

# GRANULOMÉTRIE ET NUTRITION DU LAPIN

**Document provisoire  
prévoir en plus au moins la biblio**

**F. LEBAS**

Station de Recherches Cunicoles  
INRA Centre de Toulouse, BP 27  
31326 CASTANET-TOLOSAN Cedex

Le rôle spécifique des particules d'origine alimentaire dans le fonctionnement digestif des lapins et plus particulièrement dans celui de la caecotrophie a été démontré pour la première fois par Björnhag en 1972. Cet auteur a en particulier démontré que lors de la fabrication des crottes dures les particules fines tendent à être séparées de la masse du contenu digestif dans le côlon proximal et à être refoulées vers le cæcum en même temps qu'une partie des liquides et des fractions solubles. Ce mécanisme est permis par des combinaisons d'ondes de contraction sans déplacement apparent (séparation des particules fines et des liquides se plaçant dans les haustrations et maintien des particules grossières au centre de la lumière cæcale) et d'ondes de contraction propulsives péristaltiques et surtout anti-péristaltiques (Bouyssou et al., 1988). Dans le même temps les particules grossières tendent à rester sur place lors du passage de ondes anti-péristaltiques puis à prendre la direction du rectum à l'occasion du passage des ondes péristaltiques.

Selon Björnhag les particules grossières seraient celles restant sur un tamis ayant un vide de maille de 0,3 mm et les particules fines celles passant à travers des mailles de 0,1 mm.

## **I / MESURE DE LA TAILLE DES PARTICULES**

Pour déterminer l'incidence précise de la granulométrie des aliments sur le fonctionnement digestif il est nécessaire de connaître la taille des particules alimentaires. Lorsque l'aliment est distribué en farine, la détermination des différentes fractions par tamisage physique est assez aisée. Par contre la détermination de la taille des particules au sein des granulés a posé des problèmes de méthodologie. En effet les aliments des lapins utilisés pour la production commerciale sont systématiquement agglomérés. Après différents essais, nous avons mis au point une technique de mesure de la proportion des différentes particules contenues dans un granulé après délitement dans l'eau et tamisage en milieu liquide (Lebas et Lamboley, 1999). Cette méthode est relativement bien adaptée au cas du lapin pour la détermination des particules moyennes et grossières (plus de 0,1 mm de diamètre), mais est imparfaite pour les petites particules puisque celles-ci sont confondues avec la fraction soluble des matières alimentaires. Son avantage principal est la simplicité de sa mise en œuvre et la modestie de l'investissement nécessaire, mais elle reste d'une précision modeste (Coefficient de variation moyen de l'ordre de 5%), et en général nous conseillons de faire au moins 4 déterminations par échantillon pour obtenir une valeur moyenne fiable et répétable.

Faute de disposer d'une telle méthode certains auteurs ont étudié le rôle de la granulométrie des aliments sur le fonctionnement digestif en utilisant des aliments non granulés (Robinson et al., 1986). Ceci ne place pas le lapin en condition optimum et surtout peut modifier certains paramètres de la physiologie digestive par rapport à une alimentation "classique" en granulés (Candau et al., 1986). D'autres auteurs ont déterminé le profil granulométrique sur les farines avant de granuler celles-ci (Laplace et Lebas, 1977). Or, à l'occasion de la mise au point de la méthode de détermination de la taille des particules contenues dans un aliment granulé nous avons montré que les profils granulométriques mesurés à sec et en humide sur des farines sont nettement différents (tableau 1), ce qui était

attendu; mais surtout, nous avons souligné le rôle de broyeur joué par la presse à granuler. Cet effet de réduction de la taille des particules est d'autant plus marqué que la proportion de grosses particules est élevé (broyage grossier des matières premières). Il n'en est pas moins vrai qu'il existe une relation étroite entre le profil granulométrique déterminé sur les farines et celui obtenu sur les granulés; mais il ne saurait être question d'utiliser un tamisage des farines pour déterminer une proportion souhaitable de particules les unes par rapport aux autres pour fabriquer ensuite un aliment granulé.

**Tableau 1** : Proportion de particules restant sur les différents tamis lors du tamisage de deux préparations (2 intensités de broyage des matières premières) du même aliment (contenant 25% de paille, 25% de luzerne déshydratée, 31% de blé, 16% de tourteau de soja + minéraux et vitamines) en fonction du mode tamisage et du stade de fabrication (d'après Lebas et Lamboley, 1999). Proportions exprimées en pourcentage de la matière sèche de l'aliment.

