

CORN GLUTEN FEED



LE CORN GLUTEN FEED, COPRODUIT DE L'AMIDONNERIE DU MAÏS, EST VALORISÉ SOUS FORME HUMIDE ET SOUS FORME SÈCHE. LA COMPOSITION CHIMIQUE DU CORN GLUTEN FEED EST VARIABLE EN FONCTION DU PROCESSUS DE FABRICATION.

AUTRES NOMS COMMUNS

Corn gluten feed, corn gluten feed déshydraté, corn gluten feed humide



Description

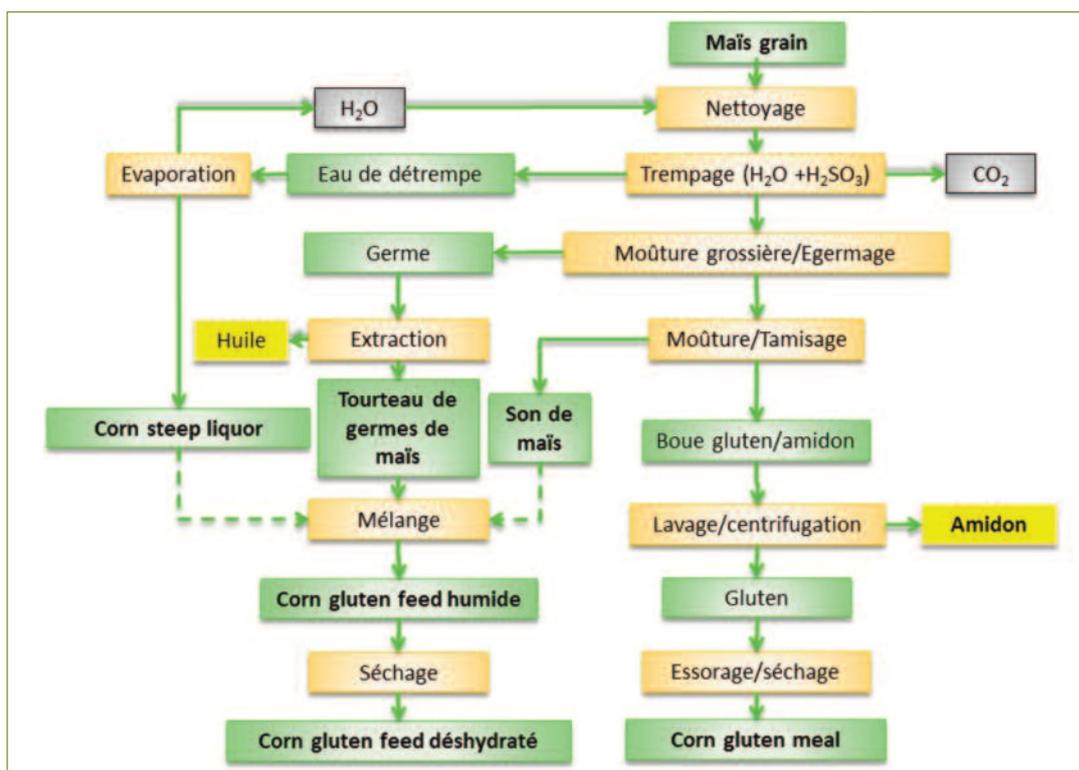
Le corn gluten feed est un coproduit de l'amidonnerie de maïs (*Zea mays* L.) ou de la production de bio-carburants à partir du maïs par voie humide (Hoffman *et al.*, 2010). Le corn gluten feed se compose principalement de son de maïs et des eaux de trempe, mais il peut également contenir des solubles de distillerie, du tourteau de germes, des brisures et criblures de maïs, ainsi que de petites quantités d'autres coproduits du processus de fermentation (Stock *et al.*, 1999). La composition chimique du corn gluten feed varie énormément, car elle dépend du processus de broyage et des proportions relatives de son, d'eaux de trempe et d'autres composants. En particulier, l'énergie et la teneur en protéines du corn gluten feed sont positivement corrélées à la proportion d'eaux de trempe dans le mélange (Stock *et al.*, 1999). Le corn gluten feed est un produit différent du corn gluten meal, un autre

coproduit de l'amidonnerie du maïs par voie humide, qui est beaucoup plus riche en protéines.

Le corn gluten feed est une matière première principalement utilisée dans les rations pour bovins en tant que source d'énergie et de protéines. Sa valeur économique dépend du prix relatif des céréales et des sources de protéines. Aux États-Unis, il est généralement considéré comme une source de protéines (Ash, 1992). A la fin des années 1980, le corn gluten feed faisait partie des matières premières détaxées que l'industrie de l'alimentation animale européenne importait massivement des États-Unis en tant que source d'énergie, pour se substituer aux céréales européennes alors très onéreuses. Ces importations de corn gluten feed ont diminué après la réforme de la Politique Agricole Commune qui a abouti à une réduction du prix des céréales dans l'UE (Ash, 1992 ; Hasha, 2002).

Le corn gluten feed est habituellement vendu sous forme déshydratée, mais les transformateurs de maïs peuvent économiser sur les coûts de séchage en le vendant sous forme humide.

