



TOURTEAU DE SOJA

COPRODUIT D'EXTRACTION DE L'HUILE À PARTIR DE GRAINES DE SOJA, LE TOURTEAU DE SOJA EST RICHE EN PROTÉINES MAIS ÉGALEMENT EN ÉNERGIE. IL DEMEURE L'ALIMENT AZOTÉ DE RÉFÉRENCE POUR LES ANIMAUX D'ÉLEVAGE, AUSSI BIEN EN RUMINANTS QU'EN MONOGASTRIQUES.

AUTRES NOMS COMMUNS

Tourteau de soja, tourteau de soja déshuilé, tourteau de soja expeller, tourteau de soja pression, tourteau de soja décortiqué



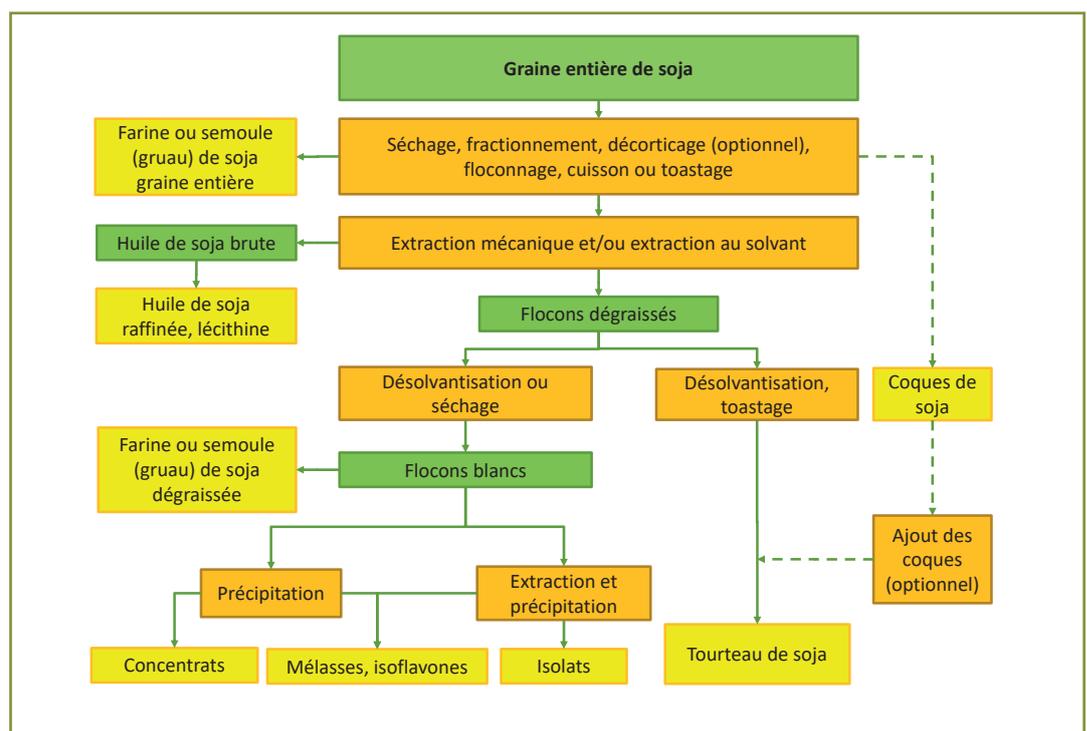
Description

Le tourteau de soja est la principale source de protéines utilisée pour l'alimentation des animaux d'élevage. Il représente les deux tiers de la production mondiale totale de protéines destinées à l'alimentation animale, qui inclut les tourteaux d'oléagineux et la farine de poisson (Oil World, 2015). La valeur nutritive du tourteau de soja est inégalée, dépassant toutes les autres sources de protéines végétales. Il constitue l'aliment de référence pour déterminer la valeur des autres sources de protéines (Cromwell, 1999). Déjà utilisé dans les rations du bétail et des volailles aux États-Unis depuis le milieu des années 1930 (Lewis et al., 2001), la production de soja pour l'alimentation animale a décollé au milieu des années 1970, puis accéléré au début des années 1990 en raison d'une demande croissante des pays en développement. L'expansion de l'aquaculture et les interdictions d'utilisation

de coproduits animaux (farines de viande) ont également contribué à la demande pour cette source de protéines de grande qualité (Steinfeld et al., 2006).

Le tourteau de soja est le coproduit de l'extraction de l'huile de soja. Plusieurs procédés existent, résultant en produits de qualités différentes. Les tourteaux extraits au solvant, qui ont une teneur en huile généralement inférieure à 2%, sont commercialisés en fonction de leur teneur en protéines brutes ou de la somme « protéines + huile », avec deux catégories principales : les tourteaux de soja à « haute teneur en protéines » qui contiennent 49-50 % de protéines + huile et 3 % de cellulose brute, obtenus à partir de graines décortiquées, et les tourteaux à « faible teneur en protéines », contenant 44-46 % de protéines + huile et 6-7 % de cellulose brute, qui contiennent les coques. Il existe également des tourteaux de soja extraits par pression ou pression extrusion seule (notamment les tourteaux issus de l'agriculture biologique, pour lesquels l'utilisation de solvant est interdite), et dont la teneur en huile dépasse 5%.

Figure 1 : schéma du processus de fabrication du tourteau de soja



Distribution

Le tourteau de soja est disponible dans le monde entier. En 2014, la production de tourteau de soja a atteint 190 millions de tonnes et représentait 62,5 % des tourteaux d'oléagineux (FAO, 2016). En 2014, les principaux producteurs étaient la Chine (54 MT), les États-Unis (37 MT), l'Argentine (29 MT), le Brésil (27 MT), et l'UE-28 (10 MT). Les principaux exportateurs étaient l'Argentine et le Brésil (Oil World,

2015). L'UE-28 était le plus gros importateur de tourteau de soja (22 MT), suivie par les pays d'Asie du Sud-Est comme l'Indonésie, la Malaisie, la Thaïlande et les Philippines (Oil World, 2015). Dans l'UE-28, le tourteau de soja représentait 61 % des protéines utilisées en alimentation animale, ce qui représentait 16 % des aliments composés et une quantité de 24 millions de tonnes (Booth, 2015).

Procédés de transformation

Il y a trois façons d'extraire le soja pour en tirer de l'huile et du tourteau. L'extraction par solvant est la méthode la plus couramment utilisée dans le monde. Aux États-Unis, la quasi-totalité du soja produit (99%) est extraite par solvant. Cette méthode extrait efficacement l'huile des grains et ne laisse que 1,5% d'huile résiduelle dans le tourteau. La deuxième méthode consiste à extraire mécaniquement l'huile qui se

trouve dans les flocons de soja, au moyen d'une presse à vis. Cette méthode produit moins d'huile et un tourteau de soja plus riche en huile résiduelle. La troisième méthode combine extrusion et pression des flocons de soja, et n'utilise pas non plus de solvant pour l'extraction d'huile (Johnson et al., 2004).

Extraction par solvant

Lors de l'extraction par solvant, les graines de soja sont cassées, décortiquées (optionnel), chauffées, floconnées puis passent (ou non) à travers un expandeur qui facilite l'extraction de l'huile avec un solvant (de l'hexane, en général). L'utilisation de l'expandeur réduit la quantité de solvant nécessaire. Les flocons extraits sont ensuite séchés pour éliminer le solvant, puis grillés et moulus. Les graines

de soja peuvent avoir été décortiquées avant l'extraction, et les coques peuvent être rajoutées à la fin du processus, les tourteaux de soja les plus riches en protéines étant ceux contenant peu de coques. Le toastage du tourteau de soja après désolvantation augmente sa digestibilité car il élimine l'uréase et les facteurs antitrypsiques (Johnson et al., 2004).

Extraction mécanique

●● Pressage par vis

Lors du procédé mécanique, les graines de soja sont cassées, séchées, chauffées (passées à la vapeur) et introduites dans une presse mécanique (presse à vis). Les flocons qui en sortent sont ensuite séchés, puis broyés. La chaleur générée par le frottement des presses à vis détruit les facteurs antinutritionnels présents dans les graines de soja brutes. Ces tourteaux ont des niveaux d'huile résiduelle plus élevés (plus d'énergie), des teneurs en protéines plus faibles, et des teneurs de protéines by-pass plus élevées. Ils sont éga-

lement plus appétés que d'autres tourteaux d'oléagineux. Ces tourteaux sont particulièrement intéressants pour équilibrer les acides aminés apportés par les rations pour vaches laitières à base de fourrage de luzerne ou de coproduits de maïs (Johnson et al., 2004).