Préparation	Broyage fin			Broyage grossier		
	Stade de Fabric.	Farine	Granulé	Farine	Farine	Granulé
Mode tamisage	à Sec	Avec Eau	Avec Eau	à Sec	Avec Eau	Avec Eau
<b>Maille des Tamis</b>						
<b>en m m</b>						
1.000	0,5	0,8	0,4	31,9	33,7	7,6
0.500	18,6	17,3	8,5	25,8	10,5	14,8
0.315	29,1	17,4	14,4	12,9	6,8	10,1
0.100	37,7	16,3	20,3	18,2	9,1	13,4
<0.100 & soluble	16,1	48,2	56,4	11,1	39,8	54,2

Par ailleurs, les différents auteurs n'ont pas tous utilisé la même gamme de tamis pour caractériser les aliments, ce qui peut poser des problèmes d'extrapolation d'une série expérimentale à l'autre.

Cependant, les différents auteurs ayant pris la précaution de modifier les tailles de particules à partir des mêmes aliments en jouant sur les finesses de broyage, nous pouvons estimer que les effets qualitatifs ont été déterminés dans des conditions acceptables pour permettre une analyse globale. Par contre il nous est très difficile de proposer des valeurs quantitatives et donc de proposer ou même suggérer des recommandations quant aux tailles de particules souhaitables ou à leur équilibre.

### III/ EFFETS DE LA TAILLE DES PARTICULES SUR LE FONCTIONNEMENT DIGESTIF DU LAPIN

Deux aliments, l'un à base de pulpes de betteraves (50%) et l'autre à base de luzerne, et broyés grossièrement (grille de broyeur avec des perforations de 4 mm) ou finement (perforations de 1 mm) ont servi de base commune à plusieurs travaux conduits par les équipes toulousaines de l'École Nationale Supérieure Agronomique et de l'École Nationale Vétérinaire au cours des années 80.

La composition sommaire et les caractéristiques granulométriques des 4 aliments est donnée au tableau 2; les aliments sont désignés par les lettres P ou L pour la matière première principale et les chiffres 1 ou 4 pour les grilles de broyage utilisées. Les profils granulométriques ont été déterminés par la méthode de Lebas et Lamboley (1999) en milieu liquide.

**Tableau 2 :** Principales caractéristiques des 4 aliments expérimentaux utilisés par les équipes toulousaine de l'ENSAT et de l'ENVT pour étudier l'incidence de la taille des particules alimentaires sur le fonctionnement digestif du Lapin

Aliments	L1	L4	P1	P4
<b>Composition chimique (%MS)</b>				
- Protéines brutes	16,1	16,2	16,6	16,1
- Cellulose brute	14,9	16,3	12,3	13,1
- NDF	30,6	34,2	37,2	38,1
- ADF	18,5	20,4	17,2	17,8
- ADL	5,5	6,1	3,4	4,3
<b>% Particules restant sur le Tamis à maille (mm)</b>				
- 1,000	4,5	13,1	11,1	16,2
- 0,500	15,6	13,8	20,2	18,7
- 0,315	11,9	9,8	12,3	11,0
- 0,100	15,0	14,4	13,9	12,1
- 0,050	5,4	5,0	5,2	3,4
- Soluble et fines	47,5	43,9	37,4	36,7

**a/ Effet sur la motricité digestive et le transit digestif**

Les travaux de Pairet et al, (1986), n'ont pas montré d'effet de la finesse de mouture sur la motricité antro-duodénale. Par contre, ils ont permis de montrer que la motricité jéjuno-iléale est stimulée par un broyage grossier (Tableau 3). La conséquence de cette situation est un transit plus rapide entre la bouche et l'iléon terminal avec la mouture grossière ( $P < 0,001$ ). Ainsi, la quantité de marqueur de la phase liquide récupérée 50 minutes après son administration par sonde œsophagienne passe de 9,0% avec l'aliment L1 à 14,0% avec L4, ou de 2,5% avec P1 à 6,5% avec P4 (Auvergne et al., 1987)

**Tableau 3:** Effets des 4 régimes sur la motricité jéjuno-iléale et cœcale (d'après Pairet et al, 1986). Enregistrement pendant 6 heures consécutives de 9h00 à 15h00.