Figure 1 : schéma du processus de fabrication de l'amidon



Distribution

Le corn gluten feed déshydraté est une matière première commercialisée dans le monde entier. La production de corn gluten feed et de corn gluten meal est relativement constante depuis que l'éthanol est surtout produit par voie sèche (RFA, 2008). La consommation combinée de corn gluten feed et de corn gluten meal était de 14,9 millions de tonnes entre octobre 2010 et septembre 2011. Les principaux consommateurs de ces deux produits sont les États-Unis (5,6 millions de tonnes), l'UE-27 (3 millions de tonnes), la Corée du Sud (1 million de tonnes), le Japon (0,94 million de tonnes)

et d'autres pays d'Asie (1,6 million de tonnes). Les États-Unis fournissent 60% (2,1 sur 3,5 millions de tonnes) du corn gluten feed commercialisé dans le monde entier. Les principaux importateurs en 2010-2011 étaient l'Union Européenne, la Corée du Sud, la Turquie, la Chine, le Japon, Israël, l'Égypte et l'Indonésie (Oil World, 2011). Contrairement au corn gluten feed déshydraté, le corn gluten feed humide est rapidement périssable et doit être consommé à proximité des usines de transformation du maïs.

Processus industriel

Stockage du corn gluten feed humide

Le corn gluten feed humide se dégrade très rapidement et doit être utilisé dans les 6-10 jours à moins qu'il ne soit stocké dans des conditions anaérobies dans une structure étanche (Iowa RFA, 2011). De bons résultats ont été obtenus par mélange avec d'autres aliments comme le maïs grain, l'ensilage de maïs ou de l'ensilage préfané. Le corn gluten feed humide subit peu de fermentation apparente en raison de son pH relativement faible (4,3). L'utilisation de silo souple (silo boudin) est conseillée : du corn gluten feed humide

conservé dans ce type de silo peut maintenir sa qualité pendant 1 an. Dans les climats froids, les basses températures ($< 0^{\circ}\text{C}$) allongent la durée de conservation du corn gluten feed humide, et il est même possible de le stocker à même le sol en hiver pendant trois à quatre semaines, comme cela a été testé aux États-Unis. En revanche, des températures estivales élevées réduisent la durée de conservation à seulement 3-4 jours, provoquant des problèmes de palatabilité (Schroeder, 2010).

Contraintes potentielles

Le dioxyde de soufre (SO_2) ajouté au cours du broyage afin d'aider à l'extraction de l'amidon fait que la concentration de soufre dans le corn gluten feed est comprise entre 0,33 et 0,73% de MS, ce qui peut dépasser la limite supérieure de sécurité chez les bovins. Un taux important de corn gluten feed dans la ration peut causer une intoxication au soufre

dont les effets vont de la perte d'appétit à la mort. L'excès de soufre est aussi susceptible de provoquer une polioencéphalomalacie affectant le système nerveux, avec pour effets la cécité, des mouvements non coordonnés et des convulsions. L'excès de soufre augmente aussi le risque de carence en cuivre (Myer *et al.*, 2011).

Attributs nutritionnels

Le corn gluten feed est une matière première importante dans l'alimentation des ruminants, en particulier pour les bovins laitiers. Le corn gluten feed humide contient 40 à 60% de MS (Stock *et al.*, 1999) tandis que le produit sec contient environ 88% de MS. Le corn gluten feed est une bonne source de protéines : il contient environ 20-25% de protéines (sur MS),

soit plus que les céréales et les issues de meuneries, mais moins que le corn gluten meal, les drêches de distillerie et les tourteaux d'oléagineux. Le corn gluten feed est beaucoup plus riche en fibres que le maïs grain (cellulose brute 6-10% MS, NDF 31-49% MS, ADF 8-13% MS et faible teneur en lignine d'environ 1,2% MS), ce qui tend à limiter son utilisation en

porc et en volaille. La teneur en lipides est généralement inférieure à 4% MS. Le corn gluten feed contient des quantités relativement élevées et très variables d'amidon résiduel, allant de 11 à plus de 30% MS. La teneur en cendres est également importante (environ 7% MS).

La composition et la valeur nutritionnelle du corn gluten feed dépendent de la proportion d'eaux de trempage, plus riches en énergie et en protéines que le son et dont le rapport au son de maïs varie de 1/3 à 2/3 (Scott *et al.*, 1997 ; Schroeder, 2010). La couleur du corn gluten feed varie du brun-jaune clair au brun foncé, en fonction de la quantité d'eaux de trempage,

de la durée et de la température de déshydratation. Le corn gluten feed devient généralement plus sombre quand cette température ou cette durée augmente. Un corn gluten feed très sombre avec une odeur de brûlé est sans doute endommagé par la chaleur et la digestibilité de ses protéines est réduite (Schroeder, 2010 ; Myer *et al.*, 2011).

Le corn gluten feed est pauvre en calcium, mais contient des niveaux relativement élevés de phosphore et de potassium (Maiga *et al.*, 1997). Le problème de l'excès de soufre pour les bovins est décrit dans les **Contraintes potentielles**.

