



TOURTEAU DE LIN

COPRODUIT D'EXTRACTION DE L'HUILE À PARTIR DE GRAINES DE LIN, LE TOURTEAU DE LIN EST UN ALIMENT RICHE EN ACIDES GRAS POLYINSATURÉS. IL PRÉSENTE UN BON ÉQUILIBRE ÉNERGIE-PROTÉINES.

AUTRES NOMS COMMUNS

Tourteau de lin, graines de lin, lin extrudé



Description

Le tourteau de lin est le coproduit de la production d'huile à partir de graines de lin (*Linum usitatissimum* L.). Les graines de lin sont principalement utilisées pour la production d'huile de lin, qui est utilisée dans les peintures et pour d'autres industries comme la fabrication de linoléum. Les graines de lin et le tourteau de lin ont suscité un intérêt considérable depuis les années 1990 du fait de la présence dans l'huile d'acides gras polyinsaturés (AGPI), notamment d'acide alpha-linolénique (ALA, un acide gras oméga-3)

et d'acide linoléique conjugué (ALC). Ces acides gras sont utilisés en alimentation animale pour modifier le profil en acides gras de la viande, du lait et des œufs, afin d'offrir des avantages pour la santé aux consommateurs. D'autres avantages des produits du lin sont leurs propriétés laxatives et leurs effets favorables sur l'apparence de la peau et des cheveux (Newkirk, 2008 ; Muir et al., 2003). Les graines de lin et l'huile de lin contiennent une grande quantité de lignanes, des composés phénoliques qui agissent comme des phytoestrogènes chez les mammifères et ont des propriétés anti-cancérogènes (Przybylski, 2005).

Procédés de transformation

Les graines de lin sont riches en huile mais leur extraction est difficile et nécessite souvent un double pressage. Les graines sont d'abord hydratées pour minimiser la formation de particules fines, puis passées à travers un ensemble de rouleaux ondulés et lisses qui servent respectivement à les casser puis à les aplatir. Lorsque les graines de lin sont traitées pour la production d'huile alimentaire, l'extraction est effectuée à froid (température de l'huile inférieure à 35°C) et le tourteau de lin qui en résulte contient de grandes quantités d'huile résiduelle (environ 10 %). Lorsque les graines de lin sont traitées pour un usage industriel, les graines hydratées et floconnées sont envoyées dans un cuiseur où elles sont chauffées à 80-100° C pour inacti-

ver les enzymes et faciliter la libération d'huile pendant le pressage. Cette étape supprime également les substances toxiques. Les graines cuites sont transférées à la presse pour extraction mécanique, et le tourteau gras obtenu subit ensuite une extraction au solvant (hexane). Le tourteau extrait au solvant est désolvantisé à 100 °C puis refroidi (Przybylski, 2005).

Le tourteau de lin se présente sous forme de morceaux (flocons) gris foncé de taille variable avec une surface de coupe lisse et légèrement courbée (TIS, 2014). Contrairement à d'autres aliments importants (soja, tournesol et colza), la principale source de tourteau de lin disponible pour l'alimentation du bétail est un tourteau expeller riche en huile plutôt que le tourteau extrait au solvant, moins utilisé (Brunschwig et al., 2010).

Caractéristiques nutritionnelles

Le tourteau de lin est un aliment riche en protéines, contenant environ 30 à 39 % de protéines (base MS). Le tourteau pressé à froid contient un peu moins de protéines que les tourteaux extraits au solvant (34 contre 36 % en moyenne), mais contient plus d'huile résiduelle (6-15 % contre 2-6 %). L'huile est principalement composée d'acides gras polyinsaturés PUFA, C18:3 (54 % des acides gras), C18:1 (19 %) et C18:2 (15 %) (Mayombo et al., 1997 ; Sauvart et al., 2004). Le tourteau de lin est modérément riche en fibres (CB = 8-14 %). Le profil protéique du tourteau de lin est relativement pauvre en lysine (environ 4 % de la protéine).

turés PUFA, C18:3 (54 % des acides gras), C18:1 (19 %) et C18:2 (15 %) (Mayombo et al., 1997 ; Sauvart et al., 2004). Le tourteau de lin est modérément riche en fibres (CB = 8-14 %). Le profil protéique du tourteau de lin est relativement pauvre en lysine (environ 4 % de la protéine).

