



DRÊCHES DE MAÏS

SOUS FORME HUMIDE OU SÈCHE, LES DRÊCHES DE MAÏS DE DISTILLERIE SONT DES COPRODUITS DE LA FABRICATION D'ALCOOL. ELLES SONT GLOBALEMENT RICHES EN PROTÉINES DONC D'INTÉRÊT EN ALIMENTATION ANIMALE.

AUTRES NOMS COMMUNS

Drêches de maïs de distillerie, drêches de maïs, drêches de distillerie de maïs, drêches et solubles de maïs de distillerie, drêches d'éthanol, drêches de maïs humides, drêches de maïs fraîches, drêches de maïs déshydratées, corn distillers, DDGS, WDGS

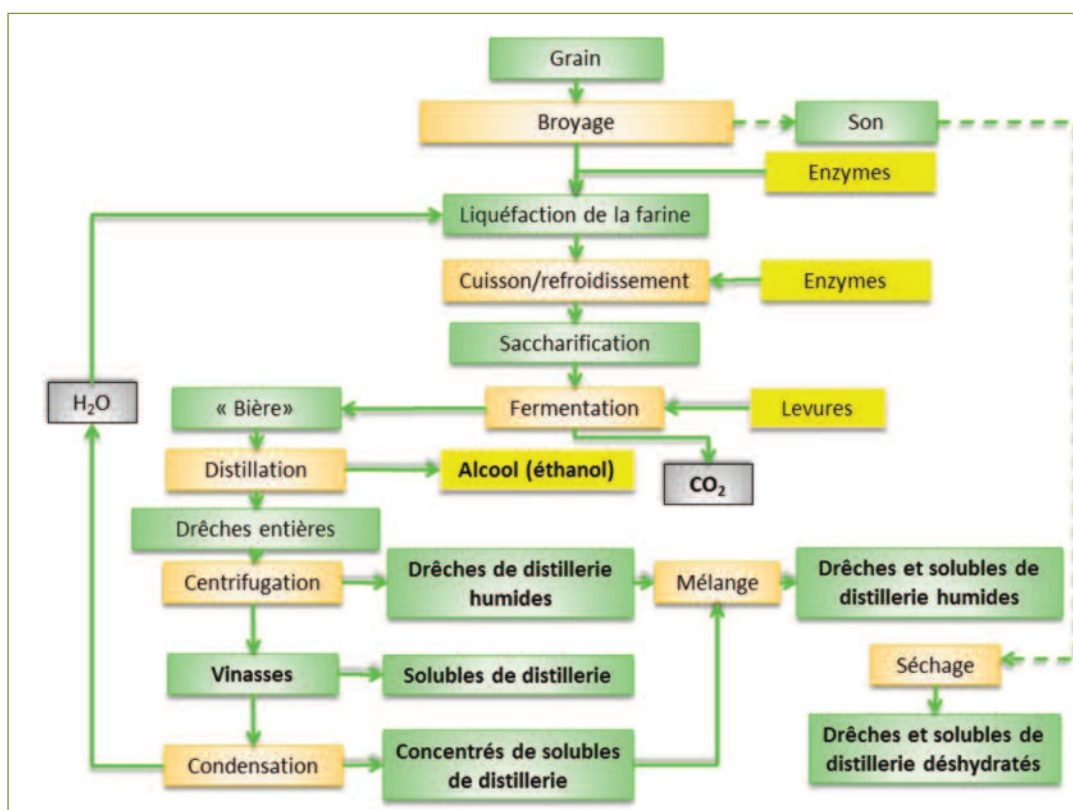


Description

Les drêches de maïs de distillerie sont le principal coproduit de la fabrication d'alcool par distillation à partir du grain de maïs (*Zea mays* L.). Il peut s'agir de production de boissons alcoolisées ou d'éthanol utilisé dans l'industrie ou comme biocarburant. Cette fiche portera principalement sur les drêches de maïs issues de la production d'éthanol, qui sont maintenant le coproduit dominant. Ce secteur a connu une évolution majeure depuis les années 1990. Aux États-Unis, la production de drêches de maïs est passée de 2 millions de t en 1992 (60% pour du biocarburant) à 34 millions de t en 2010 (97% pour du biocarburant). La situation est différente en Europe et au Canada, où le blé est la principale céréale utilisée pour la production de biocarburants, avant le maïs (Piron et al., 2009).