Tableau 1 : Principaux constituants du corn gluten feed

Constituants organiques	Matière sèche (% sur brut)	87,8
	Protéines brutes (% MS)	21,5
	Cellulose brute (% MS)	9,0
	NDF (% MS)	39,8
	ADF (% MS)	10,6
	Lignine (% MS)	1,3
	Matières grasses brutes (% MS)	2,8
	Matières grasses hydrolyse (% MS)	4,1
	Cendres (% MS)	6,9
	Amidon (% MS)	20,5
	Sucres totaux (% MS)	1,9
	Energie brute (kcal/kg MS)	4 460
Minéraux	Calcium (g/kg MS)	1,6
	Phosphore (g/kg MS)	10,1
	Potassium (g/kg MS)	15,3
	Sodium (g/kg MS)	3,5
	Magnésium (g/kg MS)	4,2
	Manganèse (mg/kg MS)	22
	Zinc (mg/kg MS)	64
	Cuivre (mg/kg MS)	7
	Fer (mg/kg MS)	213
Acides aminés	Alanine (g/kg MS)	13,5 (soit 6,4 g/16 g N)
	Arginine (g/kg MS)	10,4 (soit 4,3 g/16 g N)
	Acide aspartique (g/kg MS)	12,4 (soit 5,5 g/16 g N)
	Cystine (g/kg MS)	4,0 (soit 1,9 g/16 g N)
	Acide glutamique (g/kg MS)	30,1 (soit 14,1 g/16 g N)
	Glycine (g/kg MS)	9,3 (soit 4,1 g/16 g N)
	Histidine (g/kg MS)	6,1 (soit 2,8 g/16 g N)
	Isoleucine (g/kg MS)	6,8 (soit 3,1 g/16 g N)
	Leucine (g/kg MS)	17,3 (soit 8,0 g/16 g N)
	Lysine (g/kg MS)	6,9 (soit 2,9 g/16 g N)
	Méthionine (g/kg MS)	3,6 (soit 1,6 g/16 g N)
	Phénylalanine (g/kg MS)	7,8 (soit 3,5 g/16 g N)
	Proline (g/kg MS)	13,5 (soit 7,2 g/16 g N)
	Sérine (g/kg MS)	8,8 (soit 4,1 g/16 g N)
	Thréonine (g/kg MS)	7,4 (soit 3,4 g/16 g N)
	Tryptophane (g/kg MS)	1,5 (soit 0,7 g/16 g N)
	Tyrosine (g/kg MS)	5,4 (soit 2,4 g/16 g N)
Valine (g/kg MS)	10,1 (soit 4,6 g/16 g N)	

V valorisation dans l'alimentation des ruminants

Le corn gluten feed est une matière première plutôt riche en fibre et avec des teneurs modérées en énergie et en protéines, qui est essentiellement donnée aux ruminants. Ses fibres sont hautement digestibles par les ruminants et le corn gluten feed peut se substituer aux céréales, et notamment au maïs grain pour réduire la quantité d'amidon dans le rumen

(Rausch *et al.*, 2006). La teneur élevée en fibres peut aider à prévenir l'acidose ruminale. Le corn gluten feed est assez pauvre en lysine et la complémentation en acides aminés doit être envisagée si la teneur globale du régime en lysine est problématique (Myer *et al.*, 2011).

V valeur nutritive

● ● Valeur énergétique

Les valeurs de digestibilité in vivo de la matière organique (DMO) trouvées dans la littérature pour le corn gluten feed déshydraté varient de 70 à plus de 80%. Les différences de composition (rapport eaux de trempage / son, teneur en amidon et en fibres), ainsi que les conditions de traitement (température et durée de déshydratation) peuvent expliquer cette variabilité. Le corn gluten feed a une digestibilité de la MO légèrement inférieure chez les ovins que chez les bovins (72% vs 75%) (O'Mara *et al.*, 1999). Les valeurs UFL publiées dans la littérature varient de 0,96 à 1,06 UFL/kg MS (NRC, 2001; Fonnesbeck *et al.*, 1984; Gunderson *et al.*, 1988; Sauviant *et al.*, 2004).

La déshydratation réduit la valeur énergétique du corn gluten feed. Ainsi, une comparaison sur des bovins en finition entre

corn gluten feed humide et déshydraté a montré que le produit humide avait une meilleure énergie nette « viande » (estimée à partir de la performance des animaux) (Ham *et al.*, 1995). Ceci peut s'expliquer en partie par la perte de composés volatils dans la fraction des eaux de trempage pendant la déshydratation (au-dessus de 60 °C) (Stock *et al.*, 1999). En outre, les fibres dans le corn gluten feed humide sont un peu plus digestibles que dans le produit sec (Schroeder, 2010). Chez les bovins viande en croissance, l'énergie nette estimée du corn gluten feed humide est supérieure à celle du maïs aplati à sec (Stock *et al.*, 1999) et représente 90 à 100% de celle du maïs grain en finition (Firkins *et al.*, 1985; Ham *et al.*, 1995; Schrage *et al.*, 1991).

