sel vétérinaire .....	1	1
Total .....	100	100

### *Fabrication*

La paille d'orge est déchiquetée dans un broyeur à couteaux muni de grilles à trous de 5 ou de 20 mm (désignées par la suite respectivement par G<sub>5</sub> ou G<sub>20</sub>).

L'aliment emprunte un circuit de fabrication classique d'aliments composés qui comporte :

- le broyage du maïs dans un broyeur à marteaux (Gondard TB 12, grille de 10 mm) ;
- un mélange de 15 minutes dans une mélangeuse horizontale à rubans spiralés, de 2 000 l de capacité, par charges de 200 kg pour les aliments à base de paille grossièrement broyée (G<sub>20</sub>) et de 400 kg pour les aliments à base de paille finement broyée (G<sub>5</sub>).

Le pressage est effectué sans addition d'eau, de vapeur ou de liants sur une presse (Gondard VT 400, 100 CV) à filière tournante d'axe horizontal, percée de trous de 10 mm (P<sub>10</sub>) ou 18 mm (P<sub>18</sub>) de diamètre, et épaisse de 75 ou 90 mm respectivement ; sa vitesse de rotation est de 365 tours par minute.

*Contrôles et analyses*

Les conditions d'agglomération (températures de pressage et de refroidissement, humidité du produit à l'entrée et à la sortie de la presse, proportions respectives des matières premières) et les caractéristiques mécaniques de la filière influent à la fois sur le rendement de l'opération (débit horaire et puissance électrique absorbée) et sur la qualité des agglomérés, dont les caractéristiques (dureté, friabilité, longueur des fibres pailleuses résiduelles, densité apparente) sont déterminées de la manière suivante :

— les températures de la farine, de l'aggloméré à la sortie de la presse et dans le refroidisseur, sont repérées par des sondes à thermocouples et la puissance mesurée par un thermoconvertisseur. Ces capteurs sont reliés à un appareil enregistreur (1 point par minute);

— l'humidité du fourrage est dosée à l'étuve infrarouge à 80°C jusqu'à poids constant ;

— la dureté définie par la résistance maximum à la compression radiale d'un ensemble d'agglomérés de même diamètre et de longueurs connues (DELORT-LAVAL et DREVET, 1970) est mesurée à l'aide d'un compresseur Lhomargy : le résultat est la moyenne, exprimée en bars par cm de longueur d'aggloméré, des mesures effectuées sur 12 échantillons de 5 agglomérés ;

— la friabilité est exprimée par le pourcentage moyen ( $n = 6$ ) de particules fines obtenues dans un appareil à caissons rotatifs durant 10 mn à 50 tr/mn sur 400 g d'aliment aggloméré (FROST et ALLEN, 1963 ; SCHULTZ, 1965) ;

— le taux de fibres « longues », retenues sur le tamis de maille 1,25 mm, est obtenu après dilacération des agglomérés dans l'eau, séparation de la paille par flottation, séchage et tamisage, selon une technique voisine de celle décrite par DEMARQUILLY (1968) ;

— le dosage des matières azotées et de la cellulose est effectué selon les méthodes officielles de l'analyse fourragère.

## RÉSULTATS

Le résultat des analyses chimiques est regroupé dans le tableau 2 ; les données concernant le rendement de la presse et les caractéristiques des agglomérés figurent dans les tableaux 3 et 4.

1. — *Composition des aliments*

Les variations de composition d'aliments de même formule (tabl. 2) ne sont pas négligeables et proviennent essentiellement de la structure physique très hétérogène des principaux composants et de la difficulté reconnue d'une bonne répartition de l'urée. La teneur systématiquement plus faible en cellulose brute des agglomérés par rapport aux farines correspondantes dans les aliments les plus riches en paille mérite toutefois d'être soulignée.

2. — *Effet du taux de paille et de la structure physique des aliments sur leurs conditions d'agglomération*

La température de l'aggloméré à la sortie de la presse est d'autant plus grande que le taux de paille dans l'aliment s'élève : l'accroissement de température du granulé par rapport à celle de la farine initiale est en effet de 30-35°C pour les régimes à 30 p. 100 de paille et de 40-50°C pour les aliments les plus riches en fourrage grossier. Par ailleurs, l'échauffement est plus important lorsque la texture de la farine est plus grossière : la température maximum de sortie de la presse des régimes à paille broyée grossièrement est en moyenne de 9°C supérieure à celle des régimes