Tableau 1 : Principaux constituants du tourteau de lin

		H<5%	H>5%
Constituants organiques	Matière sèche (% sur brut)	87,8	91,2
	Protéines brutes (% MS)	36,6	35,3
	Cellulose brute (% MS)	11,1	9,6
	Matières grasses brutes (% MS)	3,9	10,7
	Matières minérales (% MS)	6,5	6,2
	NDF (% MS)	24,8	23,0
	ADF (% MS)	15,5	14,7
	Lignine (% MS)	6,6	6,0
	Amidon (% MS)	9,4	7,3
	Sucres totaux (% MS)	5,1	4,3
	Energie brute (kcal/kg MS)	4 650	4 980
	Minéraux	Calcium (g/kg MS)	4,5
Phosphore (g/kg MS)		9,7	9,0
Magnésium (g/kg MS)		-	5,2
Potassium (g/kg MS)		-	11,3
Sodium (g/kg MS)		1,08	0,69
Manganèse (mg/kg MS)		48	39
Zinc (mg/kg MS)		67	66
Cuivre (mg/kg MS)		21	18
Acides aminés	Alanine (g/kg MS)	17,1	16,5
	Arginine (g/kg MS)	34,2	33,1
	Acide aspartique (g/kg MS)	35,2	34,1
	Cystine (g/kg MS)	6,8	6,5
	Acide glutamique (g/kg MS)	73,2	71,0
	Glycine (g/kg MS)	21,6	20,9
	Histidine (g/kg MS)	9,8	9,4
	Isoleucine (g/kg MS)	15,6	15,2
	Leucine (g/kg MS)	21,8	21,1
	Lysine (g/kg MS)	14,3	13,8
	Méthionine (g/kg MS)	6,8	6,6
	Phénylalanine (g/kg MS)	17,7	17,2
	Proline (g/kg MS)	13,5	13,1
	Sérine (g/kg MS)	17,2	16,7
	Thréonine (g/kg MS)	14,0	13,6
	Tryptophane (g/kg MS)	5,5	5,4
Tyrosine (g/kg MS)	8,8	8,6	
Valine (g/kg MS)	18,6	18,0	

Contraintes potentielles

Glucosides cyanogéniques

Les graines de lin immatures contiennent des substances glucosidiques telles que la linamarine, la linustatine et la néolinustatine. À certaines températures (40-50° C), à certains niveaux d'acidité (pH 2-8) et en présence d'humidité, une enzyme (la linase) libère de l'acide cyanhydrique (HCN). Au cours du processus normal d'extraction d'huile, la température élevée détruit la linase et aucun HCN n'est libéré. Cependant, les graines entières non transformées et les tourteaux de lin traités à basse température peuvent être toxiques pour les animaux (monogastriques notamment), surtout si la graine ou le tourteau est mouillé avant d'être

donné aux animaux (McDonald et al., 2002). Il est alors recommandé de verser les graines dans de l'eau bouillante (plutôt que dans de l'eau froide) et de les amener à ébullition au moins 5 minutes pour rompre le tégument. Ceci permet aux composés producteurs de cyanure de réagir et/ou d'être détruits par la chaleur, et permet l'évaporation de tout le HCN produit. Les graines cuites forment une masse mucilagineuse épaisse (Kohnke et al., 1999). L'extraction avec du trichloréthylène ou du tétrachlorure de carbone détruit les glucosides (Przybylski, 2005).

Antagoniste de la vitamine B6

Les graines de lin contiennent de la linatine, un antagoniste de la vitamine B6 (pyridoxine), à des concentrations allant de 20 à 100 mg/kg. Les symptômes d'une carence en vitamine B6 peuvent être observés chez des poulets de chair

nourris avec des graines de lin, il est donc recommandé de compléter les aliments qui contiennent des graines ou du tourteau de lin avec de la vitamine B6 (Newkirk, 2008).

Mucilage

Les graines de lin contiennent de 2 à 7 % de glucides hydro-solubles, appelés mucilages (mucines), qui interfèrent à la fois avec le traitement et avec la digestion (Przybylski, 2005). Le mucilage absorbe l'eau, augmente la viscosité intestinale et a un effet laxatif. Bien que bénéfique au transit chez l'hu-

main, cet effet peut nuire aux performances des animaux, notamment des jeunes volailles (Alzueta et al., 2003). L'ajout d'enzymes dégradant les fibres et l'introduction progressive des graines de lin dans les rations ont été suggérés pour atténuer ces effets antinutritionnels (Slominski et al., 2006).