● ● La valeur de la protéine

La protéine du corn gluten feed est assez dégradable, avec une dégradabilité allant de 70 à 76% (Mertens, 1977, Firkins *et al.*, 1985, Bernard *et al.*, 1988; NRC, 2001; Sauviant *et al.*, 2004). Les valeurs pour le corn gluten humide sont plutôt

hautes (75%; Schroeder, 2010). En conséquence, l'inclusion du corn gluten feed doit être minimisée dans les régimes qui contiennent des ingrédients ayant des concentrations élevées de protéines solubles, telles que les ensilages.

● ● Disponibilité du phosphore

La teneur en phosphore disponible dans le corn gluten feed, environ deux fois plus élevée que dans le maïs grain (Sauviant *et al.*, 2004), peut dépasser les besoins en phosphore des

ruminants et conduire à la formation de calculs urinaires et à l'accumulation de phosphore dans l'urine et les déjections (Hankins *et al.*, 2005; Myer *et al.*, 2011).

Palatabilité

Le corn gluten feed a un goût amer qui peut affecter l'ingestion jusqu'à ce que les animaux s'adaptent (Rausch *et al.*, 2006). Par exemple, des bouvillons recevant une ration contenant 40% de corn gluten feed humide ont passé moins de temps à l'auge que les animaux du régime témoin (Parsons *et al.*, 2007). Le corn gluten feed est constitué de petites particules (un tamis de 1 mm retient 10% du produit), ce qui n'est pas favorable à la mastication. Le temps de rumination,

la mastication et le pH du rumen ont été affectés négativement quand de l'ensilage de maïs a été remplacé par 18 ou 25% (sur MS) de corn gluten feed déshydraté (Biricik *et al.*, 2007). L'inclusion de foin de luzerne haché chez des vaches laitières alimentées avec du corn gluten feed humide accroît la consistance du tapis ruminal, entraînant une plus grande activité du rumen et une meilleure digestion des fibres (Allen *et al.*, 2000).

Recommandations pour les vaches laitières

Le corn gluten feed est une matière première courante pour les vaches laitières, et de nombreux essais, notamment en Amérique du Nord, ont étudié les effets sur les performances laitières du remplacement des fourrages et des concentrés par du corn gluten feed, déshydraté ou non. Généralement, des niveaux élevés de corn gluten feed humide peuvent être incorporés dans les rations pour vaches laitières. Ainsi, des vaches recevant de 20 à 35% (sur MS) de corn gluten feed humide ont produit plus de lait que les animaux témoins. Les quantités produites de protéines et de lactose du lait ont augmenté tandis que le taux de matières grasses du lait baissait et que la quantité de matières grasses produite restait inchangée (VanBaale *et al.*, 2001). Un autre essai a conclu que les rations peuvent contenir jusqu'à 37,5% (sur MS) de corn gluten feed humide, l'augmentation de la production laitière totale compensant la baisse du taux de matières grasses (Kononoff *et al.*, 2006). La MS ingérée, la production de lait et la composition du lait n'ont pas été

significativement affectées par le remplacement de 34% (sur MS) du concentré par du corn gluten feed humide (Armentano *et al.*, 1988). Du corn gluten feed déshydraté incorporé à 22% de la MS ingérée a assuré un niveau de production laitière identique à celle permise par une ration à base de maïs et de tourteau de soja pour des vaches en milieu de lactation (Bernard *et al.*, 1991).

Certaines études ne sont pas aussi favorables. Une diminution linéaire de la MS ingérée et de la production de lait a été observée avec les régimes à base d'ensilage de maïs quand du corn gluten feed humide a été incorporé jusqu'à 40% (sur MS) (Staples *et al.*, 1984). Une baisse de la production laitière a été observée quand 30% ou plus de corn gluten feed humide a été inclus dans le régime (Schroeder, 2003). Il a été suggéré que le taux d'incorporation optimal dépend des aliments remplacés et des autres composantes de la ration (Boddugari *et al.*, 2001).

Tableau 2 : Valeurs alimentaires du corn gluten feed destinées aux ruminants

Digestibilité de la matière organique (%)	79,0
Digestibilité de l'énergie (%)	80,6
Energie digestible (kcal/kg MS)	3 450
Energie métabolisable (kcal/kg MS)	2 790
UFL (/kg MS)	1,01
UFV (/kg MS)	0,97
Digestibilité de l'azote (%)	73,0
Dégradabilité théorique de l'azote (k=6 %) (%)	73,0
Digestibilité intestinale de l'azote (%)	85
PDIA (g/kg MS)	55
PDIN (g/kg MS)	142
PDIE (g/kg MS)	112

Recommandations pour les bovins viande

L'utilisation de corn gluten feed dans l'alimentation des bovins viande a fait l'objet de travaux très nombreux aux États-Unis

●● Corn gluten feed humide

Des niveaux relativement élevés de corn gluten feed humide peuvent être admis dans les rations en feedlot, avec des effets souvent positifs (mais variables) sur la performance. Cette réponse positive est probablement due à une acidose ruminale réduite, à une augmentation de la MS ingérée, et aussi à une réduction de l'effet négatif de l'amidon fermentescible sur la digestion des fibres (Boddugari *et al.*, 2001). Toutefois, en raison de la toxicité potentielle du soufre, l'apport ne doit pas dépasser 50% de la MS de la ration (Myer *et al.*, 2011).