TABLEAU 2

Composition centésimale (p. 100 de la matière sèche)  
des matières premières et des aliments fabriqués

Diamètre des trous de la filière (F) mm	Taux de paille (P) p. 100	Broyage de la paille (G) Ø trous de la grille (mm)	Matières azotées totales		Cendres brutes		Cellulose brute	
			Farine	Agglo.	Farine	Agglo.	Farine	Agglo.
Paille d'orge		5	3,8	—	5,1	—	42,9	—
		20	3,1	—	4,9	—	43,7	—
		5	9,5	—	1,4	—	2,0	—
		20	9,7	—	1,5	—	1,8	—
Maïs		5	13,6	13,3	3,3	3,6	10,8	12,5
		20	12,9	12,8	3,5	3,5	13,5	12,1
		5	11,7	11,4	4,9	4,5	25,7	21,8
		20	10,3	11,5	4,3	4,2	23,4	20,4
10	30	5	12,8	12,7	3,6	3,5	14,6	13,8
		20	13,5	13,0	3,4	3,3	12,7	13,5
	50	5	11,2	11,5	4,5	4,2	23,5	21,3
		20	10,8	11,4	4,2	4,3	24,1	20,5
18	30	5	11,2	11,5	4,5	4,2	23,5	21,3
		20	10,8	11,4	4,2	4,3	24,1	20,5
	50	5	11,2	11,5	4,5	4,2	23,5	21,3
		20	10,8	11,4	4,2	4,3	24,1	20,5

TABLEAU 3

Conditions d'agglomération et rendement du pressage

	F <sub>10</sub> *				F <sub>18</sub>			
	P <sub>30</sub> *		P <sub>50</sub>		P <sub>30</sub>		P <sub>20</sub>	
	G <sub>5</sub> *	G <sub>20</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>20</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>20</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>20</sub>
Humidité (%) :								
● Farine .....	10,8	11,5	11,0	10,7	11,9	11,3	11,2	11,5
● Agglomérés .....	10,2	10,6	9,0	8,1	11,7	10,8	10,5	9,5
Température (°C) :								
● Entrée farine ...	27-31	25-29	28-34	30-35	29-34	30-34	30-35	30-31
● Sortie presse ....	56-65	50-63	63-73	73-83	57-60	60-68	62-67	70-86
● Refroidisseur ...	28-39	24-38	30-40	30-43	30-36	30-39	30-38	32-63
Débit (t/h) :								
● Produit brut ....	1,17	1,07	0,87	0,47	1,00	1,60	0,98	0,45
● Produit sec .....	1,05	0,96	0,79	0,44	0,88	1,42	0,88	0,40
Énergie consommée (kWh/t) .....	28	29	34	48	27	29	33	47
Puissance moyenne absorbée (kW) .....	33	31	30	23	27	46	33	21

F\* = diamètre des trous de la filière (en mm).

P\* = taux de paille de l'aliment (en %).

G\* = diamètre des trous de la grille de broyage (en mm).

plus fins. Il est, par contre, difficile de mettre en évidence une influence quelconque du diamètre des trous de la filière sur la température du produit à la sortie de la presse.

Tous ces effets sont traduits par la quantité d'énergie consommée et la perte d'humidité des aliments au cours du pressage : cette dernière est moins importante pour les agglomérés les plus gros, pour les produits contenant la paille finement divisée et, d'une manière très significative, pour la formule ne contenant que 30 p. 100 de paille.

Le débit de la presse dépend de la formule fabriquée et varie en fonction inverse du taux de paille de l'aliment. Lorsque ce dernier est élevé, la dépense d'énergie par tonne d'aliment fabriquée est accrue. L'énergie consommée est également plus importante lorsque la paille n'a été initialement que grossièrement broyée. Quand ces deux facteurs — taux de paille élevé et broyage grossier — se conjuguent, l'alimentation de la presse n'est plus correctement assurée ; la puissance moyenne absorbée par le processus de l'agglomération est alors nettement plus faible (tabl. 3).