Ces tourteaux peuvent être raffinés en farine de soja et en isolats, qui ont des applications spécifiques en alimentation humaine et animale.

●● Extrusion/pression

Le procédé d'extrusion/pression est une variante de l'extraction mécanique. Les graines de soja sont introduites dans une extrudeuse à sec, sans avoir été préalablement traitées à la vapeur. Après avoir été extrudées à sec, elles passent dans une presse à vis pour extraire l'huile. Ce procédé peut

se faire dans de petites installations, à la ferme, et est particulièrement adapté pour des tourteaux de spécialités tels que les tourteaux labellisés non OGM, agriculture biologique, etc. (Johnson et al., 2004).

Impact environnemental

La haute teneur en phytates du tourteau de soja requiert une supplémentation en phosphore inorganique des animaux monogastriques qui en sont nourris. Le phosphore alimentaire excédant les besoins des animaux est excrété dans l'environnement et devient un polluant (Dilger et al., 2006).

Dans les régimes pour monogastriques, la digestibilité élevée des acides aminés et la haute teneur en lysine du tourteau de soja permettent la formulation de régimes contenant

moins de protéines totales et moins d'azote excédentaire qu'avec les autres sources de protéines, ce qui réduit l'excrétion d'azote dans la biosphère (Pettigrew et al., 2008).

Les tourteaux de soja sont généralement produits en utilisant de l'hexane, un solvant extrêmement inflammable et non bio-renouvelable. L'hexane présente des risques pour la santé et est considéré comme un polluant atmosphérique dangereux par les réglementations (O'Quinn et al., 1997).

Caractéristiques nutritionnelles

Le tourteau de soja est un aliment très apprécié, caractérisé par sa teneur élevée en protéines (de 43 à 53 %) et sa faible teneur en cellulose brute (moins de 3 % pour les tourteaux de soja décortiqués). Il a un très bon équilibre d'acides aminés et contient des quantités élevées de lysine, de tryptophane, de thréonine et d'isoleucine, qui font souvent défaut dans les graines de céréales. Cependant, les concentrations en cystine et méthionine ne sont pas optimales pour les monogastriques, une supplémentation en méthionine est donc nécessaire (McDonald et al., 2002). La digestibilité des acides aminés est également très élevée (plus de 90 % pour la lysine chez le porc et les volailles) (Sauvant et al., 2004).

Le tourteau de soja contient des oligosaccharides tels que le raffinose et le stachyose qui ne peuvent pas être digérés par les monogastriques, en raison de l'absence d'une alpha-galactosidase endogène spécifique. Raffinose et stachyose peuvent provoquer des flatulences et des diarrhées qui risquent d'augmenter le taux de passage des digesta, et ainsi diminuer la digestion et l'absorption des nutriments. Chez les volailles, ces oligosaccharides diminuent l'énergie métaboli-

sable vraie corrigée pour l'azote, la digestion des fibres, et le temps de transit (Parsons et al., 2000 ; Coon et al., 1990 ; Rackis, 1975 et Reddy, 1984 cités par Zuo et al., 1996). Des tourteaux de soja à bas niveau d'oligosaccharides sont maintenant disponibles.

Environ 60 à 70 % du phosphore du tourteau de soja se trouve sous forme d'acide phytique, un composant nutritionnellement indisponible pour les monogastriques, et qui réduit la disponibilité du phosphore et d'autres minéraux (Wilcox et al., 2000). Une supplémentation avec du phosphore inorganique est nécessaire, et l'addition de phytase peut atténuer le problème. Des sojas à faible teneur en phytates sont en cours de développement, mais leur productivité est encore faible (Waldroup et al., 2008).

Le tourteau de soja n'est pas une bonne source de vitamine B, et l'absence d'une supplémentation en vitamine B dans les régimes à base de tourteau de soja peut provoquer des problèmes de reproduction et de performance chez les truies, les porcs âgés et les poules (McDonald et al., 2002).

Tableau 1 : Principaux constituants du tourteau de soja

	T46	T48	T50	T>5%	
Constituants organiques	Matière sèche (% sur brut)	87,7	88,0	87,9	92,5
	Protéines brutes (% MS)	49,6	52,6	55,2	47,2
	Cellulose brute (% MS)	7,2	6,7	4,4	5,9
	NDF (% MS)	14,8	14,2	10,4	13,0
	ADF (% MS)	8,9	8,4	5,6	7,5
	Lignine (% MS)	0,8	0,6	0,4	1,0
	Matières grasses brutes (% MS)	1,9	1,8	1,8	9,0
	Matières grasses hydrolyse (% MS)	-	-	-	-
	Cendres (% MS)	7,4	7,0	7,2	7,2
	Amidon (% MS)	6,8	5,7	6,3	6,5
	Sucres totaux (% MS)	10,6	9,2	10,8	9,3
	Energie brute (kcal/kg MS)	4 660	4 710	4 720	4 990
	Minéraux	Calcium (g/kg MS)	3,9	3,8	3,9
Phosphore (g/kg MS)		7,1	7,0	7,1	7,1
Potassium (g/kg MS)		24,6	23,7	24,0	24,1
Sodium (g/kg MS)		0,09	0,15	0,11	0,11
Magnésium (g/kg MS)		3,3	3,1	3,2	3,2
Manganèse (mg/kg MS)		36	45	47	32
Zinc (mg/kg MS)		41	61	53	34
Cuivre (mg/kg MS)		16	18	18	13
Fer (mg/kg MS)		-	289	203	188
Acides aminés	Alanine (g/kg MS)	21,6	22,9	24,0	20,5
	Arginine (g/kg MS)	36,2	38,4	40,4	34,4
	Acide aspartique (g/kg MS)	55,8	59,3	62,4	52,7
	Cystine (g/kg MS)	7,7	8,3	8,8	7,2
	Acide glutamique (g/kg MS)	88,2	93,8	98,8	83,4
	Glycine (g/kg MS)	20,9	22,0	23,0	19,9
	Histidine (g/kg MS)	13,3	14,1	14,7	12,7
	Isoleucine (g/kg MS)	22,7	24,0	25,2	21,6
	Leucine (g/kg MS)	37,8	40,2	42,3	35,7
	Lysine (g/kg MS)	30,8	32,7	34,4	29,2
	Méthionine (g/kg MS)	7,1	7,5	7,8	6,7
	Phénylalanine (g/kg MS)	25,1	26,6	27,9	23,8
	Proline (g/kg MS)	24,7	26,2	27,5	23,5
	Sérine (g/kg MS)	23,8	24,6	25,4	23,1
	Thréonine (g/kg MS)	19,2	20,1	20,9	18,4
	Tryptophane (g/kg MS)	6,7	7,3	7,7	6,3
Tyrosine (g/kg MS)	17,5	18,5	19,4	16,6	
Valine (g/kg MS)	23,9	25,3	26,6	22,6	

Tableau 2 : Principaux constituants du tourteau de soja pour les monogastriques

	T46	T48	T50	T>5%	
Acides aminés	Alanine (g/16 g N)	4,4	4,3	4,3	4,3
	Arginine (g/16 g N)	7,3	7,1	7,4	7,6
	Acide aspartique (g/16 g N)	11,2	11,2	11,3	11,3
	Cystine (g/16 g N)	1,4	1,4	1,4	1,6
	Acide glutamique (g/16 g N)	17,7	17,6	17,7	17,8
	Glycine (g/16 g N)	4,2	4,2	4,2	4,2
	Histidine (g/16 g N)	2,6	2,5	2,6	2,6
	Isoleucine (g/16 g N)	4,6	4,5	4,6	4,6
	Leucine (g/16 g N)	7,3	7,6	7,5	7,7
	Lysine (g/16 g N)	6,1	6,1	6,1	6,0
	Méthionine (g/16 g N)	1,4	1,3	1,4	1,4
	Phénylalanine (g/16 g N)	5,0	5,1	5,1	5,1
	Proline (g/16 g N)	4,9	4,8	4,9	4,8
	Sérine (g/16 g N)	5,0	5,0	5,0	4,5
	Thréonine (g/16 g N)	3,9	3,9	3,9	3,8
	Tryptophane (g/16 g N)	1,3	1,4	1,3	1,4
	Tyrosine (g/16 g N)	3,5	3,7	3,5	3,6
Valine (g/16 g N)	4,8	4,7	4,8	4,7	

Contraintes potentielles

Variabilité

Le tourteau de soja est un produit très uniforme, et l'une des sources de protéines les moins variables pour l'alimentation des animaux (Smith, 1986). Cependant, la génétique, les conditions de croissance, les conditions de stockage et les procédés utilisés provoquent des variations dans sa composition et sa qualité nutritionnelle. Comme le tourteau de soja

peut être incorporé en grandes quantités dans les rations des animaux d'élevage, de petits changements dans sa qualité peuvent se traduire par des changements importants dans les performances des animaux. Par conséquent, il est nécessaire de suivre sa qualité de très près (van Eys et al., 2004).