Le corn gluten feed humide substitué au maïs aplati à sec a eu un effet positif sur le GMQ (jusqu'à 15% de plus) et sur l'indice de consommation (Stock *et al.*, 1999). L'ajout de corn gluten feed humide à des régimes de finition à base de maïs aplati améliore également l'indice de consommation (Richards *et al.*, 1998). Le corn gluten feed humide a pu remplacer jusqu'à 25 ou 50% de la MS du régime sans effets négatifs sur la performance, sur la digestibilité des nutriments, et sur les caractéristiques de carcasse (Hussein

et au Canada, notamment dans les feedlots (parcs d'engraissement).

et al., 1995). 40% (sur MS du régime) de corn gluten feed humide remplaçant du maïs floconné à la vapeur a augmenté la MS ingérée, mais avec un effet négatif sur l'indice de consommation (Parsons *et al.*, 2007). Une incorporation de 35% n'a pas nui aux performances de croissance (Macken *et al.*, 2004). Du corn gluten feed humide incorporé de 25 à 35% dans les régimes de finition à base de maïs floconné à la vapeur s'est comporté à la fois comme une source d'énergie et comme une source de fibres, en satisfaisant en partie les besoins en fourrages grossiers (Sindt *et al.*, 2003). Chez des bovins rationnés, la valeur du corn gluten feed humide par rapport au maïs floconné peut bénéficier de l'apport de foin de luzerne (Montgomery *et al.*, 2003). Le rationnement des bovins en croissance peut améliorer l'utilisation du corn gluten feed à des taux d'incorporation élevés (Hussein *et al.*, 1995). La qualité de la carcasse est influencée par l'apport de corn gluten feed : des bouvillons recevant 50% de corn gluten feed humide étaient moins gras que ceux nourris au maïs aplati (Loe *et al.*, 2006).

●● Corn gluten feed déshydraté

Les travaux sur le corn gluten feed déshydraté sont moins nombreux. Ce produit peut remplacer complètement le maïs dans les régimes de finition sans affecter négativement l'indice de consommation et l'énergie nette (Pereira *et al.*, 2007). Chez des bouvillons en croissance, en revanche, le remplacement du maïs grain par du corn gluten feed

déshydraté a augmenté l'indice de consommation et réduit le gain de poids en raison de la plus faible quantité d'énergie digestible du corn gluten feed (Beauchemin *et al.*, 2005). Le remplacement de l'orge par du corn gluten feed déshydraté augmente le pH du rumen, ce qui pourrait aider à prévenir une chute du pH post-prandial (Dragomir *et al.*, 2008).

Recommandations pour les ovins

Différentes formes de corn gluten feed (humide, sec ou ensilé) incorporées à 50% dans des rations pour agneaux riches en concentrés donnent des performances comparables à celles de régimes à base de maïs-urée ou de maïs-tourteau de soja (Bowman *et al.*, 1988). Chez des brebis en croissance, le corn

gluten feed déshydraté inclus à 10 ou 20% dans un régime à base de paille de riz et de concentré a amélioré les performances, le GMQ et l'indice de consommation. Les meilleurs résultats ont été obtenus au taux de 10% (Saleh *et al.*, 2008).

Recommandations pour les caprins

La complémentation de chèvres nourries avec du foin avec du corn gluten feed déshydraté n'a pas modifié l'apport total de MS, la digestibilité des nutriments, le poids final et le GMQ par rapport à une complémentation avec du tourteau de soja, mais le rendement carcasse a été légèrement amélioré

(Moore *et al.*, 2002). Des chèvres laitières alimentées avec du corn gluten feed déshydraté ont eu un lait plus riche en protéines que des animaux ayant reçu d'autres sources de protéines tels que la féverole, le tourteau de tournesol ou les graines de coton (Sanz Sampelayo *et al.*, 1999).

V valorisation dans l'alimentation des porcs

Le corn gluten feed contient plus de protéines que le maïs, mais sa teneur en fibres est également beaucoup plus élevée, résultant en une valeur énergétique plus faible. Pour les porcs en croissance, l'énergie nette du corn gluten feed est d'environ 60% celle du maïs (Noblet *et al.*, 2002). Chez les truies adultes, qui peuvent mieux digérer les fibres alimentaires, l'énergie nette du corn gluten feed est de 10% plus élevée que pour les porcs en croissance (Noblet *et al.*, 2002; Noblet *et al.*, 2000). Une autre limitation de corn gluten feed dans l'alimentation du porc est sa faible teneur en lysine et en tryptophane, combinée à des valeurs de digestibilité iléale standard d'acides aminés qui sont 15% plus faibles que pour le maïs grain, du fait du taux plus important de fibres. L'encombrement du corn gluten feed est un facteur limitant à des stades physiologiques ayant des besoins énergétiques élevés, notamment les porcs en croissance et les truies en lactation. De plus, le corn gluten feed est moyennement appétible : l'augmentation de l'ingestion observée chez des

porcs en croissance consommant du corn gluten feed est principalement due au fait que les animaux tendent à augmenter leur consommation afin de maintenir l'apport énergétique.