	L1	L4	P1	P4	Effet de la mouture
<b>Jéjunum</b>					
-Nbre de CMM (1) en 6h	3,50	4,25	1,50	1,33	ns
<b>Iléon</b>					
- Nbre de CMM en 6 h	3,25	4,00	1,25	1,67	$P < 0,10$
- Activité rapide (%)	34,3	39,7	31,63	38,73	$P < 0,01$
<b>Cæcum</b>					
- Nbre Contractions/ mn	2,22	1,92	1,67	1,46	$P < 0,05$
- Coordination (%) des contractions iléo-cæcale					$P < 0,05$
*Cæcum précédé Iléon	83,2	88,5	51,1	60,7	$P < 0,05$
*Iléon suivi Cæcum	83,7	88,9	55,2	60,2	$P < 0,05$
- % des contractions initiées à une extrémité et se propageant vers l'autre					
base => pointe	85,4	87,5	56,5	67,6	NS
pointe => base	84,2	71,2	42,8	27,1	$P < 0,10$

(1) CMM = Complexes Myoélectriques Migrants

La motricité cœcale est également modifiée par la taille des particules, dans le sens d'une plus forte activité de remplissage du cæcum en présence d'un plus grand nombre de particules grossières (tableau 3).

Les travaux complémentaires de Bouyssou et al. (1988) avec les mêmes 4 aliments ont permis de montrer que le profil électromyographique du côlon est aussi clairement modifié par la finesse de broyage (tableau 4).

**Tableau 4 :** Incidence moyenne de la finesse de mouture sur la motricité du côlon (d'après Bouyssou et al., 1988) Durée des enregistrement : 48 heures consécutives

Répartition des activités myoélectriques	MOUTURE		Probabilité effet Mouture
	Fine (1mm)	Grossière (4mm)	
- % du temps d'enregistrement occupé par une activité électrique	35-40%	15-20%	P < 0,05
<i>Dont</i>			
- type localisé	26%	-	
- type propagé	-	15%	
- % de salves à activité propagée de type			
- anti-péristaltique (=> cæcum)	59%	41%	P < 0,05
- péristaltique (=> rectum)	38%	62%	P < 0,05

il y a un Pb

Ainsi, un broyage fin favorise les ondes de contraction n'entraînant pas de déplacement du contenu (pendant 26% des 24 heures). Pour les contractions entraînant un déplacement du contenu du côlon, une forte proportion de particules fines favorise les contractions anti-péristaltiques (refoulement vers le cæcum). A l'inverse, le broyage grossier favorise l'évacuation du contenu colique vers le rectum.

Compte tenu de ces éléments, un broyage fin entraîne un séjour digestif des aliments plus long qu'un broyage grossier. Ceci avait été montré par exemple par Laplace et Lebas en 1977 (tableau 5), mais sans que soit apportée la preuve du mécanisme.

**Tableau 5 :** Excrétion d'un marqueur, temps de séjour digestif et digestibilité d'un aliment à base de luzerne déshydratée (50%), de blé et de tourteau de tournesol, en fonction de la mouture des aliments avant granulation. (d'après Laplace et Lebas, 1977). La mouture grossière correspond à un broyage de toutes les matières premières avec une grille ayant des perforations de 2,5 mm. La mouture fine correspond au re-broyage de la mouture précédente avec une grille de 0,25 mm. La mouture mixte correspond au broyage le plus fin de la fraction luzerne exclusivement.

	Grossière	Mouture Mixte	Fine
- Digestibilité de la Mat. Sèche (%)	69,7	74,0	77,3
- % de marqueur excrété en 24 h	67,2	57,9	54,3
- % marqueur dans T. Dig. après 3 j.	3,6	7,6	9,7
- Temps moyen de séjour (heures)	24h 02mn	27h 35mn	30h 20mn

Une analyse détaillée du temps de séjour des particules dans le tube digestif a été réalisée par Gidenne en 1993 avec deux aliments contenant un taux modéré (16,9%/MS) ou élevé d'ADF (22,1% /MS), dont les particules avaient été spécifiquement marquées. Les lapins adultes recevaient tous la même quantité d'aliment chaque jour (110 g). Comme attendu des observations de motricité, au sein d'un même aliment, les particules grossières ont un séjour digestif plus court (28,8 h en moyenne) que les particules les plus fines (34,1 h). La différence vient en grande partie du temps de séjour dans les compartiments de mélange comme le cæcum, le côlon et l'estomac (tableau 6).