Facteurs antinutritionnels

Les graines de soja contiennent des facteurs antinutritionnels. Le tourteau de soja subit habituellement plusieurs traitements thermiques qui détruisent les facteurs antinutritionnels thermolabiles (en particulier les inhibiteurs de trypsine et les lectines), mais il est nécessaire de déterminer si le tourteau a été correctement traité. L'incorporation de tourteau de soja dans des régimes pour poulets de chair (21 jours) contenant de faibles niveaux d'activité anti-trypsique (1,8 mg/g contre 4,8 mg/g) a entraîné une hausse des coefficients de digestibilité de la MS, de l'azote, de l'énergie et des acides aminés (Dourado et al., 2011).

Les traitements sous- et sur-optimaux du tourteau de soja font baisser les gains moyens quotidiens des poulets de chair (Perilla et al., 1997). Chez les porcs, si le tourteau de soja

n'a pas été suffisamment traité pour inactiver les facteurs antinutritionnels, les performances des animaux sont diminuées (Grala et al., 1998). Un chauffage insuffisant (qui peut entraîner une destruction incomplète des facteurs antinutritionnels) est détecté par le test de l'uréase, qui détermine l'activité résiduelle de l'uréase et est un indicateur indirect des inhibiteurs de trypsine. Un sur-chauffage provoque des réactions de Maillard, qui diminuent la concentration et la disponibilité des acides aminés sensibles à la chaleur, et de la lysine en particulier (van Eys et al., 2004). Un sur-chauffage empêche également la dégradation des phytates dans le rumen et conduit à une plus faible disponibilité du phosphore alimentaire (Konishi et al., 1999). Plusieurs méthodes évaluent la surchauffe, notamment la solubilité des proté-

ines à la potasse, l'indice de dispersibilité des protéines (Protein Dispersibility Index, PDI) et l'indice de solubilité de l'azote (Nitrogen Solubility Index, NSI). Des tourteaux de soja correctement traités à la chaleur doivent avoir des valeurs de PDI allant de 15 à 30 %, des solubilités à la potasse de 70

à 85 %, et un indice uréase inférieur ou égal à 0,3 unités de pH. L'activité anti-trypsique résiduelle peut également être directement mesurée par des méthodes de référence, mais la procédure est moins adaptée pour les contrôles qualité de routine (van Eys et al., 2004).

Goitrogènes et oestrogènes

Le tourteau de soja peut contenir des substances goitrogènes. Le tourteau de soja est goitrogène pour les monogastriques, et on a montré qu'il provoquait la naissance de veaux goitreux chez des vaches recevant une ration à

haute teneur en soja comme source principale de protéines (Hemken et al., 1971). Le tourteau de soja contient 1 g/kg de génistéine, qui a des propriétés œstrogéniques (McDonald et al., 2002).

Polysaccharides non amylicés (Non-Starch Polysaccharides : NSP)

L'addition de 40 g/kg de NSP à un aliment commercial pour poulets de chair a diminué les gains de poids, l'efficacité alimentaire et l'énergie métabolisable apparente (EMa) de 28,6, 27,0 et 21,2 %, respectivement (Choct et al., 1995). Les effets antinutritionnels des polysaccharides non amylicés chez les volailles et les porcs pourraient être liés à leurs propriétés physico-chimiques. En particulier, les NSP solubles et visqueux diminuent la digestibilité des protéines, de l'amidon et des graisses (Smits et al., 1996). La teneur du tourteau de soja en NSP est d'environ 61 et 103 g/kg

(base MS) pour les NSP solubles et insolubles, respectivement (Bach Knudsen, 1997). Les NSP augmentent l'activité microbienne (fermentations) et peuvent provoquer des troubles intestinaux. Les oiseaux ne peuvent pas dégrader les α -1:6 galactosides, mais l'ajout d'enzymes pourrait atténuer ce problème (Leeson et al., 2005 ; Zarella et al., 1999). L'addition d'enzymes (xylanase, protéase et amylase) dans l'alimentation des volailles et des porcs est un bon moyen de limiter les problèmes liés aux NSP (Dourado et al., 2011).

Phytates et disponibilité des minéraux

Bien que le tourteau de soja ait une teneur relativement élevée en phosphore, une grande partie de celui-ci est présent sous la forme de phytate, un complexe peu digestible par les monogastriques. La majeure partie du phosphore est donc excrétée dans les fèces, et suscite des inquiétudes croissantes concernant les effets du phosphore sur l'eutrophisation des eaux de surface (Waldroup et al., 2008). Les phy-

tates lient aussi le zinc dont la disponibilité est donc faible dans le tourteau de soja (Blair, 2007). Les porcs recevant du tourteau de soja devraient recevoir 50 mg/kg de zinc, alors que la recommandation est de 18 mg/kg pour les porcs recevant de la caséine (protéine animale) comme source de protéines dans leur régime (NRC, 1998 cité par Blair, 2007).

Tourteau de soja OGM

Les potentiels problèmes de santé liés au soja OGM et à d'autres aliments génétiquement modifiés ont fait l'objet de débats considérables. Alors que la plupart des études ne montrent pas d'effets secondaires délétères liés à l'utilisation de variétés de soja génétiquement modifiées (EFSA

GMO Panel, 2008), ces variétés restent controversées et sont soumises à autorisation légale dans certains pays comme la France. Dans l'UE, seules 15 variétés sont autorisées à l'import pour l'alimentation animale (EU GMO'S Register, 2016).

Le tourteau de soja constitue une part importante des rations pour ruminants en raison de sa grande quantité de protéines dégradables dans le rumen (plus de 60 %), de son bon équilibre en acides aminés et de la haute digestibilité des parois cellulaires (INRA, 1988). Il est très bien apprécié par les rumi-

Bovins

Le tourteau de soja est un aliment de base des rations pour vaches laitières hautes productrices et bovins de boucherie élevés dans les pays développés. Chez les vaches laitières, le tourteau de soja a des effets positifs sur l'ingestion, la production de lait et la teneur du lait en protéines (Rego et al., 2008 ; McDonald et al., 1998 ; Polan et al., 1997 ; Baldwin, 1986). En bouvillons, la supplémentation de rations à base d'herbe par du tourteau de soja a provoqué une plus grande ingestion de fourrage, et amélioré la digestibilité des nutriments (Krysl et al., 1989 ; Guthrie et al., 1988). Chez les veaux de moins de 3 mois, méthionine, lysine et tryptophane sont les 3 premiers acides aminés limitants du tourteau de soja, mais cette carence disparaît au bout de 3 mois (Abe et al., 1999 ; Abe et al., 1998).

Alors que le tourteau de soja est bien dégradé dans le rumen et fournit de l'ammoniac, des acides aminés et des peptides pour la synthèse des protéines microbiennes du rumen, il peut ne pas fournir suffisamment de protéines non dégradées pour répondre aux exigences des animaux très productifs. Ainsi, une importante ligne de recherche a consisté à développer des techniques visant à améliorer la qualité by-pass de la protéine du tourteau de soja dans le rumen. De nombreuses méthodes ont été testées au fil des ans :

- **Procédés thermiques et mécaniques** : chauffage, extrusion, extrusion-pression, diverses combinaisons de chaleur et de pression, etc.
- **Procédés chimiques** : alcool, formaldéhyde, NaOH, NaCl, xylose, tannins, sels de calcium chauffés, bentonite, acides, alcalis, encapsulation avec du sang, de la zéine ou de la graisse (Castro et al., 2008 ; Colmenero et al., 2006 ; Chen KuenJaw et al., 2002 ; Wacyk et al., 2000 ; Atwal et al., 1995 ; Smith, 1986 ; Puigserver et al., 2004).