Il est possible d'utiliser jusqu'à 20% de corn gluten feed dans les aliments pour porcelets sevrés et pour porcs en croissance (Castaing *et al.*, 1990). Chez les porcs en finition, le corn gluten feed peut être incorporé jusqu'à 30% sans perte de performance (Yen *et al.*, 1971). Chez les truies, le corn gluten feed peut être utilisé pour diluer l'énergie pendant la gestation afin de réduire la faim et améliorer le bien-être (Ramonet *et al.*, 1999), l'état de santé (Meunier-Salaün *et al.*, 2001), et les performances de reproduction (Matte *et al.*, 1994). Le corn gluten feed peut être donné à des truies gestantes à des taux d'incorporation élevés (50-70%) avec une complémentation en tryptophane sans affecter les performances de reproduction (Honeyman *et al.*, 1990).

Tableau 3 : Valeurs alimentaires du corn gluten feed destinées aux porcs

Digestibilité de l'énergie (porc croissance) (%)	64,0
Energie digestible (porc croissance) (kcal/kg MS)	2 840
Energie métabolisable (porc croissance) (kcal/kg MS)	2 680
Energie nette (porc croissance) (kcal/kg MS)	1 790
Digestibilité fécale de l'azote (porc croissance) (%)	59,0
Digestibilité de l'énergie (porc adulte) (%)	75,0
Energie digestible (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 350
Energie métabolisable (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 100
Energie nette (porc adulte) (kcal/kg MS)	2 110
Digestibilité fécale de l'azote (porc adulte) (%)	73,0

V valorisation dans l'alimentation des volailles

Le corn gluten feed n'est pas très recommandé pour l'alimentation des volailles, sa teneur en protéines et en énergie ne pouvant répondre aux exigences élevées des volailles (Rochell *et al.*, 2011). En conséquence, les maxima d'inclusion recommandés sont plutôt faibles pour les poulets de chair (environ 10 %), mais plus élevés pour les poules pondeuses, qui ont des besoins énergétiques plus faibles.

Jusqu'à 20-25 % de corn gluten feed peut être incorporé dans des régimes équilibrés pour poules pondeuses sans réduire leurs performances (Castanon *et al.*, 1990 ; El-Deek *et al.*, 2009). Le corn gluten feed pourrait être un bon ingrédient dans les programmes d'induction de la mue pour poules pondeuses (Biggs *et al.*, 2004).

Tableau 4 : Valeurs alimentaires du corn gluten feed destinées aux volailles

Energie métabolisable (coq) (kcal/kg MS)	2 020
Energie métabolisable (poulet) (kcal/kg MS)	1 970