**Tableau 6** : Temps de séjour digestif des particules de 2 aliments ayant un teneur moyenne (M) ou haute (H) en ADF (d'après Gidenne, 1993)

( + gros => + fin)	Taille des particules				Effet taille. des partic
	S4	S3	S2	S1	
<i>Proportion des particules dans les aliments (%)</i>					
- aliment M	11,1	20,7	11,7	18,4	-
- aliment H	14,4	21,0	12,9	17,4	-
<i>Temps de séjour moyen dans le tube digestif (heures)</i>					
- aliment M	26,0	28,8	28,7	36,6	P=0,020
- aliment H	25,4	27,9	28,9	32,2	
<i>Temps de transit minimum entre la bouche et le rectum (heures)</i>					
- aliment M	9,2	7,3	6,8	8,1	NS
- aliment H	3,9	7,0	7,6	6,1	
<i>% marqueur excrété avant la première phase de caecotrophie (~ en 20 h)</i>					
- aliment M	69,2	65,9	61,4	58,4	P=0,028
- aliment H	64,0	62,9	57,9	60,5	
<i>Temps de séjour dans les compartiments de mélange (heures)</i>					
- aliment M	22,1	23,4	23,5	25,4	P=0,004
- aliment H	19,2	21,5	24,0	26,9	

S4 > 1,0 mm - 1,0 > S3 > 0,50 mm - 0,50 < S2 < 0,315 mm - 0,315 < S1 < 0,05 mm ; tamisage en phase liquide

Des résultats similaires avaient déjà été observés par Uden et Van Soest (1982) et par Sakaguchi et Hume (1990) chez des lapins adultes nourris à volonté.

Dans une autre expérimentation où les parois végétales étaient apportées exclusivement par de la luzerne (Gidenne et al., 1991), les auteurs ont montré que le broyage fin de la luzerne (76,5% de l'aliment) avec une grille de 1 mm au lieu de la grille classique de 3 mm de perforation, entraîne un accroissement net du temps de séjour dans le tube digestif : 19,8 au lieu de 13,9 heures. Cette différence provient quasi exclusivement de l'accroissement du temps de séjour dans la partie terminale du tube digestif (cæcum + côlon) qui passe de 6,9 à 9,4 heures avec le broyage fin (P<0.01). Par contre, le temps de transit entre la bouche et la fin de l'iléon n'est pas modifié de manière significative. Il est intéressant de souligner que le broyage fin n'a permis de modifier ni la digestibilité de la matière organique (59,2 % et 59,2%) ni celle des fibres (Cud NDF de 24,7% contre 26,6 % pour le témoin broyé avec une grille grossière).(Gidenne, 1992).

## **b / Effet de la granulométrie sur la digestibilité des aliments par le lapin**

Nous avons vu (tableau 5) que le broyage très fin (grille de 0,25 mm) pouvait permettre d'améliorer sensiblement la digestibilité de l'aliment, ce qui semble cohérent avec l'accroissement du séjour digestif de l'aliment. Par contre, le broyage avec une grille de 1 mm de perforation au lieu de 3 mm ne modifie ni la digestibilité globale de la ration ni celle des constituants membranaires (Gidenne, 1992). Dans un essai un peu plus ancien Robinson et al.(1986) avaient montré un accroissement faible mais significatif de la digestibilité d'un son de blé après un broyage ne laissant subsister pratiquement aucune particule de plus de 1 mm (tableau 7). Il convient de souligner que dans ce cas également, la digestibilité des fibres n'avait pas été modifiée, ni celle de l'azote d'ailleurs. Dans un autre essai publié la même année (1986) et impliquant 4 formules alimentaires, Lebas et Franck

n'ont observé aucune différence de digestibilité (tableau 8) selon que les matières premières étaient broyées finement (grille de 2 mm) ou grossièrement (grille de 7 mm).

**Tableau 7 : Granulométrie et digestibilité d'un son de blé distribué en l'état ou après broyage (d'après Robinson et al., 1986)**

	Son brut	Son broyé	Effet broyage
<i>Taille des particules (T %)</i>			
T > 1 mm	35.8	0.9	-
1.00 > T > 0.50 mm	41.2	25.0	
0.50 > T > 0.25 mm	17.3	53.3	
0.25 > T > 0.125 mm	3.7	12.8	
T < 0.125	2.0	7.9	
<i>Digestibilité (%)</i>			
- Matière sèche	58.5	59.7	P < 0.05
- Energie	63.2	64.4	P < 0.05
- Azote	76.6	75.6	ns
- ADF	8.1	7.9	ns

**Tableau 8 : Digestibilité de 4 aliments broyés avec des grilles de 2 ou 7 mm (d'après Lebas et Franck, 1986).** En moyenne, avant agglomération, les farines des aliments broyés avec la grille de 2 mm avaient 7% de particules de plus de 1mm et 25% de particules de moins de 0,2mm. Pour le broyage grossier, les proportions étaient dans le même ordre, de 19% et 14%. Les particules intermédiaires étaient représentées dans des proportions équivalentes (67-68%)