En France, la principale méthode de protection (« tannage ») a longtemps été le traitement au formol (formaldéhyde), utilisé avec succès depuis la fin des années 1970. Cependant, bien que la sécurité d'usage du formol soit considérée comme bonne dans les pratiques habituelles de l'alimentation animale (Puigserver et al., 2004), les inquiétudes sur sa toxicité et sa cancérogénéicité potentielle font que d'autres méthodes

de tannage sont employées depuis les années 2010 (tannins végétaux, xylose, sucres réducteurs...).

Le remplacement d'une partie du tourteau de soja par des sources d'azote non protéique telles que l'urée a également été largement étudié. Consulter Hadjipanayiotou, 1998 ; Melo et al., 2003 ; Paengkoum et al., 2009 ; Pires et al., 2004 pour des exemples récents de ce type de recherche.

En raison de l'importance du tourteau de soja et de son coût élevé, en particulier dans les pays qui doivent l'importer, on a fait de nombreuses tentatives pour le remplacer par d'autres sources de protéines telles que des tourteaux d'oléagineux (tourteaux de coton, tournesol, colza, arachide), des graines de légumineuses (pois, féveroles, lupins, etc.), des coproduits d'amidonnerie ou de distillerie, des farines de feuilles (luzerne, etc.), des protéines issues d'animaux terrestres (farines de viande et d'os, coproduits avicoles et autres coproduits d'abattoirs), et des farines de poissons. Pour des exemples récents de ce type de recherches où le tourteau de soja a été comparé à une source de protéines de remplacement, consulter Abu-Ghazaleh et al., 2001 ; McDonald et al., 1998 ; Brzoska, 2008 ; Wanapat et al., 2007 ; Froidmont et al., 2004 ; Seoane et al., 1990 ; Veira et al., 1990 ; DelCurto et al., 1990 ; Claypool et al., 1985 ; Ravichandiran et al., 2008 ; Tripathi et al., 2001.

L'intérêt pratique du remplacement du tourteau de soja par une autre source de protéines (ou azote non protéique), ou de l'utilisation d'un procédé technique pour améliorer sa valeur nutritive, est mesuré par une analyse coûts-bénéfices : une source alternative de protéines nutritionnellement inférieure au tourteau de soja peut avoir un prix et une disponibilité qui la rendent économiquement plus intéressante. A l'inverse, un procédé relativement coûteux peut entraîner des performances tellement plus élevées chez les animaux que son coût sera facilement compensé par les gains supplémentaires. Toutefois, les préoccupations concernant les potentielles questions de santé et de sécurité associées au remplacement du tourteau de soja devraient être prises en compte avant de le remplacer.

Ovins

Comme chez les bovins, on a souvent essayé de remplacer le tourteau de soja dans les régimes pour ovins par des sources de protéines moins coûteuses, et disponibles localement. Au cours des dernières années, des produits aussi variés que le tourteau de tournesol (Irshaid et al., 2003), les graines de lin (Giannico et al., 2009), la vesce amère (*Vicia ervilia*) (Haddad, 2006), le tourteau de karanj (Soren et al., 2009), les troncs de bananiers (Mathius et al., 2001), et la

farine de poisson (Aimone et al., 1996 ; Urbaniak, 1995) ont fait leurs preuves d'un point de vue économique dans leurs contextes propres. Chez des brebis en fin de gestation ou en début de lactation, le tourteau de soja, comparé aux sources d'énergie telles que maïs et orge, a donné les mêmes performances que les céréales pour les animaux recevant une ration à base de fourrage de faible qualité (Hill et al., 1995).

Chèvres

Chez les chèvres, un ajout de 1,6 % d'urée à un régime alimentaire à base de tourteau de soja a permis une réduction de 12% du niveau de tourteau (passant de 25 % à 13 % d'incorporation), et a permis de diminuer les coûts alimentaires (Costa et al., 2009). Le tourteau de soja peut également être

remplacé par des farines de viandes ou de volaille sans réduire les performances des animaux, dans les pays où une telle pratique est autorisée (Oyeyemi et al., 2006 ; Sanchez Estrada et al., 2002).

Tableau 3 : Valeurs alimentaires du tourteau de soja destinées aux ruminants

	T 46	T 48	T 50	T > 5 %
Digestibilité de la matière organique (%)	90,0	91,0	91,0	89,0
Digestibilité de l'énergie (%)	-	-	-	-
Energie digestible (kcal/kg MS)	4 220	4 340	4 290	4 470
Energie métabolisable (kcal/kg MS)	3 170	3 220	3 200	3 390
UFL (/kg MS)	1,18	1,2	1,19	1,26
UFV (/kg MS)	1,16	1,18	1,17	1,24
Digestibilité de l'azote (%)	80,0	80,0	80,0	80,0
Dégradabilité théorique de l'azote (k=6%) (%)	63	63	63	63,0
Digestibilité intestinale de l'azote (%)	95	96	95	95
PDIA (g/kg MS)	193	218	205	183
PDIN (g/kg MS)	361	405	383	343
PDIE (g/kg MS)	252	276	264	235

Porcs

Le tourteau de soja est considéré comme la meilleure source de protéines pour l'alimentation des porcs, en raison de sa teneur en acides aminés essentiels hautement digestibles comme la lysine, la thréonine, le tryptophane et l'isoleucine. Le tourteau de soja est un bon complément aux céréales qui contiennent de faibles quantités de ces acides aminés, mais des niveaux plus élevés d'acides aminés soufrés qui sont limitants dans le tourteau de soja, en particulier la méthionine. Les régimes à base de céréales et tourteau de soja sont de ce fait typiques dans les élevages de porcs des pays où le tourteau de soja est abordable (Pettigrew et al., 2008). Le tourteau de soja peut nourrir toutes les catégories de porcs,

et les niveaux d'incorporation généralement utilisés sont d'environ 30 % pour les porcs en croissance/ finition et les truies. Ils sont légèrement plus faibles (20-25 %) chez les porcelets (Ewing, 1997). Cependant, les porcelets récemment sevrés préfèrent les produits lactés déshydratés (lactosérum ou lait écrémé) comme source de protéines (Patience et al., 1995). Le tourteau de soja issu de graines décortiquées est plus riche en énergie de 5 %, et plus riche en lysine de 10 à 15% (Patience et al., 1995). Il a un meilleur taux de conversion alimentaire, et permet de maintenir des performances animales plus élevées que le tourteau de graines non-décortiquées chez tous les porcs, du démarrage à la finition (Swick, 1997).

Tableau 4 : Valeurs alimentaires du tourteau de soja destinées aux porcs

	T 46	T 48	T 50	T > 5 %
Digestibilité de l'énergie (porc croissance) (%)	85,0	88,0	85,0	86,0
Energie digestible (porc croissance) (kcal/kg MS)	3 940	4 140	4 000	4 290
Energie métabolisable (porc croissance) (kcal/kg MS)	3 620	3 780	3 660	3 970
Energie nette (porc croissance) (kcal/kg MS)	2 240	2 350	2 250	2 620
Digestibilité fécale de l'azote (porc croissance) (%)	86,0	90,0	87,0	88,0
Digestibilité de l'énergie (porc adulte) (%)	90,0	92,0	90,0	91,0
Energie digestible (porc adulte) (kcal/kg MS)	4 200	4 350	4 260	4 520
Energie métabolisable (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 820	3 940	3 860	4 160
Energie nette (porc adulte) (kcal/kg MS)	2 400	2 480	2 410	2 770
Digestibilité fécale de l'azote (porc adulte) (%)	89,0	92,0	90,0	91,0



Le tourteau de soja est la source de protéines principale et préférentiellement utilisée pour tous les types de volailles, en raison de la quantité et de la qualité de ses protéines et de ses acides aminés. Un aliment à base de maïs et de tourteau de soja fournit un bon équilibre pour tous les acides aminés essentiels, à l'exception de la méthionine, mais ce problème peut être résolu par l'ajout de méthionine de synthèse (Waldroup et al., 2008). Les niveaux d'incorporation du tourteau de soja varient de 25 % pour les poussins à 30-40 % pour les poulets de chair, les reproducteurs et les pon-

deuses (Willis, 2003 ; McDonald et al., 2002 ; Ewing, 1997). D'autres sources de protéines végétales telles que le tourteau de coton, d'arachide, de tournesol ou de palmiste peuvent remplacer le tourteau de soja partiellement ou totalement dans l'aliment pour volailles, à condition que l'aliment soit aussi supplémenté en lysine. Cependant, certains facteurs antinutritionnels, ainsi que d'autres problèmes potentiels, peuvent limiter l'utilisation de ces sources de protéines alternatives (Elkin, 2002).