### 3. — *Caractéristiques physiques des agglomérés*

La densité apparente des farines est directement liée au taux de paille qu'elles contiennent et à son état de division. L'agglomération élève nettement la densité du produit en place ; cet effet, indépendant du taux de paille dans l'aliment, est

TABLEAU 4

*Caractéristiques physiques des agglomérés*

	F <sub>10</sub> *				F <sub>18</sub>			
	P <sub>30</sub> *		P <sub>60</sub>		P <sub>30</sub>		P <sub>60</sub>	
	G <sub>5</sub> *	G <sub>20</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>20</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>20</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>20</sub>
Densité apparente (kg/m <sup>3</sup> ) :								
● Farine .....	224	154	132	112	184	130	129	95
● Agglomérés .....	577	554	559	528	473	508	460	497
Dureté (bars/cm) .....	12,4	10,6	15,6	18,2	5,5	14,3	15,1	23,2
Friabilité (%) .....	18,3	17,5	6,9	7,7	60,8	40,7	31,8	18,7
Fraction d'aliment retenue sur le tamis de 1,25 mm (%) :								
● En farine .....	30,9	34,4	29,1	41,6	31,0	37,2	27,6	45,8
● Après dilacération .....	27,6	16,8	22,5	19,6	23,5	18,5	26,1	20,3
Fraction de paille retenue sur tamis de 1,25 mm (%) :								
● En farine .....	8,0	10,7	14,6	26,4	9,6	14,4	9,0	18,6
● Après dilacération .....	2,9	8,9	12,6	14,9	9,6	10,7	14,4	20,3

F\* = diamètre des trous de la filière (en mm).

P\* = taux de paille de l'aliment (en p. 100).

G\* = diamètre des trous de la grille de broyage (en mm).

plus marqué dans les mélanges à paille grossièrement broyée et pour les agglomérés de plus faible diamètre. La variation du taux de compression, ou variation relative de la densité apparente du produit sous l'effet de l'agglomération, est tout à fait comparable à celle de la densité.

Sur la filière à perforations de plus grand diamètre, les produits finement broyés s'agglomèrent mal ; leur friabilité est d'ailleurs très élevée. Une relation étroite existe entre ce dernier critère et le taux de paille de l'aliment ou le diamètre des trous de la filière : 17,5 p. 100 pour les agglomérés de 10 mm contre 40,7 pour ceux de 18 mm, lorsque le taux de paille est limité à 30 p. 100 ; 7,7 contre 18,7 pour des taux de 50 p. 100 de paille.

Les duretés enregistrées pour ces aliments sont en général peu élevées. Elles sont de plus mal définies, l'aggloméré se brisant souvent de façon progressive, sans offrir de maximum bien net de résistance à la rupture. Il est de ce fait difficile de déduire des chiffres obtenus une tendance générale. Dans nos conditions opératoires, seul le taux de paille paraît avoir influé sur la dureté des agglomérés.

La réduction de la taille des particules d'aliment, sous l'action du pressage, est d'autant plus intense que la paille est peu broyée au départ. L'examen microscopique des particules montre que cet effet n'est qu'apparent : nombre de particules sont déjà fragilisées par le broyage, et le pressage ne fait qu'achever la dilacération des fibres pailleuses. Ni le diamètre des trous de la filière, ni le taux de paille de l'aliment ne semblent influencer sur la granulométrie des particules des aliments agglomérés.

## DISCUSSION

D'une manière générale, par rapport aux normes habituelles de l'industrie des aliments composés, les rendements observés lors du pressage des aliments riches en paille sont faibles — 450 à 1 600 kg à l'heure —. La quantité d'énergie consommée par tonne d'aliment fabriquée est élevée, et ce, d'autant plus que le taux de paille est plus important.

En outre, les caractéristiques physiques des produits sont souvent médiocres : la friabilité des agglomérés les plus gros est de loin supérieure à celle enregistrée dans la pratique courante, qui oscille entre 5 et 15 p. 100. Les pertes subies au cours des transports ou des manutentions risquent de ce fait d'être très élevées. La conservation des fibres cellulosiques de l'aliment est mauvaise, en raison de la dilacération des pailles soit au cours du broyage soit durant le pressage même. En revanche, les valeurs de dureté, mesurées peu de temps après la fabrication, nous semblent acceptables. Notre appréciation ne peut cependant être formulée qu'avec une certaine réserve : ces essais d'orientation ont en effet été poursuivis avec un matériel peu adapté à ce type de fabrication.

Sur un plan général, on sait toutefois qu'en raison de la structure hétérogène d'un aliment complet à base de paille broyée, son agglomération implique une adaptation simultanée de la conception des appareils et de la composition de la formule.