Ruminants

Le tourteau de lin est utilisé comme source de protéines chez les ruminants. Il contient une proportion importante de protéines non dégradables dans le rumen (Dixon et al., 2003a ; Frydrych, 1992). En raison de la dégradabilité modérée de ses protéines (55 %), et de son taux de protéine métabolisable (environ 20 % de MS, Sauvart et al., 2004), le tourteau de lin est comparable au tourteau de colza en tant que complément protéique pour les productions animales. Cependant, sa composition en acides aminés est moins intéressante pour les ruminants que celle du tourteau de colza car elle fournit 20 % de moins de méthionine et de lysine

digestibles (Mustafa et al., 2000). La composition en acides gras polyinsaturés du tourteau de lin peut être un moyen d'enrichir la qualité du lait (Brunschiwig et al., 2010) et des produits carnés (Normand et al., 2005). Il faut noter que la bonne réputation du tourteau de lin pour l'alimentation des ruminants n'est pas pleinement justifiée par sa composition. Il se pourrait que la capacité du mucilage à absorber l'eau entraîne une augmentation de l'encombrement avec des temps de rétention plus longs, et une digestion microbienne plus poussée (McDonald et al., 2002).

Bovins

Vaches laitières

Le tourteau de graines de lin est bien apprécié par les vaches laitières (McDonald et al., 2002). Les tourteaux de lin expeller et extraits au solvant peuvent être utilisés jusqu'à 10 %

de la ration (base MS) en tant que compléments protéiques dans des rations à base d'orge ou de concentrés à base de maïs. Le tourteau de lin extrait au solvant ne nuit pas à la

digestion des autres composants de la ration et les paramètres de fermentation ruminale sont similaires à ceux du tourteau de colza, ce qui confirme son utilisation comme substitut du colza ou du tourteau de soja pour les bovins

●● Bovins en croissance

Chez les bovins en croissance et en finition, la supplémentation en tourteau de lin peut atteindre 6 % de la MS ingérée (Normand et al., 2005 ; Dufrasne et al., 1991 ; Gilbery et al., 2010), sans affecter la fonction ruminale. Des taux d'incorporation plus élevés peuvent être offerts avec du tourteau de lin pauvre en matière grasse (2,5 %) : des vaches de réforme de race charolaise nourries avec 4 kg/j de tourteau

laitiers (Khorasani et al., 1994). La présence d'acides gras polyinsaturés favorise la qualité du lait (composante santé), mais elle rend les graisses plus « molles » et aussi plus sensibles au rancissement oxydatif (McDonald et al., 2002).

de lin extrait au solvant (plus de 25 % de la MS ingérée) ont eu un gain quotidien moyen de 1500 g/j, similaire à celui obtenu avec du tourteau de soja. Pour le même poids de carcasse et la même durée d'engraissement, le tourteau de lin favorise le dépôt de graisse plutôt que l'accrétion musculaire, sans modifier la qualité organoleptique de la viande (Dumont et al., 1997).

Ovins

Pour des agneaux en croissance recevant du fourrage de mauvaise qualité, le tourteau de lin utilisé comme complément protéique peut représenter une part importante de la MS ingérée. La supplémentation en tourteau de lin à 13 % de la MS ingérée a donné des gains de poids vif comparables aux suppléments fournissant des hydrates de carbone fermentescibles et de l'azote inorganique (Dixon et al., 2003a ;

Dixon et al., 2003b). La supplémentation avec du tourteau de lin, jusqu'à 300 g/j (soit plus de 40 % de la MS ingérée), d'une ration à base de fanes de fèverole a amélioré l'ingestion et la digestibilité des nutriments, le gain de poids vif, l'efficacité alimentaire et les caractéristiques de la carcasse chez des ovins en croissance (Ermias et al., 2013).

Tableau 2 : Valeurs alimentaires du tourteau de lin destinées aux ruminants

	H<5%	H>5%
UFL Systali (/kg MS)	1,03	1,16
UFV Systali (/kg MS)	0,99	1,14
PDIA Systali (g/kg MS)	135	130
PDI Systali (g/kg MS)	185	180
Balance protéique du rumen (g/kg MS)	115	108
UFL (/kg MS)	0,99	1,11
UFV (/kg MS)	0,94	1,06
PDIA (g/kg MS)	157	152
PDIN (g/kg MS)	261	252
PDIE (g/kg MS)	205	195
Digestibilité de la matière organique (%)	76	77
Digestibilité de l'azote (%)	77	77
Digestibilité intestinale de l'azote (%)	85	85
Dégradabilité théorique de l'azote (k=6%) (%)	57	57