Tableau 5 : Valeurs alimentaires du tourteau de soja destinées aux volailles

	T 46	T 48	T 50	T > 5 %
Energie métabolisable (coq) (kcal/kg MS)	2 570	2 730	2 610	3 010
Energie métabolisable (poulet) (kcal/kg MS)	2 530	2 680	2 570	2 890

- Abe, M.; Iriki, T. ; Funaba, M. ; Onda, S., 1998. Limiting amino acids for a corn and soybean meal diet in weaned calves less than three months of age. *J. Anim. Sci.*, 76 (2): 628-636
- Abe, M.; Yamazaki, K. ; Kasahara, K. ; Iriki, T. ; Kuriyama, R. ; Funaba, M., 1999. Absence of limiting amino acids in calves fed a corn and soybean meal diet past three months of age. *J. Anim. Sci.*, 77 (3): 769-779
- Abu-Ghazaleh, A. A.; Schingoethe, D. J.; Hippen, A. R., 2001. Conjugated linoleic acid and other beneficial fatty acids in milk fat from cows fed soybean meal, fish meal, or both. *J. Dairy Sci.*, 84 (8): 1845-1850
- Adedokun, S. A.; Adeola, O.; Parsons, C. M.; Lilburn, M. S.; Applegate, T. J., 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poulters using a nitrogen-free or casein diet. *Poult. Sci.*, 87 (12): 2535-2548
- Ahmed, S.; Khan, M. J.; Shahjalal, M.; Islam, K. M. S., 2002. Effects of feeding urea and soybean meal-treated rice straw on digestibility of feed nutrients and growth performance of bull calves. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 15 (4): 522-527
- Aimone, C. E.; Sanson, D. W.; Riley, M. L.; Rule, D. C., 1996. Performance and carcass components of lambs in a negative energy balance fed soybean meal or fish meal. *Sheep & Goat Res. J.*, 12 (3): 94-98
- Akiyama, D. M., 1991. Soybean meal utilization by marine shrimp. In: Akiyama, D.M., Tan, R.K.H. (Eds.), *Proc. Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*. American Soybean Association, Singapore, pp 207-225
- Amaya, E. A. ; Davis, D. A. ; Rouse, D. B., 2008. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*, 262: 393-401
- Amber, K. ; Abou-Zeid, A. E. ; Osman, M., 2001. Influence of replacing *Nigella sativa* cake for soybean meal on growth performance and caecal microbial activity of weanling New Zealand White rabbits. *Egyptian J. Rabbit Sci.*, 11 (2): 191-206
- Amber, K. ; Ouf, N. M. E. A., 2007. Effect of replacing soybean meal with sunflower meal on reproductive performance of New Zealand white rabbit does. *Egyptian Poult. Sci. J.*, 27 (3): 749-768
- Amber, K., 2002. Effect of substitution of linseed meal for soybean meal on caecotrophy, digestibility and reproductive performance in pregnant and lactating V-line rabbit does. *Egyptian J. Rabbit Sci.*, 12 (1): 95-113
- ASAIM, 2006. *Swine Nutrition and Management*. Technical Report Series, American Soybean Association International Marketing South East Asia, Singapore
- Atwal, A. S. ; Mahadevan, S. ; Wolynetz, M. S. ; Yu, Y. L., 1995. Increased milk production of cows in early lactation fed chemically treated soybean meal. *J. Dairy Sci.*, 78 (3): 595-603
- Bach Knudsen, K. E., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 67 (4): 319-338
- Baeverfjord, G. ; Krogdahl, A., 1996. Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *J. Fish Dis.*, 19: 375-387
- Bakke-McKellep, A. M. ; Froystad, M. K. ; Lilleeng, E. ; Dapra, F. ; Refstie, S. ; Krogdahl, Landsverk, T., 2007. Response to soy: T-cell-like reactivity in the intestine of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Dis.*, 30: 13-25
- Baldwin, A. R., 1986. World Conference on emerging technologies in the fats and oils industry. American Oil Chemists' society
- Blair, R., 2007. *Nutrition and feeding of organic pigs*. Cabi Series, CABI, Wallingford, UK
- Blair, R., 2008. *Nutrition and feeding of organic poultry*. Cabi Series, CABI, Wallingford, UK
- Bohnert, D. W. ; Larson, B. T. ; Bauer, M. L. ; Branco, A. F. ; McLeod, K. R. ; Harmon, D. L. ; Mitchell, G. E. Jr., 1998. Nutritional evaluation of poultry by-product meal as a protein source for ruminants: effects on performance and nutrient flow and disappearance in steers. *J. Anim. Sci.*, 76 (9): 2474-2484
- Booth, A., 2015. FEFAC's approach towards responsible soy. Chair FEFAC Sust. Committee, 25 March 2015
- Brown, P. B. ; Kaushik, S. J. ; Peres, H., 2008. Protein feedstuffs originating from soybeans. In: *Alternative protein sources in aquaculture diets*, (C. Lim, C. Webster & C-S. Lee, Eds), The Haworth Press, Inc, NY, USA, pp. 205-223
- Brzoska, F., 2008. Milk production and composition as influenced by soybean meal, rapeseed meal or rapeseed cake in concentrates for dairy cows. *Annals of Animal Science*, 8 (2): 133-143
- Cabral, L. da S. ; Valadares Filho, S. de C. ; Detmann, E. ; Zervoudakis, J. T. ; Veloso, R. G. ; Nunes, P. M. M., 2004. Digestion rate of protein and carbohydrate fractions for corn silage, tifton-85 bermudagrass hay, elephantgrass silage and soybean meal. *Rev. Bras. Zootec.*, 33 (6): 1573-1580
- Castro, S. I. B. ; Phillip, L. E. ; Lapierre, H. ; Jardon, P. W. ; Berthiaume, R., 2008. The relative merit of ruminal undegradable protein from soybean meal or soluble fiber from beet pulp to improve nitrogen utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 91 (10): 3947-3957
- Chandrasekharaiah, M. ; Sampath, K. T. ; Thulasi, A. ; Anandan, S., 2001. In situ protein degradability of certain feedstuffs in the rumen of cattle. *Indian J. Anim. Sci.*, 71 (3): 261-264
- Chandrasekharaiah, M. ; Sampath, K. T. ; Praveen, U. S. ; Umalatha, 2002. Evaluation of chemical composition and in vitro digestibility of certain commonly used concentrate ingredients and fodder/top feeds in ruminant rations. *Indian J. Dairy Biosci.*, 13 (2): 28-35
- 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.