- Allen, D. M. ; Grant, R. J., 2000. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 83 (2): 322-331
- Armentano, L. E. ; Driver, L. S. ; Elderbrook, R., 1986. Supplementation of a mixed silage diet with wet corn gluten feed (WCGF) or dry grain mix for cows in early lactation. *J. Dairy Sci.*, 69 (Suppl. 1): 216
- Ash, M. S., 1992. Animal feeds compendium. AER-656, Commodity Economics, Division, Economic Research Service, USDA
- Beauchemin, K. A. ; Koenig, K. M., 2005. Feedlot cattle diets based on barley or corn supplemented with dry corn gluten feed evaluated using the NRC and CNCPS beef models. *Can. J. Anim. Sci.*, 85 (3): 365-375
- Bernard, J. K. ; Amos, H. E. ; Froetschel, M. A., 1988. Influence of supplemental energy and protein on protein synthesis and crude protein reaching the abomasum. *J. Dairy Sci.*, 71 (10): 2658-2669
- Bernard, J. K. ; McNeil, W. W., 1991. Effect of high fiber energy supplements on nutrient digestibility and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 74 (3): 991-995
- Biricik, H. ; Gencoglu, H. ; Bozan, B. ; Gulmez, B. H. ; Turkmen, I. I., 2007. The effect of dry corn gluten feed on chewing activities and rumen parameters in lactating dairy cows. *Italian J. Anim. Sci.*, 6 (1): 61-70
- Boddugari, K. ; Grant, R. J. ; Stock, R. ; Lewis, M., 2001. Maximal replacement of forage and concentrate with a new wet corn milling product for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 84 (4): 873-884
- Bowman, J. G. P. ; Paterson, J. A., 1988. Evaluation of corn gluten feed in high-energy diets for sheep and cattle. *J. Anim. Sci.*, 66 (8): 2057-2070
- Castaing, J. ; Coudure, R. ; Fekete, J. ; Grosjean, F., 1990. Utilisation du corn gluten feed par le porcelet sevré et le porc charcutier. *Journées Rech. Porc.*, 22: 159-166
- Dragomir, C. ; Pop, S. ; Florescu, N. ; Vlassa, M., 2008. The effect of replacing dietary barley with dry corn gluten feed on the dynamics of ruminal pH. *Archiva Zootechnica*, 11 (1): 16-23
- Firkins, J. L. ; Berger, L. L. ; Fahey, G. C. Jr., 1985. Evaluation of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. *J. Anim. Sci.*, 60 (3): 847-860
- Fonnesebeck, P. V. ; Lloyd, H. ; O Bray, R. ; Romesburg, S., 1984. IFI Tables of Feed Composition. International Feedstuffs Institute, Utah Agric. Exper. Stat., Utah State University, Logan, UT. 607 pp
- Gunderson, S. L. ; Aguilar, A. A. ; Johnson, D. E. ; Olson, J. D., 1988. Nutritional value of wet corn gluten feed for sheep and lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 71: 1204-1210
- Ham, G. A. ; Stock, R. A. ; Klopfenstein, T. J. ; Huffman, R. P., 1995. Determining the net energy value of wet and dry corn gluten feed in beef growing and finishing diets. *J. Anim. Sci.*, 73 (3): 353-359
- Hankins, S. L. ; Arseneau, J. D. ; Lemenager, R. P. ; Sutton, A. L., 2005. Performance, carcass traits, and nutrient excretion of beef feedlot cattle fed a corn gluten feed diet. *Professional Animal Scientist*, 21 (1): 1-6
- Hasha, G., 2002. Livestock feeding and feed imports in the European Union - A decade of change. *USDA Outlook, Electronic Outlook Report from the Economic Research Service, FDS-0602-01, July 2002*
- Hoffman, L. ; Baker, A., 2010. Market issues and prospects for U. S. Distillers' Grains supply, use and price relationships. *USDA, Economic research service, FDS-10k-01*
- Honeyman, M. S. ; Zimmerman, D. R., 1990. Long-term effects of corn gluten feed on the reproductive performance and weight of gestating sows. *J. Anim. Sci.*, 68 (5): 1329-1336
- Hussein, H. S. ; Berger, L. L., 1995. Effects of feed intake and dietary level of wet corn gluten feed on feedlot performance, digestibility of nutrients, and carcass characteristics of growing-finishing beef heifers. *J. Anim. Sci.*, 73 (11): 3246-3252
- Kononoff, P. J. ; Ivan, S. K. ; Matzke, W. ; Grant, R. J. ; Stock, R. A. ; Klopfenstein, T. J., 2006. Milk production of dairy cows fed wet corn gluten feed during the dry period and lactation. *J. Dairy Sci.*, 89 (7): 2608-2617
- Loe, E. R. ; Bauer, M. L. ; Lardy, G. P., 2006. Grain source and processing in diets containing varying concentrations of wet corn gluten feed for finishing cattle. *J. Anim. Sci.*, 84 (4): 986-996
- Macken, C. N. ; Erickson, G. E. ; Klopfenstein, T. J. ; Stock, R. A., 2004. Effects of concentration and composition of wet corn gluten feed in steam-flaked corn-based finishing diets. *J. Anim. Sci.*, 82 (9): 2718-2723
- Maiga, H. A. ; Marx, G. D. ; Crary, V. W. ; Linn, J. G., 1997. Alternative Feeds For Dairy Cattle In Northwest Minnesota: An Update. *Dairy Update*, 126
- Matte, J. J. ; Robert, C. ; Girard, C. L. ; Farmer, C. ; Martineau, G. P., 1994. Effect of bulky diets based on wheat bran or oat hulls on reproductive performance of sows during their first two parities. *J. Anim. Sci.*, 72 (7): 1754-1760
- Mertens, D. R., 1977. Importance and measurement of protein insolubility in ruminant diets. *Proc. Georgia Nutr. Conf. Feed Ind.*, 30-41. Athens, USA
- Meunier-Salaün, M. C. ; Edwards, S. A. ; Robert, S., 2001. Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 90 (1-2): 53-69
- Montgomery, S. P. ; Drouillard, J. S. ; Sindt, J. J. ; Farran, T. B. ; Pike, J. N. ; Trater, A. M. ; Coetzer, C. M. ; LaBrune, H. J. ; Hunter, R. D. ; Stock, R. A., 2003. Combinations of alfalfa hay and wet corn gluten feed in limit-fed growing diets for beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 81 (7): 1671-1680
- Moore, J. A. ; Poore, M. H. ; Luginbuhl, J. M., 2002. By-product feeds for meat goats: Effects on digestibility, ruminal environment, and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 80 (7): 1752-1758
- Myer, R. ; Hersom, M., 2011. Corn gluten feed for beef cattle. AN201, Department of Animal Sciences, Florida Cooperative Extension Service
- Noblet, J. ; Le Goff, G., 2000. Digestive utilization and energy values of wheat, maize and their by-products in growing pigs and adult sows. *Journées Rech. Porc.*, 32: 177-183
- Noblet, J. ; Sève, B. ; Jondreville, C., 2002. Valeur nutritive pour le porc. In: *Tables de composition et de valeur nutritive des*