Les coproduits de distillerie ont une longue histoire dans l'alimentation du bétail. Considérés autrefois comme des déchets, ils étaient jetés dans les décharges et les rivières, et parfois vendus à bas prix aux agriculteurs locaux pour l'alimentation animale (Lyons, 2003). Les drêches de maïs de distillerie sont devenues un coproduit important au milieu du 19^e siècle au Royaume-Uni, quand l'alambic à colonne a remplacé l'alambic charentais, permettant l'utilisation du maïs à la place de l'orge dans la production de certains whiskys (Weir, 1984). Dans les années 1850, l'alimentation des vaches laitières avec des drêches de distillerie fraîches dans des conditions insalubres en plein New York provoqua le scandale alimentaire du « swill milk », qui entraîna une meilleure réglementation de l'industrie laitière aux États-Unis (Wilson, 2008). La première étude sur l'alimentation de bovins avec des drêches de distillerie a été publiée en 1907 (Weiss et al., 2007).

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



Les drêches de distillerie de maïs sont une matière première très intéressante, riche en protéines, modérément riche en graisses et relativement pauvre en fibres, et qui peut être donnée à toutes les catégories d'animaux (Hayes, 2008). Il faut noter les drêches d'éthanol sont un produit qui évolue en fonction des technologies et de la demande en biocarburants.

Distribution

Les drêches de maïs humides sont disponibles à proximité des unités de production d'éthanol. Aux États-Unis, 86% des drêches de maïs sont transportées par la route à moins de 80 km de l'usine (US EPA, 2010). Les drêches de maïs déshydratées font l'objet d'un commerce international. En 2008, les États-Unis ont exporté 4,5 millions de tonnes de drêches (brasserie et distillerie confondues), soit 81% des exportations mondiales. Les autres principaux exportateurs sont la Chine, le Canada, l'Allemagne et la Pologne. Les principaux importateurs de drêches sont le Mexique, le

Canada, la Turquie, la Corée du Sud et le Japon (FAO, 2011). A la fin des années 1990, l'Union Européenne était le principal marché des drêches de maïs des États-Unis, mais le moratoire de fait sur l'approbation de nouvelles variétés OGM en Europe et l'introduction en 2004 de nouvelles exigences en matière d'étiquetage et de traçabilité des aliments pour animaux a fait diminuer ces importations de drêches américaines de 80% entre 2005 et 2008 (Fox, 2008). En France, l'usine de bioéthanol de Lacq, inaugurée en 2008, produit 150 000 t de drêches de maïs de distillerie (AGPM, 2013).

Procédés de transformation

Procédé principal

La production d'éthanol à partir du maïs emploie principalement un procédé débutant par un broyage à sec des grains. Les grains broyés sont mélangés avec de l'eau et des enzymes (amylases) pour produire un moût où se produit une hydrolyse de l'amidon (étape de liquéfaction). Ce moût est cuit pour tuer les bactéries. Les enzymes sont ajoutées au moût pour transformer l'amidon en sucre (étape de saccharification). Après saccharification, des levures sont ajoutées pour démarrer le processus de fermentation, qui produit une « bière » et du CO₂. La « bière » passe à travers une colonne de distillation pour en extraire l'éthanol. Le

produit qui reste au fond est centrifugé et donne les drêches humides sensu stricto et une fraction liquide. Les drêches humides peuvent être données directement au bétail ou séchées. La fraction liquide peut être vendue comme matière première liquide, ou déshydratée pour produire des solubles de distillerie condensés. En pratique, les drêches et les solubles sont généralement mélangés pour donner les drêches et solubles de distillerie humides, qui peuvent être ensuite déshydratées (Mosier *et al.*, 2006). Il existe aussi un procédé sans broyage à sec (USGC, 2012).

Autres procédés de production d'éthanol

Les technologies de fabrication d'éthanol sont en évolution permanente, afin notamment d'améliorer la valeur ajoutée des coproduits. Des procédés permettent donc de séparer des fractions intéressantes avant ou après distillation. Dans un de ces procédés, les matières grasses et les fibres sont éliminées dans les premières étapes du processus, ce qui a pour effet

de concentrer les protéines dans les drêches finales (High Protein Dried Grain) (Kelzer *et al.*, 2011; Hoffman *et al.*, 2010). Dans un autre procédé, les drêches sont utilisées pour extraire une huile de maïs utilisable pour faire du biodiesel, et il résulte de cette extraction des drêches à teneur réduite en matières grasses (US EPA, 2010 ; Hoffman *et al.*, 2010).

Drêches provenant de mélanges de céréales

Certaines drêches d'éthanol proviennent de mélanges de céréales, maïs et blé notamment. C'est aussi le cas de drêches obtenues lors de la fabrication d'alcools de

consommation, tels que le whisky, dont certains types peuvent inclure du maïs, du blé et du seigle (Crawshaw, 2004).