- Chen KuenJaw; Jan DerFang; Chiou WenShyg [Chiou, W. S. P.]; Yang, DerWei, 2002. Effects of dietary heat extruded soybean meal and protected fat supplement on the production, blood and ruminal characteristics of Holstein cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 15 (6): 821-827
- Choct M.; Hughes, R. J.; Wang, J.; Bedford, M. R.; Morgan, A. J.; Annisson, G., 1995. Feed enzymes eliminate the anti-nutritive effect of non-starch polysaccharides and modify the fermentation in broilers. *Proc. 7th Austr. Poult. Sci. Symp.*, p. 121-125
- Cilliers, S. C.; Sales, J.; Hayes, J. P.; Chwalibog, A.; Du Preez, J. J., 1999. Comparison of metabolisable energy values of different foodstuffs determined in ostriches and poultry. *Br. Poult. Sci.*, 40 (4): 491-494
- Clark, J. H.; Ipharraguerre, I. R., 2001. *Livestock Performance: Feeding Biotech Crops. J. Dairy Sci.*, 84 (suppl.): E9-18
- Claypool, D. W. ; Hoffman, C. H. ; Oldfield, J. E. ; Adams, H. P., 1985. Canola meal, cottonseed, and soybean meals as protein supplements for calves. *J. Dairy Sci.*, 68 (1): 67-70
- Colmenero, J. J. O. ; Broderick, G. A., 2006. Effect of amount and ruminal degradability of soybean meal protein on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89 (5): 1635-1643
- Coon, C. N. ; Leske, K. L. ; Akavanichan, O. ; Cheng, T. K., 1990. Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters. *Poult. Sci.*, 69 (5):787-93
- Costa, R. G. ; Beltrao Filho, E. M. ; Queiroga, R. de C. R. do E. ; Medeiros, A. N. de; Maia, M. de O. ; Cruz, S. E. S. B. S., 2009. Partial replacement of soybean meal by urea on production and milk physicochemical composition in Saanen goats. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, 10 (3): 596-603
- Cromwell, G. L., 1999. Soybean Meal - The «Gold Standard». *The Farmer's Pride, KPPA News*, 11 (20)
- Cromwell, G. L., 2012. Soybean meal - An exceptional protein source. *Soybean Meal InfoCenter, Ankeny, IA*
- Danesh Mesgaran, M. D. ; Jahani-Azizabadi, H. ; Heravi Moussavi, A. R., 2008. Comparison of techniques to determine the ruminal and post ruminal protein disappearance of various oilseed meals. *Res. J. Biol. Sci.*, 3 (9): 1028-1033
- Davila, N. F. P. ; Gomes, A. V. da C. ; Pessoa, M. F. ; Crespi, M. P. L. de; Coll, J. F. de C., 2007. Replacement of soybean meal by cottonseed meal as feed for growing rabbits. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 29 (3): 277-282
- DelCurto, T. ; Cochran, R. C. ; Nagaraja, T. G. ; Corah, L. R. ; Beharka, A. A. ; Vanzant, E. S., 1990. Comparison of soybean meal/sorghum grain, alfalfa hay and dehydrated alfalfa pellets as supplemental protein sources for. *J. Anim. Sci.*, 68 (9): 2901-2915
- Devendra, C. ; Göhl, B. I., 1970. The chemical composition of Caribbean feedingstuffs. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 47 (4): 335
- Dilger, R. N. ; Adeola, O., 2006. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing pigs fed conventional and low-phytate soybean meals. *J. Anim. Sci.*, 84: 627-634
- Dourado, L. R. B.; Pascoal, L. A. F.; Sakomura, N. K.; Costa, F. G. P.; Biagiotti, P., 2011. Soybeans (Glycine max) and soybean products in poultry and swine nutrition. In: Krezhova, D. (Ed.), «Recent trends for enhancing the diversity and quality of soybean products», InTech, October 10, 2011
- 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
- Economides, S., 1998. The nutritive value of sunflower meal and its effects on replacing cereal straw in the diets of lactating ewes and goats. *Livest. Prod. Sci.*, 55: 89-97
- EFSA GMO Panel, 2008. Safety and nutritional assessment of GM plants and derived food and feed: the role of animal feeding trials. *Food Chem. Toxicol.*, 46 (Suppl 1): S2-70
- El-Tohamy, M. M. ; El-Kady, R. I., 2007. Partial replacement of soybean meal with some medicinal plant seed meals and their effect on the performance of rabbits. *Int. J. Agric. Biol.*, 9 (2): 215-219
- Elkin, R. G., 2002. Nutritional components of feedstuffs: a qualitative chemical appraisal of protein. In: *Poultry Feedstuffs Supply, Composition and Nutritive Value*. Editors: McNab, J. and Boorman, N. *Poultry science symposium series ; volume 26*
- Ewing, 1997. *The Feeds Directory Vol 1. Commodity Products*. Context Publications, Leicestershire, England.
- FAO, 2016. *FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*
- Fernández, C. ; Sánchez-Seiquer, P. ; Sánchez, A., 2003. Use of a total mixed ration with three sources of protein as an alternative feeding for dairy goats on Southeast of Spain. *Pakistan J. Nutr.*, 2 (1): 18-24
- Fernández, C. ; Rubert-Alemán, J. ; Sánchez-Séiquer, P., 2004. Effect of two sources of protein on performance in Murciano-Granadina goats during lactation. *Options Méditerranéennes : Série A*, 59: 79-83
- Freeman, S. R. ; Poore, M. H. ; Huntington, G. B. ; Middleton, T. F., 2008. Evaluation of secondary protein nutrients as a substitute for soybean meal in diets for beef steers and meat goats. *J. Anim. Sci.*, 86 (1): 146-158
- Froidmont, E. ; Bartiaux-Thill, N., 2004. Suitability of lupin and pea seeds as a substitute for soybean meal in high-producing dairy cow feed. *Anim. Res.*, 53 (6): 475-487
- Furlan, A. C. ; Fraiha, M. ; Scapinello, C. ; Murakami, A. E. ; Moreira, I., 1997. Soybean meal replacement by protein hydrolyzed cattle hide scrap meal in growing rabbit diets. *Revista UNIMAR* 19 (3): 905-912
- Getachew, G. ; Robinson, P. H. ; DePeters, E. J. ; Taylor, S. J., 2004. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 111: 41-56
- 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
- Grala, W. ; Verstegen, M. W. ; Jansman, A. J. ; Huisman, J. ; van Leeusen, P., 1998. Ileal apparent protein and amino digestibilities and endogenous nitrogen losses in pigs fed soybean and rapeseed products. *J. Anim. Sci.*, 76 (2): 557-568