Porc

Le tourteau de lin peut être utilisé comme complément protéique pour les porcs, mais sa teneur en fibres, la présence de facteurs antinutritionnels et sa faible teneur en lysine tendent à en limiter l'utilisation. Chez les porcelets avant sevrage et en régime de démarrage, seuls des taux très faibles (jusqu'à 3 %) sont recommandés (Bowland, 1990 ; Seerley, 1991 ; Chiba, 2001 ; Maddock et al., 2005). Dans une étude, un taux de tourteau de lin incorporé à 15 % dans le régime

n'a eu aucun effet sur les performances des porcs âgés de 6 à 11 semaines (Richter et al., 1997). Il a été suggéré que le tourteau de lin pourrait être utilisé à un taux maximal de 50 % du complément protéique (Seerley, 1991). Parce qu'il est pauvre en lysine, le tourteau de lin devrait être utilisé en combinaison avec des sources de protéines riches en lysine. Il a été rapporté qu'un taux d'incorporation de 5 % réduit l'efficacité alimentaire et l'utilisation de l'énergie digestible

chez les porcs en croissance (Bell et al., 1993). Cependant, le tourteau de lin pourrait être utilisé à des niveaux compris entre 5 et 10 % dans les régimes pour porcs en croissance-finition, à condition que le régime soit équilibré en acides aminés digestibles (Li DeFa et al., 2000). Le mucilage du tourteau de lin est indigeste pour les espèces non ruminantes, mais il permet de retenir une grande quantité d'eau. Ainsi, le tourteau de lin peut avoir un effet laxatif et prévenir la constipation chez les truies lors de la mise-bas (Seerley, 1991).

Il y a un manque de données publiées sur l'utilisation du tourteau de lin pour les truies en gestation et en lactation. Il a été suggéré qu'au moins 10 % pourraient être incorporés dans les régimes pour truies, à condition que les régimes soient correctement équilibrés en lysine (Bowland, 1990). En raison de l'effet « graisse molle », le tourteau de lin expeller n'est pas conseillé comme matière première principale de l'aliment pour porcs

Tableau 3 : Valeurs alimentaires du tourteau de lin destinées aux porcs

	H<5%	H>5%
Energie digestible (porc croissance) (kcal/kg MS)	3 570	3 860
Energie métabolisable (porc croissance) (kcal/kg MS)	3 300	3 590
Energie nette (porc croissance) (kcal/kg MS)	2 110	2 440
Energie digestible (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 710	4 000
Energie métabolisable (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 380	3 680
Energie nette (porc adulte) (kcal/kg MS)	2 200	2 530
Digestibilité de l'énergie (porc croissance) (%)	77	78
Digestibilité fécale de l'azote (porc croissance) (%)	89	90
Digestibilité de l'énergie (porc adulte) (%)	80	80
Digestibilité fécale de l'azote (porc adulte) (%)	91	92



Bien qu'apportant de l'acide linoléique, un acide gras polyinsaturé intéressant pour les volailles car il améliore la qualité des œufs et de la viande, le tourteau de lin est généralement considéré d'assez mauvaise qualité nutritionnelle pour les volailles (Doreau et al., 1997). Il est mal apprécié, potentiellement toxique pour la volaille, et, bien que riche en protéines, déficient en lysine. Il contient des gommesc mucilagineuses indésirables pour les volailles car elles provoquent des fientes collantes et réduisent la digestibilité des aliments ainsi que le taux de croissance des animaux (Alzuetta et al., 2003 ; Kratzer et al., 1996). Pour ces raisons, le tourteau de lin ne devrait pas être utilisé dans les aliments pour poulets de chair à plus de 2,5-5 % et pas à plus de 10 % pour les poules pondeuses (Halle et al., 2013 ; Jerich et al., 2008 ; El Boushy et al., 2000).

Chez les poulettes en croissance, le tourteau de lin expeller a pu remplacer 50 % des protéines fournies par le tourteau de soja (17-18 %) quand la ration était complétementée en méthionine et en pyridoxine (vitamine B6) afin de limiter les effets de la linatine, un antagoniste de la pyridoxine (voir **Contraintes potentielles** ci-dessus) (Wylie et al., 1972).

Des traitements comme l'autoclavage et l'extraction d'eau ont été testés pour réduire les effets indésirables des mucilages. La cuisson à l'eau bouillante s'est avérée efficace pour réduire la teneur en mucilage, et les oiseaux nourris avec du tourteau de lin bouilli (représentant 50-70 % des protéines du régime) ont maintenu leur taux de croissance (Madhusudhan et al., 1986).