Impacts environnementaux

Coût énergétique

Les drêches fraîches sont très périssables et leur déshydratation est généralement nécessaire. Cependant, la déshydratation des drêches de distillerie fraîches est un procédé coûteux en énergie, qui peut consommer plus de

40% de l'énergie thermique utilisée dans une unité de production d'éthanol. En dépit de ce coût énergétique élevé, 63% de drêches d'éthanol produites aux États-Unis étaient vendues séchées en 2010 (US EPA, 2010).

Composés organiques volatils

La déshydratation des drêches produit des composés organiques volatils qui peuvent causer des problèmes de santé. Ces émissions peuvent être réduites (jusqu'à 95%) par

l'installation d'oxydateurs thermiques dans les usines d'éthanol (US EPA, 2011).

Réduction des déchets industriels

L'utilisation des drêches de maïs en alimentation animale permet de recycler d'énormes quantités de coproduits qui

devraient sinon être éliminés par d'autres moyens (Lyons, 2003).

Réduction des émissions de méthane

Les drêches de maïs de distillerie sont plus efficaces que le maïs grain pour réduire le méthane produit par la fermentation entérique chez les bovins. Cette réduction a été

estimée à 3,2 g d'équivalent CO₂/MJ d'éthanol par tête de bétail (US EPA, 2010).

Drêches de maïs OGM

Les drêches de maïs sont principalement produites aux États-Unis et résultent essentiellement du traitement de maïs

génétiquement modifié (Fernandez-Cornejo *et al.*, 2006).

Contraintes potentielles

Sulfate

En raison de l'utilisation d'acide sulfurique dans le processus de distillerie, les coproduits d'éthanol peuvent avoir des teneurs élevées en sulfates (de 0,5 à 1,7% MS) (McAloon *et al.*, 2000), ce qui augmente le risque de toxicité due au soufre chez des animaux nourris avec grandes quantités de drêches d'éthanol. Une forte concentration de H₂S inhibe les

processus d'oxydation dans les tissus nerveux et provoque des troubles du système nerveux central (polioencéphalomalacie), qui peut affecter jusqu'à 6% de bovins nourris avec des aliments contenant plus de 0,56% de soufre (Vanness *et al.*, 2009 ; Gould, 1998).

Mycotoxines

Le maïs est sensible à de nombreuses infections fongiques produisant des mycotoxines toxiques, dont les aflatoxines, les fumonisines, le déoxynivalénol (vomitoxine), la toxine T2 et la zéaralénone. Comme le processus de distillerie concentre les composants non amylacés, les teneurs en mycotoxines

peuvent être multipliées par trois par rapport au grain d'origine. Il est donc nécessaire que le maïs destiné à la production de bio-éthanol soit exempt de mycotoxines avant d'entrer dans la chaîne de production (Keshun Liu, 2011).

Cuivre

Certaines distilleries de whisky traditionnelles utilisent le cuivre pour les alambics et la tuyauterie (plutôt que de l'acier inoxydable), et leurs coproduits peuvent contenir des niveaux élevés de cuivre, de 15 à 120 mg/kg, ce qui peut être toxique

pour les moutons. Il est donc recommandé de vérifier les teneurs en cuivre de ces produits avant toute utilisation en ovins (Lewis, 2002). Le cuivre n'est pas un problème pour les drêches issues de la production industrielle d'éthanol.

Attributs nutritionnels

Les drêches de maïs de distillerie sont le résultat de l'extraction de l'amidon pour sa transformation en alcool, et concentrent donc les autres nutriments, notamment les protéines, les fibres,

les sucres solubles et les lipides, dans des proportions allant jusqu'à trois fois celles du grain (Pedersen *et al.*, 2007).

Variabilité

La qualité nutritionnelle des drêches de maïs est largement dépendante de l'unité de production et de ses choix en termes de technologie (ajout ou non des solubles, extraction ou non de l'huile, méthodes de fermentation et de fractionnement), qui font que les drêches de maïs contiennent des quantités très variables d'énergie, de protéines, de matières grasses, de fibres et de phosphore (Rausch *et al.*, 2006 ; Kelzer *et al.*,

2010 ; Spiehs *et al.*, 2002). Il est donc difficile de fournir une composition type pour ces drêches, parce que, contrairement à nombre de coproduits industriels, leur composition n'est pas pilotée par le taux d'extraction d'un produit final unique (tel que l'amidon, le sucre ou l'huile), mais dépend de multiples facteurs.