- Green, S. ; Bertrand, S. L. ; Duron, M. J. C. ; Maillard, R., 1987. Digestibilities of amino acids in soyabean, sunflower and groundnut meals, determined with intact and caecotomised cockerels. *Br. Poult. Sci.*, 28 (4): 643-652
- Green, S. ; Kiener, T., 1989. Digestibilities of nitrogen and amino acids in soya-bean, sunflower, meat and rapeseed meals measured with pigs and poultry. *Anim. Prod.*, 48 (48): 157-179
- Grisdale-Helland, B. ; Ruyter, B. ; Rosenlund, G. ; Obach, A. ; Helland, S. J. ; Sandberg, M. G. ; Standal, H.;Rosjo, C., 2002. Influence of high contents of dietary soybean oil on growth, feed utilization, tissue fatty acid composition, heart histology and standard oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) raised at two temperatures. *Aquaculture*, 207 (3-4): 311-329
- Gupta, N. K. ; Gupta, B. N., 1985. Effect of formaldehyde treatment of various protein meals on the solubility, in vitro ammonia release and degradability in the rumen. *Indian J. Anim. Sci.*, 55 (7): 579-585
- Guthrie, M. J. ; Wagner, D. G., 1988. Influence of protein or grain supplementation and increasing levels of soybean meal on intake, utilization and passage rate of prairie hay in beef steers and heifers. *J. Anim. Sci.*, 66 (6): 1529-1537
- Haddad, S. G., 2006. Bitter vetch grains as a substitute for soybean meal for growing lambs. *Livest. Sci.*, 99 (2-3): 221-225
- Hadjipanayiotou, M., 1998. Partial replacement of soybean meal with urea in diets of lactating Friesian cows offered concentrate mixtures in frequent meals. *Technical Bulletin - Cyprus Agricultural Research Institute (188): 8 pp*
- Hadjipanayiotou, M., 2003. Replacement of soybean meal by narbon beans (*Vicia narbonensis*) in concentrate diets fed to growing and lactating ruminants. *Technical Bulletin - Cyprus Agricultural Research Institute (214): 9 pp*
- Hammond, E. G. ; Johnson, L. A. ; Su Caiping ; Wang Tong ; White, P. J., 2005. Soybean oil. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc*
- Hemken, R. W.; Vandersall, H.; Sass, B. A.; Hibbs, J. W., 1971. Goitrogenic Effects of a Corn Silage-Soybean Meal Supplemented Ration. *J. Dairy Sci.*, 54 (1): 85-88
- Hill, T. M. ; Christen, S. D. ; Davis-Dentici, K., 1995. Effect of supplementing late gestation and lactating ewes receiving low protein grass hay with barley or soybean meal. *J. Sustainable Agriculture*, 7 (2-3): 41-51
- Hoffmann, E. M.; Muetzel, S.; Becker, K., 2003. The fermentation of soybean meal by rumen microbes in vitro reveals different kinetic features for the inactivation and the degradation of trypsin inhibitor protein. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 106 (1/4): 189-197
- INRA, 1988. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Ed. R. Jarrige, INRA, Paris, 471 p.
- Irshaid, R. H. ; Harb, M. Y. ; Titi, H. H., 2003. Replacing soybean meal with sunflower seed meal in the ration of Awassi ewes and lambs. *Small Rumin. Res.*, 50 (1): 109-116
- Izquierdo, M. ; Obach, A. ; Arantzamendi, L. ; Montero, D. ; Robaina, L. ; Rosenlund, G., 2003. Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality. *Aquacult. Nutr.*, 9 (6): 397-407
- Johnson, L.; Smith, K., 2004. Fact sheet: Soybean processing. The Soybean Meal Information Center
- Johri, T. S. ; Agrawal, R. ; Sadagopan, V. R., 1988. Available lysine and methionine contents of some proteinous feeds-tuffs. *Indian J. Anim. Nutr.*, 5 (3): 228-229
- Kamalak, A. ; Canbolat, O. ; Gurbuz, Y. ; Ozay, O., 2005. In situ ruminal dry matter and crude protein degradability of plant- and animal-derived protein sources in Southern Turkey. *Small Rumin. Res.*, 58 (2): 135-141
- Kandylis, K. ; Fegeros, K., 1986. Estimation of effective protein degradability in the rumen of sheep using the nylon bag technique. *World Rev. Anim. Prod.*, 22: 77-80
- Kaushik, S. J. ; Cravedi, J. P. ; Lalles J. P. ; Sumpter J.;Fauconneau, B. ; Laroche, M., 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout. *Aquaculture*, 133: 257-274
- Kaushik, S. J., 2008. Soybean Products in Salmonid diets. In: *Alternative protein sources in aquaculture diets*, (C. Lim, C. Webster & C-S. Lee, Eds), The Haworth Press, Inc, NY, USA, pp. 261-279
- Konishi, C. ; Matsui, T. ; Park, W. ; Yano, H. ; Yano, F., 1999. Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 80 (2): 115-122
- Krysl, L. J. ; Branine, M. E. ; Cheema, A. U. ; Funk, M. A. ; Galyean, M. L., 1989. Influence of soybean meal and sorghum grain supplementation on intake, digesta kinetics, ruminal fermentation, site and extent of digestion and microbial protein synthesis in beef steers grazing blue grama rangeland. *J. Anim. Sci.*, 67 (11): 3040-3051
- 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*
- Leeson, S. ; Summers, J.D., 2005. *Commercial poultry nutrition*. Third Edition, Nottingham University Press
- Lewis, A. J. ; Southern, L. L., 2001. *Swine nutrition*. 2nd edition - CRC Press
- Lim, C.; Ako, H.; Brown, C. L.; Hahn, K., 1997. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Penaeus vannamei* fed different sources of dietary lipid. *Aquaculture*, 151 (1-4): 143-153
- Lowell, T., 1998. *Nutrition and feeding of fish*. Aquaculture Series, Springer, 267 pp
- MacDonald, K. A. ; Penno, J. W. ; Kolver, E. S. ; Carter, W. A. ; Lancaster, J. A., 1998. Balancing pasture and maize silage diets for dairy cows using urea, soybean meal or fishmeal. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 58: 102-105
- Mathius, I. W. ; Yulistiani, D. ; Puastuti, W. ; Martawidjaja, M., 2001. The effect of feeding mixtures of banana trunk and soybean meal on lamb performance. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 6 (3): 141-147
- MacDonald, K. A. ; Penno, J. W. ; Kolver, E. S. ; Carter, W. A. ; Lancaster, J. A., 1998. Balancing pasture and maize silage diets for dairy cows using urea, soybean meal or fishmeal. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 58: 102-105

- McDonald, P.; Edwards, R. A.; Greenhalgh, J. F. D., 2002. *Animal Nutrition*. 6th Edition. Longman, London and New York. 543 p.
- McNab, J. M., 2002. *Poultry Feedstuffs: Supply, Composition and Nutritive Value*. CABI Publishing
- Melo, A. A. S. de; Ferreira, M. de A. ; Veras, A. S. C. ; Iira, M. de A. ; Lima, L. E. de; Vilela, M. da S. ; Melo, E. O. S. de; Araujo, P. R. B., 2003. Partial replacement of soybean meal for urea and forage cactus in lactating cows diets. I. Performance. *Rev. Bras. Zootec.*, 32 (3): 727-736
- Morse, W. J. ; Cartter, J. L., 1952. Soybeans for feed, food and industrial products. USDA, Farmer's Bulletin N° 2038
- Neumark, H., 1970. Personal communication. Volcani Institute of Agricultural Research, Israel
- Newkirk, R., 2010. *Soybean: Feed Industry Guide*. 1st edition, Canadian International Grains Institute
- Nguyen Nhut Xuan Dung; Luu Huu Manh; Udén, P., 2002. Tropical fibre sources for pigs - digestibility, digesta retention and estimation of fibre digestibility in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 102 (1-4): 109-124
- O'Quinn, P. R. ; Knabe, D. A. ; Gregg, E. J. ; Lusas, E. W., 1997. Nutritional value for swine of soybean meal produced by isopropyl alcohol extraction. *J. Anim. Sci.*, 75 (3):714-719
- Oil World, 2015. *Oil World Annual 2015*. ISTA Mielke GmbH, Hamburg
- Olude, O. O. ; Alegbeleye, W. O. A. ; Obasa, S. O., 2008. The use of soaked copra meal as a partial substitute for soybean meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Livest. Res. Rural Dev.*, 20 (10): 169
- Owen, M. K. D., 2009. Herbicide-tolerant genetically modified crops: resistance management. In: *Environmental impact of genetically modified crops*, Eds N. Ferry and A.M.R. Gatehouse, CABI, 432 p
- Oyeyemi, M. O. ; Adetunji, V. O. ; Olubukola, O., 2006. Effects of different planes of meat offals and soybean meal on the morphological characteristics of West African dwarf buck's spermogram. *Veterinarski Arhiv*, 76 (2): 159-165
- Paengkoum, P. ; Bunnakit, K., 2009. Replacement of soybean meal with cassava pulp mixed with urea Gelatinizes (Caspurea) in concentrate diets of beef cattle. *Agricultural Journal*, 4 (5): 242-249
- Parsons, C. M. ; Potter, L. M. ; Brown, R. D., 1981. True metabolizable energy and amino acid digestibility of dehulled soybean meal. *Poult. Sci.*, 60 (12): 2687-2696
- Parsons, C. M. ; Hashimoto, K. ; Wedekind, K. J. ; Baker, D. H., 1991. Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. *J. Anim. Sci.*, 69 (7): 2918-2924
- Parsons, C. M. ; Zhang, Y. ; Araba, M., 2000. Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content. *Poult. Sci.*, 79:1127-1131
- Patience, J. F. ; Thacker, P. A. ; de Lange, C. F. M., 1995. *Swine Nutrition Guide*. 2nd Edition. Prairie Swine Centre Inc. Saskatoon, Canada
- Perilla, N. S. ; Cruz, M. P. ; de Belalcázar, F. ; Diaz, G. J., 1997. Effect of temperature of wet extrusion on the nutritional value of full-fat soybeans for broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 38 (4): 412-416
- Pettigrew, J. E. ; Soltwedel, K. T.,; Miguel, J. C. ; Palacios, M. F., 2008. Fact sheet - Soybean Use - Swine. Soybean Meal Information Center
- Phuong Ha Truong ; Anderson, A. J. ; Mather, P. B. ; Paterson, B. D. ; Richardson, N. A., 2009. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets formulated for the sub-adult mud crab, *Scylla paramamosain*, in Vietnam. *Aquacult. Res.*, 40 (3): 322-328
- Pires, A. V. ; Oliveira Junior, R. C. de; Fernandes, J. J. de R. ; Susin, I. ; Santos, F. A. P. ; Araujo, R. C. de; Goulart, R. C. D., 2004. Total replacement of soybean meal by urea or starea in high grain diets for beef cattle. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39 (9): 937-942
- Polan, C. E. ; Cozzi, G. ; Berzaghi, P. ; Andrighetto, I., 1997. A blend of animal and cereal protein or fish meal as partial replacement for soybean meal in the diets of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 80 (1): 160-166
- Puigserver, A. ; Andrieu, J. P. ; Bories, G. ; Paragon, B. M. ; Warnet, J. M. ; Valentin, S., 2004. Risk assessment of the utilisation of formaldehyde in animal feeding. AFSSA, Janvier 2004, 25 p.
- Rackis, J. J.; Wolf, W. J.; Baker, E. C. , 1986. Protease inhibitors in plant foods: content and inactivation. In: *Nutritional and toxicological significance of enzyme inhibitors in foods*, Mendel Friedman Plenum Publishing Corporation
- Ravichandiran, S. ; Sharma, K. ; Narayan Dutta; Pattanaik, A. K. ; Chauhan, J. S. ; Abha Agnihotri; Arvind Kumar, 2008. Performance of crossbred calves on supplements containing soybean meal or rapeseed-mustard cake with varying glucosinolate levels. *Indian J. Anim. Sci.*, 78 (1): 85-90
- Reddy, V. R. ; Eshwariah, 1989. Effect of graded replacement of fish meal with vegetable proteins in broiler starter rations. *Indian J. Anim. Nutr.*, 6 (2): 166-168
- Rego, O. A. ; Regalo, S. M. M. ; Rosa, H. J. D. ; Alves, S. P. ; Borba, A. E. S. ; Bessa, R. J. B. ; Cabrita, A. R. J. ; Fonseca, A. J. M., 2008. Effects of grass silage and soybean meal supplementation on milk production and milk fatty acid profiles of grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 91 (7): 2736-2743
- Regost, C. ; Arzel, J. ; Robin, J. ; Rosenlund, G. ; Kaushik, S. J., 2003. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) - 1. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. *Aquaculture*, 217 (1-4): 465-482
- Rhee, K. C., 2008. Effects of processing on nutrient content of soybean meal. Food Protein Research and Development Center, Texas A&M University
- Sanchez Estrada, A. ; Ayala Burgos, A. J., 2002. Intake, digestibility, N-balance and milk yield in creole goats fed with maize stover and supplemented with soybean meal or poultry meal. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, 1 (1): 34-35
- 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
- Sauveur, B., 1989. Phytic phosphorus and phytases in poultry nutrition. *Inra Prod. Anim.*, 2 (5): 343-351
- Seker, E., 2002. The determination of the energy values of some ruminant feeds by using digestibility trial and gas