Chez les poules pondeuses, des expériences anciennes recommandaient de limiter les tourteaux de lin à moins de 2,5 % (Ewing, 1997). En Allemagne, des essais plus récents ont suggéré qu'il était possible d'incorporer des tourteaux de lin extraits au solvant à 10 ou 15 % du régime afin d'augmenter la teneur en acide linoléique dans les jaunes d'œufs (Jeroch et al., 2008 ; Kirchgessner, 2004 cité par Jeroch et al., 2008). Un taux d'incorporation de 10 % s'est avéré être un bon compromis entre les performances des animaux et la qualité des œufs (Halle et al., 2013).

Tableau 4 : Valeurs alimentaires du tourteau de lin destinées aux volailles

	H<5%	H>5%
Energie métabolisable (coq) (kcal/kg MS)	1 600	1 620
Energie métabolisable (poulet) (kcal/kg MS)	-	-

Heuzé V., Tran G., Nozière P., Lessire M., Lebas F., 2018. Linseed meal. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ

and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/735> Last updated on July 3, 2018, 18:40



- Aitken, F.C. ; King Wilson, W., 1962. Rabbit feeding for meat and fur. CAB Editions. 2nd edition. Farnham Royal UK, 63 pp
- Alzueta, C.; Rodriguez, M. L.; Cutuli, M. T.; Rbolem, A.; Ortiz, L. T.; Centeno, C.; Trevino, J., 2003. Effect of whole and demucilaged linseed in broiler chicken diets on digesta viscosity, nutrient utilization and intestinal microflora. *Br. Poult. Sci.*, 44 (1): 67-74
- Barbour, G. W. ; Sim, J. S., 1991. True metabolizable energy and true amino acid availability in canola and flax products for poultry. *Poult. Sci.*, 70 (10): 2154–2160
- Batterham, E. S. ; Andersen, L. M. ; Baigent, D. R. ; Green, A. G., 1991. Evaluation of meals from Linola™ low-linolenic acid linseed and conventional linseed as protein sources for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 35 (3-4): 181-190
- Bell, J. M. ; Keith, M. O., 1993. Nutritional evaluation of linseed meals from flax with yellow or brown hulls, using mice and pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 43 (1-2): 1-8
- Bergamin, G. T. ; Martinelli, S. G. ; Flora, M. A. L. D. ; Pedron, F. de A. ; Silva, L. P. da ; Radunz Neto, J., 2011. Plant protein sources on common carp feeding. *Ciencia Rural*, 41 (9): 1660-1666
- Borgeson, T. L. ; Racz, V. J. ; Wilkie, D. C. ; White, L. J. ; Drew, M. D., 2006. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult. Nutr.*, 12 (2): 141-149
- Bowland, J. P., 1990. Linseed meal. In: Thacker, P. A.; Kirkwood, R. N. *Nontraditional Feed Sources for Use in Swine Production*. Butterworth Publishers: 213-236
- Bruce, H. M.; Parkes, A. S., 1946. Feeding and breeding of laboratory animals II. Growth and maintenance of rabbits without fresh green food. *J. Hygiene*, 44 (6): 501-507
- Brunschwig, P.; Hurtaud, C.; Chilliard, Y.; Glasser, F., 2010. L'apport de lin dans la ration des vaches laitières : Effets sur la production, la composition du lait et des produits laitiers, les émissions de méthane et les performances de reproduction. *INRA Prod. Anim.*, 23 (4): 307-318
- Chapoutot, P., 1998. Étude de la dégradation in situ des constituants pariétaux des aliments pour ruminants. Thèse Docteur en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris (FRA), 1998/11/17.
- Chiba, L. I., 2001. Proteins supplements. In: A. J. Lewis and L. L. Southern (eds.) *Swine nutrition* (second edition). p 35. CRC Press LLC, Boca Raton London New York Washington, D.C.
- Colin, M. ; Xi, C. ; Prigent, A. Y., 2012. The enrichment of rabbit feeds with long and short chains omega 3 fatty acids: an opportunity for the producer and the consumer. *Cuniculture Magazine*, 39: 33-43
- Cotten, B.; Ragland, D.; Thomson, J. E.; Adeola, O., 2016. Amino acid digestibility of plant protein feed ingredients for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 94 (3): 1073-1082
- Cullis, C. A., 2007. Flax. In: Chittaranjan Kole (Ed.) *Genome mapping and molecular breeding in plants, Volume 2: Oilseeds*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- Dixon, R. M. ; Hosking, B. J. ; Egan, A. R., 2003. Effects of oilseed meal and grain-urea supplements fed infrequently on digestion in sheep. 1. Low quality grass hay diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 110 (1/4): 75-94
- Dixon, R. M. ; Karda, W. ; Hosking, B. J. ; Egan, A. R., 2003. Effects of oilseed meals and grain-urea supplements fed infrequently on digestion in sheep. 2. Cereal straw diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 110 (1/4): 95-110
- Doreau, M. M. ; Chilliard, Y., 1997. Digestion and metabolism of dietary fats in farm animals. *Br. J. Nutr.*, 78 (Suppl. 1): 15-35
- Drew, M. D. ; Borgeson, T. L. ; Thiessen, D. L., 2007. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 138 (2): 118-136
- Dufrasne, I.; Gielen, M.; Istasse, L.; Vaneenaeme, C.; Gabriel, A.; Clinquart, A.; Bienfait, J. M., 1991. Effets de l'incorporation de grains de lin floconnés sur support d'orge chez le taurillon à l'engraissement. *Ann. Zootech.*, 40 (1): 9-18
- Dumont, R.; Roux, M.; Touraille, C.; Agabriel, J.; Micol, D., 1997. Engraissement des vaches de réforme de race Charolaise. Effet d'un apport de tourteau de lin sur les performances d'engraissement et les propriétés physico-chimiques et sensorielles de la viande. *Inra Prod. Anim.*, 10 (2): 163-174
- El Boushy, A. R. Y. ; van der Poel, A. F. B., 2000. *Handbook of poultry feed from waste: processing and use*. Springer-Verlag New York, 428 p.