Aliments	A2	A7	B2	B7	C2	C7	D2	D7
- % amidon	12%		23%		12%		23%	
- % AD lignine	5.7		5.7		3.3		3.3	
CUDA								
- M Organique	64,7	64,9	62,7	63,2	66,2	68,1	64,8	64,7
- Energie	61,3	63,1	60,2	61,2	64,7	66,4	63,7	63,2
- Azote	69,8	72,1	68,6	68,4	69,8	69,4	67,6	69,3
- NDF	38,9	34,7	15,2	23,0	39,0	46,4	22,0	28,1
- ADF	35,2	33,8	13,7	22,6	32,5	35,0	22,6	19,4

Enfin, dans un autre essai toujours publié en 1986, Lebas et al. n'ont observé aucune différence de digestibilité entre 3 types de broyages appliqués à 2 formules alimentaires (tableau 9). Les matières premières avaient été broyées soit finement (grilles de 3 ou 2 mm selon, les matières premières) soit grossièrement (grilles de 10 ou 7 mm). Pour le broyage "mixte", la luzerne et la paille avaient été broyées avec une grille de 10 et 7 mm respectivement, tandis que les autres matières premières (céréales, son, t. de soja) avaient été broyées avec une grille de 2mm.

**Tableau 9 : Incidence du type de broyage sur la digestibilité moyenne de deux aliments (d'après Lebas et al., 1986).**

	Fin	Broyage Mixte	Grossier	Signification Statistique
% particules > 0,3 mm	25,6	29,0	35,8	
% particules entre 0,1 et 0,3 mm	17,9	17,5	13,9	

% particules < 0,1 mm & Solubles	56,5	53,2	50,3	
CUDa - Matière Organique	62,6	61,5	61,7	ns
CUDa - Energie	61,2	60,3	60,5	ns
CUDa - Azote	71,8	72,2	72,9	ns
CUDa - Cellulose brute	2,9	0,0	2,7	ns

De ces différents essais nous pouvons retenir que le broyage des matières premières modifie peu ou pas la digestibilité des aliments finis, à moins que ce broyage ait été très poussé (grilles de 1 mm ou moins). Mais ces conditions sont rarement rencontrées en milieu industriel. Par contre, ces mêmes broyages fins accroissent de manière significative le temps de séjour des aliments dans le tube digestif, plus particulièrement dans le caecum.

### III/ INCIDENCE DE LA TAILLE DES PARTICULES SUR LES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DES LAPINS

Finalement on dispose d'un nombre de travaux publiés plus faible sur l'incidence de la granulométrie des aliments sur les performances, que sur les paramètres physiologiques.

Dans l'essai rapporté au tableau 9, les auteurs (Lebas et al., 1986), n'ont observé aucune incidence sur les performances d'engraissement ou la viabilité des lapins (tableau 10)

**Tableau 10** : Incidence du type de broyage sur les performances de croissance des lapins (d'après Lebas et al., 1986). (total de 720 lapins suivis du sevrage (à 28 jours) à la fin de l'engraissement (à 77 jours)).

	Broyage			Signification Statistique
	Fin	Mixte	Grossier	
% particules > 0,3 mm	25,6	29,0	35,8	-
% particules entre 0,1 et 0,3 mm	17,9	17,5	13,9	-
% particules < 0,1 mm & Solubles	56,5	53,2	50,3	-
- Gain de poids moyen (g/j)	41,5	40,6	40,6	ns
- Consommation (g/j)	137	133	136	ns
- indice de consommation	3,30	3,28	3,35	ns
- % de mortalité	17,5	18,3	15,8	ns

A l'inverse, Auvergne et al. (1987) observent un accroissement significatif ( $P < 0,10$ ) de l'ingestion des aliments grossiers (+10 g/j) dont les caractéristiques et l'incidence sur le fonctionnement digestif ont été présentées aux tableaux 2 à 5. Étant donné que la finesse de mouture n'a pas entraîné de différence de croissance, l'indice de consommation a été significativement détérioré avec la mouture grossière (+ 0,3 point -  $P < 0,05$ ).

### CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons retenir que dans la limite des grilles de broyeur disponibles dans les usines de fabrication (perforations variant de 2 à 10 mm) les variations de la mouture d'une formule donnée, ont peu d'incidence sur la valorisation ultérieure des aliments granulés par les lapins. Par contre, un broyage fin accroît incontestablement le temps de séjour des aliments dans le tube digestif, ce qui n'est jamais favorable à la santé des animaux.