- test. *Revue Med. Vet.*, 153 (5): 323-328
- Seoane, J. R. ; Christen, A. M. ; Dion, S., 1990. Intake and digestibility in steers fed grass hay supplemented with corn or barley and fish meal or soybean meal. *Can. J. Anim. Sci.*, 70 (3): 921-926
 - Silva, L. das D. F. da; Ezequiel, J. M. B. ; Azevedo, P. S. de; Barbosa, J. C. ; Cattelan, J. W. ; Resende, F. D. de; Seixas, J. R. C. ; Carmo, F. R. G. do, 1999. In situ degradability of dry matter, organic matter and crude protein of some feeds in crossbred steers. *Semina (Londrina)*, 20 (1): 25-30
 - Silva, H. G. de O. ; Pires, A. J. V. ; Silva, F. F. da ; Veloso, C. M. ; Carvalho, G. G. P. de ; Cezario, A. S. ; Santos, C. C., 2005. Effects of feeding cocoa meal (*Theobroma cacao* L.) and palm kernel cake (*Elaeis guineensis*, Jacq) on milk intake and yield for lactating goats. *Rev. Bras. Zootec.*, 34 (5): 1786-1794
 - Smith, K., 1986. Advances in feeding soybean products. In: World Conference on emerging technologies in the fats and oils industry. Ed: Baldwin A.R., American Oil Chemists' society
 - Smits, C. H. M.; Annison, G., 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition - towards a physiologically valid approach to their determination. *World's Poult. Sci. J.*, 52: 203-221
 - Soren, N. M.; Sastry, V. R. B.; Saha, S. K.; Wankhade, U. D.; Lade, M. H.; Kumar, A., 2009. Performance of growing lambs fed processed karanj (*Pongamia glabra*) oil seed cake as partial protein supplement to soybean meal. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 93 (2): 237-244
 - Souza, J. R. S. T. de ; Camarao, A. P. ; Rego, L. C., 2000. Ruminal degradability of dry matter and crude protein of agroindustry, fish and slaughterhouse byproducts in goats. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.*, 37 (2):
 - Steinfeld, H. ; Gerber, P. ; Wassenaar, T. ; Castel, V. ; Rosales, M. ; de Haan, C., 2006. *Livestock's long shadow*, FAO, Rome 2006
 - Swick, R. A., 1997. Update on the use of soybean meal for growing pigs. American Soybean Association - Technical Bulletin SW12
 - 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
 - Tidwell, J. H. ; Webster, C. D. ; Yancey, D. H. ; D'Abramo, L. R., 1993. Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and distillers' by-products in diets for pond culture of the freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture*, 118: 119-130
 - Tripathi, M. K. ; Agrawal, I. S. ; Sharma, S. D. ; Mishra, D. P., 2001. Effect of substitution of soybean meal with treated or untreated high glucosinolate mustard (*Brassica juncea*) meal on intake, digestibility, growth performance and body composition of calves. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 94 (3-4): 137-146
 - Urbaniak, M., 1995. Effects of blood meal, fish meal, soybean meal or casein on rumen protein metabolism in lambs. *Small Rumin. Res.*, 18 (3): 207-212
 - van Eys, J. E.; Offner, A.; Back, A., 2004. Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. American soybean association
 - van Kempen T. A. T. G. ; van Heugten, E. ; Moeser, A. J. ; Muley, N. S. ; Sewalt, V. J., 2006. Selecting soybean meal characteristics preferred for swine nutrition.. *J. Anim. Sci.*, 84 (6):1387-1395
 - Veira, D. M. ; Proulx, J. G. ; Seoane, J. R., 1990. Performance of beef steers fed grass silage with or without supplements of soybean meal, fish meal and barley. *Can. J. Anim. Sci.*, 70 (1): 313-317
 - Wacyk, J. ; Gonzalez, H. ; Manterola, H. ; Cerda, D. ; Mira, J., 2000. Effects of formaldehyde treated soybean meal inclusion, on crude protein degradability, ruminal parameters and milk production in dairy cows. *Avances en Production Animal*, 25 (1-2): 141-150
 - Waldroup, P. W. ; Smith, K., 2008. Fact Sheet - Soybean Use - Poultry. Soybean Meal Information Center
 - Walker, C. A., 1975. Personal communication. Central Research Station, Mazabuka, N. Rhodesia
 - Wanapat, M. ; Promkot, C. ; Wanapat, S. ; Rowlinson, P., 2007. Supplementation of cassava hay as a protein replacement for soybean meal in concentrate supplement for dairy cows. *Indian J. Anim. Sci.*, 77 (12): 1312-1315
 - Wilcox, J. R. ; Premachandra, G. S. ; Young, K. A. ; Raboy, V., 2000. Isolation of high seed inorganic P, low-phytate soybean mutants. *Crop Science*, 40: 1601-1605
 - Willis, S., 2003. The use of soybean meal and full-fat soybean meal by the animal feed industry. 12th Australian Soybean Conference
 - Wiryawan, K. G. ; Dingle, J. G. ; Kumar, A. ; Gaughan, J. B. ; Young, B. A., 1995. True metabolisable energy content of grain legumes : effects of enzyme supplementation. In: Rowe, J.B., Nolan, J.V. (Eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. University of New England, Armidale. p. 196
 - Woods, V. B. ; O'Mara, F. P. ; Moloney, A. P, 2003. The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals. Part I: In situ ruminal degradability of dry matter and organic matter. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 110 (1/4): 111-130
 - Zanella, I.; Sakomura, N. K.; Silverside, F. G., 1999. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. *Poult. Sci.*, 78 (4): 561-568
 - Zuo, Y. ; Fahey, G. C. ; Merchen, N. R. ; Bajjalieh, N. L., 1996. Digestion responses to low oligosaccharide soybean meal by ileally-cannulated dogs. *J. Anim. Sci.*, 74 (10): 2441-2449

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 Maigret (Institut de l'Élevage)
Sources : AFZ et Feedipedia (www.feedipedia.org) - **Crédit photo** : Gilles Tran/AFZ - **Réf IE** : 0023 302 029 - Avril 2023