- El-Saidy, D. M. S. D. ; Gaber, M. M. A., 2003. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquacult. Res.*, 34 (13): 1119-1127
- Ermias, T.; Solomon, M.; Mengistu, U., 2013. The effect of barley bran, linseed meal and their mixes supplementation on the performances, carcass characteristics and economic return of Arsi-Bale sheep. *Small Rumin. Res.*, 114 (1): 35-40
- Ewing, 1997. *The Feeds Directory Vol 1. Commodity Products*. Context Publications, Leicestershire, England.
- FAO, 2013. *FAOSTAT*. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Fekete, S.; Gippert, T., 1986. Digestibility and nutritive value of nineteen important feedstuffs for rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.*, 9: 103-108
- Frydrych, Z., 1992. Intestinal digestibility of rumen undegraded protein of various feeds as estimated by the mobile bag technique. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 37 (1-2): 161-172
- Gaber, M. M., 2006. The effects of plant-protein-based diets supplemented with yucca on growth, digestibility, and chemical composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) fingerlings. *J. World Aquacult. Soc.*, 37 (1): 74-81
- Gaylord, T. G. ; Barrows, F. T. ; Rawles, S. D., 2008. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. World Aquacult. Soc.*, 39 (6): 827-834
- Gaylord, T. G. ; Barrows, F. T. ; Rawles, S. D., 2010. Apparent amino acid availability from feedstuffs in extruded diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquacult. Nutr.*, 16 (4): 400-406
- Giannico, F. ; Colonna, M. A. ; Coluccia, A. ; Crocco, D. ; Vonghia, G. ; Cocca, C. ; Jambrenghi, A. C., 2009. Extruded linseed and linseed oil as alternative to soybean meal and soybean oil in diets for fattening lambs. *Italian J. Anim. Sci.*, 8 (Suppl. 2): 495-497
- Gilbery, T. C.; Lardy, G. P.; Hagberg, D. S.; Bauer, M. L., 2010. Effect of flax grain inclusion on rumen fermentation, digestion, and microbial protein synthesis in growing and finishing diets for beef cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 161 (1-2): 1-8
- Gippert, T., 1980. Utilization of different protein sources in rabbit feeding. 2nd World Rabbit Congress, Barcelona, 2: 193-203
- Göhl, B., 1982. *Les aliments du bétail sous les tropiques*. FAO, Division de Production et Santé Animale, Roma, Italy
- Goulart, F. R. ; Speroni, C. S. ; Lovatto, N. de M. ; Loureiro, B. B. ; Correia, V. ; Radunz Neto, J. ; Silva, L. P. da, 2013. Activity of digestive enzymes and growth parameters of juvenile jundia (*Rhamdia quelen*) fed linseed meal in nature and demucilaged. *Ciencias Agrarias*, 34 (6): 3069-3080
- Halle, I. ; Schöne, F., 2013. Influence of rapeseed cake, linseed cake and hemp seed cake on laying performance of hens and fatty acid composition of egg yolk. *J. Cons. Protect. Food Safety (J. Verbr. Lebensm.)*, 8 (3): 185-193
- Hossain, M. A. ; Nahar, N. ; Kamal, M., 1997. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture*, 151 (1/4): 37-45