- matières premières destinées aux animaux d'élevage (Eds. Sauvant, D., Perez J. M., Tran, G.), p. 301, INRA-AFZ, Paris
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Revised Edition, Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Natural Resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
 - Oil World, 2011. World supply, demand and price forecasts for oilseeds, oils and meals. Oil World Weekly, 24 June 2011, 54 (25): 297-308
 - O'Mara, F. P. ; Coyle, J. E. ; Drennan, M. J. ; Young, P. ; Caffrey, P. J., 1999. A comparison of digestibility of some concentrate feed ingredients in cattle and sheep. Anim. Feed Sci. Technol., 81 (1-2): 167-174
 - Parsons, C. H. ; Vasconcelos, J. T. ; Swingle, R. S. ; Defoor, P. J. ; Nunnery, G. A. ; Salyer, G. B. ; Galyean, M. L., 2007. Effects of wet corn gluten feed and roughage levels on performance, carcass characteristics, and feeding behavior of feedlot cattle. J. Anim. Sci., 85 (11): 3079-3089
 - Pereira, E. M. ; Santos, F. A. P. ; Bittar, C. M. M. ; Ramalho, T. R. ; Costa, D. F. A. ; Martinez, J. C., 2007. Substitution of corn grain by wheat middlings or corn gluten feed in the finishing bulls diet. Acta Scientiarum - Animal Sciences, 29 (1): 49-55
 - Ramonet, Y. ; Meunier-Salaün, M. C. ; Dourmad, J. Y., 1999. High-fiber diets in pregnant sows : digestive utilization and effects on behavior of the animals. J. Anim. Sci., 77 (3): 591-599
 - Rausch, K. D. ; Belyea, R. L., 2006. The future of coproducts from corn processing. Appl. Biochem. Biotech. 128:47-85
 - RFA, 2008. Feeding the future: the role of the US ethanol industry in food and feed production. Renewable Fuels Association, Washington DC, USA
 - RFA, 2011. How ethanol is made. Renewable Fuels Association, Washington DC, USA
 - Richards, C. J. ; Stock, R. A. ; Klopfenstein, T. J. ; Shain, D. H., 1998. Effect of wet corn gluten feed, supplemental protein, and tallow on steer finishing performance. J. Anim. Sci., 76 (2): 421-428
 - Saleh, S. A. ; Mustafa, M. M. ; Kottb, M. K. I., 2008. Effect of using corn gluten feed in growing lambs' ration. Egyptian J. Nutr. Feeds, 11 (1): 55-71
 - Sanz Sampelayo, M. R. ; Perz, M. L. ; Gil Extremera, F. ; Boza, J. J. ; Boza, J., 1999. Use of different dietary protein sources for lactating goats: milk production and composition as functions of protein degradability and amino acid composition. J. Dairy Sci., 82: 555-565
 - 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: 2^{ème} édition. ISBN 2738011586, 306 p. INRA Editions Versailles
 - Schrage, M. P. ; Woody, H. D. ; Young, A. W., 1991. Net energy of ensiled wet corn gluten feed in corn silage diets for finishing steers. J. Anim. Sci., 69 (5): 2204-2210
 - Schroeder, J. W., 2003. Optimizing the level of wet corn gluten feed in the diet of lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 86 (3): 844-851
 - Schroeder, J. W., 2010. Corn gluten feed composition, storage, handling, feeding and value. AS-1127, North Dakota State University Extension Service, July 2010
 - Scott, T. ; Klopfenstein, T. J. ; Shain, D. ; Klemesrud, M., 1997. Wet corn gluten feed as a source of rumen degradable protein for finishing steers. University of Nebraska - Lincoln, Nebraska Beef Cattle Reports
 - Sindt, J. J. ; Drouillard, J. S. ; Titgemeyer, E. C. ; Montgomery, S. P. ; Coetzer, C. M. ; Farran, T. B. ; Pike, J. N. ; Higgins, J. J. ; Ethington, R. T., 2003. Wet corn gluten feed and alfalfa hay combinations in steam-flaked corn finishing cattle diets. J. Anim. Sci., 81 (12): 3121-3129
 - Staples, C. R. ; Davis, C. L. ; McCoy, G. C. ; Clark, J. H., 1984. Feeding value of wet corn gluten feed for lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 67 (6): 1214-1220
 - Stock, R. A. ; Lewis, J. M. ; Klopfenstein, T. J. ; Milton, C. T., 1999. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. Am. Soc. Anim. Sc., Proceedings of the American Society of Animal Science, 1999: 1-12
 - VanBaale, M. J. ; Shirley, J. E. ; Titgemeyer, E. C. ; Park, A. F. ; Meyer, M. J. ; Lindquist, R. U. ; Ethington, R. T., 2001. Evaluation of wet corn gluten feed in diets for lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 84 (11): 2478-2485
 - Yen, J. T. ; Baker, D. H. ; Harmon, B. G. ; Jensen, A. H., 1971. Corn gluten feed in swine diets and effect of pelleting on tryptophan availability to pigs and rats. J. Anim. Sci., 33: 987-991

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** : Phu Thing Co Flick - **Réf IE** : 0016 302 009 - Avril 2017