Protéines et acides aminés

Les drêches de maïs de distillerie sont généralement riches en protéines. Les drêches de maïs de bioéthanol contiennent 30-35% MS de protéines, mais d'autres types de drêches de maïs de distillerie (alcool alimentaire ou industriel) peuvent contenir 25-30% de protéines (base MS). Les types High Protein contiennent plus de 40% de protéines (base MS). La déshydratation peut endommager les acides aminés, notamment la lysine, et la teneur en lysine de la protéine est particulièrement faible (2,1 à 2,8% de la protéine ; Fastinger

et al., 2006). L'effet de la chaleur, qui rend les protéines moins disponibles, peut être évalué par la quantité d'azote insoluble au détergent acide (ADIN), mais la couleur est un indicateur plus pratique : les drêches chauffées correctement ont une couleur allant de celle du miel à celle du caramel, tandis que les drêches trop chauffées ont une couleur sombre, semblable à celle du café, et qui indique que la protéine est potentiellement endommagée (Schroeder, 2010).

Tableau 1 : Principaux constituants des drêches de maïs de distillerie

Constituants organiques	Matière sèche (% sur brut)	89,6
	Protéines brutes (% MS)	30,4
	Cellulose brute (% MS)	7,9
	NDF (% MS)	35,6
	ADF (% MS)	10,5
	Lignine (% MS)	2,7
	Matières grasses brutes (% MS)	12,3
	Matières grasses hydrolyse (% MS)	14
	Cendres (% MS)	4,9
	Amidon (% MS)	5,1
	Sucres totaux (% MS)	1,8
	Energie brute (kcal/kg MS)	5 170
Minéraux	Calcium (g/kg MS)	1,2
	Phosphore (g/kg MS)	8,5
	Potassium (g/kg MS)	10,9
	Sodium (g/kg MS)	2,98
	Magnésium (g/kg MS)	3,1
	Manganèse (mg/kg MS)	21
	Zinc (mg/kg MS)	65
	Cuivre (mg/kg MS)	5
Fer (mg/kg MS)	128	
Acides aminés	Alanine (g/kg MS)	20,7 (soit 7,0 g/16 g N)
	Arginine (g/kg MS)	12,4 (soit 4,3 g/16 g N)
	Acide aspartique (g/kg MS)	19,3 (soit 6,6 g/16 g N)
	Cystine (g/kg MS)	6,1 (soit 2 g/16 g N)
	Acide glutamique (g/kg MS)	45,0 (soit 15,1 g/16 g N)
	Glycine (g/kg MS)	12,2 (soit 4 g/16 g N)
	Histidine (g/kg MS)	8,2 (soit 2,7 g/16 g N)
	Isoleucine (g/kg MS)	11,1 (soit 3,8 g/16 g N)
	Leucine (g/kg MS)	33,8 (soit 11,5 g/16 g N)
	Lysine (g/kg MS)	8,8 (soit 3 g/16 g N)
	Méthionine (g/kg MS)	5,8 (soit 2 g/16 g N)
	Phénylalanine (g/kg MS)	13,9 (soit 4,8 g/16 g N)
	Proline (g/kg MS)	23,7 (soit 7,5 g/16 g N)
	Sérine (g/kg MS)	13,2 (soit 4,5 g/16 g N)
	Thréonine (g/kg MS)	11,0 (soit 3,7 g/16 g N)
	Tryptophane (g/kg MS)	2,3 (soit 0,8 g/16 g N)
	Tyrosine (g/kg MS)	9,6 (soit 3,7 g/16 g N)
Valine (g/kg MS)	15,0 (soit 5,0 g/16 g N)	

Lipides

Les drêches de maïs de distillerie contiennent des quantités d'huile résiduelle très variables, allant de 2 à 15%, voire plus. Les drêches de maïs de bioéthanol ont environ 12% d'huile mais restent très variables sur ce point. La teneur

relativement élevée en graisses insaturées des drêches de maïs grain peut limiter leur taux d'inclusion dans l'alimentation des ruminants (Carvalho *et al.*, 2005).

Fibres et amidon

Les drêches de maïs de distillerie sont assez pauvres en parois cellulaires, avec des teneurs moyennes en cellulose brute voisines de 8% MS et des extrêmes variant de 5 à 14%. La teneur en lignine est assez faible, ce qui explique la bonne digestibilité des parois cellulaires des drêches de maïs chez

les ruminants. L'amidon résiduel est faible (< 8% de MS) pour les drêches de maïs de bioéthanol, les procédés utilisés pour la production de biocarburants semblant plus efficaces que ceux utilisées pour la production de boissons alcoolisées.