- Jeroch, H. ; Jankowski, J.; Schöne, F., 2008. Rapeseed products in the feeding of broiler and laying hens. *Arch. Geflügelkunde*, 72 (2): 49-55
- Khorasani, G. R.; Robinson, P. H.; Kennelly, J. J., 1994. Evaluation of solvent and expeller linseed meals as protein sources for dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 74 (3): 479-485
- Kirchgessner, M., 2004. *Tierernährung, 11. neuarbeitete Auflage*. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main
- Kohnke, J. R. ; Kelleher, F. ; Trevor-Jones, P., 1999. Feeding horses in Australia: A guide for horse owners and managers. RIRDC Publication No. 99/49, RIRDC Project No. UWS-13A
- Kratzer, F. H. ; Vohra, P. , 1996. The use of flaxseed as a poultry feedstuff. *Univ. California, Cooperative Ext., Poultry Fact Sheet N° 21*
- Krishna, L. ; Makkar, H. P. S. ; Sing, B., 1990. Urea utilization by rabbits fed low protein diets II. Pathological studies. *J. Appl. Rabbit Res.*, 13 (3): 83-86
- Lebas, F., 2004. Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, September 7-10, 2004, Puebla, Mexico 2004*
- Lebas, F., 2007. Acides gras en Oméga 3 dans la viande de lapin - Effets de l'alimentation. *Cuniculture Magazine*, 34: 15-20
- Li DeFa; Yi, G. F.; Qiao, S. Y.; Zheng, C. T; Wang, R. J.; Thacker, P.; Piao, X. S.; Han In K. , 2000. Nutritional evaluation of chinese nonconventional protein feedstuffs for growing-finishing pigs - 1. Linseed meal. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 13 (1): 39-45
- Maddock, T. D. ; Anderson, V. L. ; Lardy, G. P., 2005. Using flax in livestock diets. *North Dakota State University Extension Service, Fargo, AS-1283*
- Madhusudhan, K. T. ; Ramesh J. P. ; Ogawua T. ; Sasoka, K. ; Singh, N., 1986. Detoxification of commercial linseed meal for use in broiler rations. *Poult. Sci.*, 65 (1): 164-171
- Mayombo, A. P.; Baldwin, P.; Wathélet, J. P.; Marlier, M.; Istasse, L., 1997. Incorporation de tourteau de colza obtenu par pression dans une ration d'engraissement chez le taurillon. I. Ingestion, digestibilité et fermentation dans le rumen. *Ann. Zootech.*, 46 (1): 57-70
- McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D., 2002. *Animal Nutrition*. 6th Edition. Longman, London and New York. 543 p.
- Mehra, U. R.; Khan, M. Y.; Lal, M.; Hasan, Q. Z.; Das, A.; Har, R.; Verma, A. K.; Dass, R. S.; Singh, P., 2006. Effect of sources of supplementary protein on intake, digestion and efficiency of energy utilization in buffaloes fed wheat straw based diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19 (5): 638-644
- Muir, A. D.; Westcott, N. D., 2003. *Flax - The genus Linum*. Taylor & Francis
- Mukhopadhyay, N. ; Ray, A. K., 2001. Effects of amino acid supplementation on the nutritive quality of fermented linseed meal protein in the diets for rohu, *Labeo rohita*, fingerlings. *J. Appl. Ichthyol.*, 17 (5): 220-226
- Mukhopadhyay, N. ; Ray, A. K., 2005. Effect of fermenta-