La pression est le facteur primordial de l'agglomération, à la fois de façon directe, en provoquant la soudure des aspérités des particules par fusion, et indirecte en

favorisant la répartition des liquides entre les particules, action d'autant plus importante que leur viscosité est plus élevée. Cette force doit s'exercer jusqu'à la limite de rupture des fibres pailleuses, pour obtenir une friabilité minimum de l'aggloméré sans trop accroître sa dureté. Or, cette limite peut être reculée par plusieurs moyens : réglage de la machine, choix de la filière, emploi de fibres résistantes. L'addition de liants permettrait également d'améliorer le rendement, tout en conservant les caractéristiques utiles du produit.

La préparation d'aliments composés riches en fourrages grossiers suppose en fait une modification des circuits de fabrication classiques d'aliments composés, totalement inadaptés à des produits volumineux et hétérogènes. On pourrait, à cet égard, concevoir une chaîne spécialisée comportant un dosage volumétrique des produits celluloses encombants, un mélange très réduit au niveau de la presse, par admission simultanée des substances fibreuses et des aliments farineux préalablement conditionnés à l'eau, à la vapeur ou additionnés de liants. Par ce type de circuit court, la fabrication de produits de qualité convenable pourrait rester compatible avec un débit horaire suffisant, sans que la conception de la presse elle-même en soit fondamentalement modifiée.

## CONCLUSION

Dans nos conditions expérimentales, étant donné l'irrégularité de l'échantillonnage, surtout lorsque le taux de paille est élevé, il est délicat d'opter pour l'un ou l'autre traitement. La filière aux trous de plus faible diamètre et le taux de paille le moins élevé semblent fournir les résultats les plus favorables : en effet, l'énergie nécessaire au broyage et à l'agglomération de quantités élevées de paille et la friabilité notée sur les agglomérés de 18 mm limitent les possibilités d'application pratique de ces variantes, en l'absence de liants appropriés. Par ailleurs, nos résultats ne sauraient en rien préjuger de l'efficacité biologique de ces aliments et de leur valorisation par le traitement technologique, estimées par ailleurs par RÉMOND et JOURNET (1972).

*Reçu pour publication en juin 1972.*

## REMERCIEMENTS

Nous remercions ici le Laboratoire d'Essai et d'Analyse des Aliments (I. N. R. A.) où ont été effectuées les analyses chimiques des matières premières et des aliments.

## SUMMARY

### COMPLETE PELLETED DIETS CONTAINING STRAW AND CEREALS

#### I. — TECHNOLOGICAL STUDY

A preliminary experiment has been carried out to evaluate three factors in the preparation of complete pelleted diets for dairy cows from straw, maize and urea. The factors were : level of straw (30 or 50 p. 100), fineness of grind (5 or 20 mm screen) and diameter of pellets (10 or 18 mm).

Increasing the level of straw in the diet increased the temperature and decreased the moisture content of the pellets as they left the press ; this was associated with an increase in power consumption during the pelleting process. There was a direct relationship between the size and durability of the pellets, and an inverse relationship between the bulk density of the pellets and the level of straw in the diet.

In this experiment, the lowest level of straw and the smallest pellets gave the best mechanical performance : these pellets were of satisfactory durability and hardness. However, the original nature of the fibre could not be maintained during the pelleting process, since even with coarse grinding, the large particles of straw were easily broken down in the pellet mill.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DELORT-LAVAL J., DREVET S., 1970. Méthodes d'appréciation de la dureté des fourrages agglomérés. *Indust. Alim. anim.*, **213**, 43-54.
- DEMARQUILLY C., 1968. Valeur alimentaire des fourrages déshydratés. *Fourrages*, **36**, 45-61.
- GIBSON D., 1969. The development of a complete diet for cattle. *Animal Breeding Research Organisation*. Annual Report, 19-24.
- OWEN J. B., MILLER E. L., BRIDGE P. S., 1971. Complete diets given *ad libitum* to dairy cows : the effect of straw content and of cubing the diet. *J. Agric. Sci. Camb.*, **77**, 195-202.
- PFOST H. B., ALLEN R. M., 1963. A standard method of measuring pellet durability. *Proc. Feed Prod. School*, Kansas City, 12-14 novembre 1963, 25-29.
- RÉMOND B., JOURNET M., 1972. Aliments complets agglomérés à base de paille et de céréales. II. — Digestion et utilisation par les vaches laitières. *Ann. Zootech.* **21** (4) 543-549.
- SCHULTZ R., 1965. Über das Messen der mechanischen Festigkeit von gepressten Mischfutter. *Die Mühle*, **102** (9).
- THOMSON I., 1970. Possibilities for complete pelleted diets for ruminants. *21<sup>e</sup> Réunion ann. F. E. Z.* Budapest.