- tion on apparent total and nutrient digestibility of linseed, *Linum usitatissimum*, meal in rohu *Labeo rohita*, fingerlings. *Acta Ichthyol. Piscat.*, 35 (2): 73-78
- Mustafa, A. F.; Christensen, D. A.; McKinnon, J. J., 2000. Protein composition and ruminal amino acid degradability of linseed meal. *Can. J. Anim. Sci.*, 80 (4): 745-747
 - Newkirk, R., 2008. Flax feed industry guide. Flax Canada 2015, Winnipeg, Manitoba. 24p
 - Normand, J.; Bastien, D.; Bauchart, D.; Chaigneau, F.; Chesneau, G.; Doreau, M.; Farrié, J.P.; Joulie, A.; Le Pichon, D.; Peyronnet, C.; Quinsac, A.; Renon, J.; Ribaud, D.; Turin, F.; Weill, P., 2005. Produire de la viande bovine enrichie en acides gras polyinsaturés oméga 3 à partir de graines de lin : quelles modalités d'apport du lin, quelles conséquences sur la qualité de la viande ?. *Renc. Rech. Ruminants*, 12: 359-366
 - Pekel, A. Y.; Patterson, P. H.; Hulet, R. M.; Acar, N.; Cravener, T. L.; Dowler, D. B.; Hunter, J. M., 2009. Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens: Live performance and processing yield. *Poult. Sci.*, 88 (11): 2392-1037
 - Pianesso, D.; Lazzari, R.; Mombach, P. I.; Adorian, T. J.; Ucay, J. 3 ; Neto, J. R. 4 ; Emanuelli, T., 2013. Replacement of soybean meal by linseed meal in diets for piava (*Leporinus obtusidens*). *Ciencias Agrarias*, 34 (1): 419-429
 - Poncet, C.; Rémond, D.; Lepage, E.; Doreau, M., 2003. Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants. *Fourrages*, 174: 205-229
 - Przybylski, R., 2005. Flax oil and high linolenic oils. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
 - Richter, G.; Kohler, H., 1997. Suitability of extracted linseed meal for feeding to the suckling pig. *Muhle + Mischfuttertechnik*, 134 (24): 776-777
 - Rogerson, A., 1955. Nutritive values of locally prepared cottonseed and linseed cakes. *E. Afr. Agric. For. J.*, 20 (4): 245-246
 - Sauvant, D.; Perez, J. M.; Tran, G., 2004. Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2ème édition. ISBN 2738011586, 306 p. INRA Editions Versailles
 - Scheelje, R.; Niehaus, H.; Werer, K., 1967. *Kaninchenmast - Zucht und Haltung des Fleischkaninchen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 179 pp.
 - Schlolaut, W.; Lange, L.; Löhle, K.; Löliger H. C.; Rudolph, W., 1995. *The great book of rabbits*. Ed. DLG Verlag Frankfurt am Main: 396 pp.
 - Schlolaut, W., 1995. *The large book about rabbits*. DLG Verlag, Frankfurt am Main: 396 pp.
 - Seerley, R. W., 1991. Major feedstuffs used in swine diets. In: *Swine Nutrition*, Miller, E. R., D. E. Ullrey, and A. J. Lewis, Eds., Butterworth-Heinemann, Boston, 451
 - Singh, B.; Negi, S. S., 1987. Evaluation of peanut, mustard, linseed and cottonseed meals for wool production in Angora rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.*, 10 (1): 30-34
 - Slominski, B. A.; Meng, X.; Campbell, L. D.; Guenter, W.; Jones, O., 2006. The use of enzyme technology for improved energy utilization from full-fat oilseeds. Part II: Flaxseed. *Poult. Sci.*, 85 (6): 1031-1037
 - Szendrő, Zs.; Gerencsér, Zs.; Szabó, A.; Fébel, H.; Szín, M.; Radnai, I.; Dalle Zotte, A.; Matics, Zs., 2012. Effect of supplementation of linseed oil, vitamin E and selenium in diet for growing rabbits on productive and carcass traits. 10th World Rabbit Congress, Sharm El-Sheikh: 881-885
 - Tibbetts, S. M.; Milley, J. E.; Lall, S. P., 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 261 (4): 1314-1327
 - TIS, 2014. Linseed expeller. Transport Information Service from German Marine Insurers
 - Varenne, H.; Rivé, M.; Veigneau, P., 1963. *Guide de l'élevage du lapin - Rentabilité - Médecine*. Librairie Maloine Paris: 408 pp.
 - Wylie, P. W.; Talley, S. M.; Freeman, J. N., 1972. Substitution of linseed and safflower meal for soybean meal in diets of growing pullets. *Poult. Sci.*, 51: 1695-1701

Rédaction : Valérie Heuzé et Gilles Tran (AFZ : Association Française de Zootechnie) - Benoît Rouillé (Institut de l'Élevage)
Conception : Marie-Catherine Leclerc (Institut de l'Élevage) - **Mise en page** : Corinne Maignet (Institut de l'Élevage)
Sources : AFZ et Feedipedia (www.feedipedia.org) - **Crédit photo** : Viktorschauberger - **Réf IE** : 0023 302 024 - Avril 2023