Drêches de distillerie avec ou sans solubles

Les compositions des drêches de distillerie avec ou sans solubles sont très similaires. Les drêches avec solubles peuvent contenir un peu moins de protéines et un peu plus de lipides et de phosphore que les drêches sans solubles. Une

teneur en lipides > 15% ou une teneur en phosphore > 1% peut être un indicateur de la présence de solubles en grande quantité ou de problèmes lors de la séparation des solubles lors de la fabrication (Schingoethe, 2006).

Valorisation dans l'alimentation des ruminants

Les drêches de maïs de distillerie sont des matières premières communément utilisées pour les ruminants. Dans un régime fourrage-concentrés, ces drêches peuvent remplacer la plus grande partie, voire la totalité des sources de protéines telles que le tourteau de soja, ainsi qu'une partie importante des grains (Schroeder, 2010). Un avantage spécifique des drêches sur les céréales, c'est que, comme leur énergie est principalement donnée par des fibres et des lipides facilement digestibles, elles sont capables de prévenir les problèmes causés par la fermentation de l'amidon dans

le rumen, tels que l'acidose et la fourbure (Kelzer *et al.*, 2011; Schroeder, 2010).

Drêches sèches et humides sont équivalentes, mais, si la ration contient déjà des aliments humides, telles que le maïs ensilage, l'incorporation de 20% (sur MS) ou plus de drêches fraîches peut saturer la capacité d'ingestion et faire baisser la production (Schingoethe, 2006). L'utilisation conjointe des drêches de maïs humides et du corn gluten feed humide permet de contrebalancer certains effets négatifs des drêches humides, notamment sur la digestibilité, l'excrétion purique et l'utilisation de l'azote (Gehman *et al.*, 2010a).

Palatabilité

Les drêches de maïs de distillerie sont appétentes, et la palatabilité ne peut devenir un problème qu'en cas d'excès

de drêches dans la ration (Schroeder, 2010).

Digestibilité et teneur en énergie

Selon les travaux réalisés avant les années 2000, la digestibilité moyenne de la matière organique pouvait être estimée à 74%, ce qui correspond environ à 1,10 UFL par kg de MS, comme la valeur proposée par l'INRA en 2002-2004 (Sauvant *et al.*, 2004). Des recherches récentes aux États-Unis suggèrent une digestibilité beaucoup plus élevée, environ 85%, ce qui correspondrait à des valeurs énergétiques supérieures de 10-15%, soit 1,21-1,26 UFL par kg de MS

(Birkelo *et al.*, 2004). Ceci pourrait refléter soit des interactions digestives ou une meilleure valeur des drêches obtenues par des procédés récents tels que ceux utilisés dans les usines de bioéthanol.

Les études *in sacco* suggèrent que la dégradabilité de la MS est supérieure à celles des tourteaux de colza et de coton mais moindre que celle de l'orge et de la pulpe de betterave (Woods *et al.*, 2003 ; Chapoutot *et al.*, 2010).

Protéines et phosphore

La fermentation ayant emporté une partie des protéines dégradables, les protéines de drêches de maïs sont moins dégradables que celles du maïs grain, avec une dégradabilité ruminale de l'ordre de 50% ou moins (de 24 à 53%) (Firkins *et al.*, 1984 ; Woods *et al.*, 2003 ; Kleinschmit *et al.*, 2006a). Si cette dégradabilité est inférieure à 20%, les protéines ont sans doute été endommagées par la chaleur (Schroeder, 2010). Les drêches de maïs contiennent moins de protéines que les drêches de blé, mais leur protéine est moins dégradable (Nuez-Ortin *et al.*, 2010). La digestibilité

intestinale de l'azote (90%) semble être inférieure à celle des tourteaux de soja et d'arachide (96%) mais supérieure à celle des tourteaux de colza (82%) et de coton (81%) (Yue Qun *et al.*, 2007).

Lorsque les drêches sont incorporées à des niveaux élevés dans le régime, il peut être nécessaire de compléter avec d'autres sources de protéines parce que la mauvaise qualité des protéines (lysine) et une forte teneur de phosphore deviennent des facteurs à considérer (Schroeder, 2010).

Tableau 2 : Valeurs alimentaires des drêches de maïs de distillerie destinées aux ruminants

Digestibilité de la matière organique (%)	84
Digestibilité de l'énergie (%)	83,4
Energie digestible (kcal/kg MS)	4 410
Energie métabolisable (kcal/kg MS)	3 500
UFL (/kg MS)	1,3
UFV (/kg MS)	1,28
Digestibilité de l'azote (%)	77
Dégradabilité théorique de l'azote (k=6 %) (%)	56
Digestibilité intestinale de l'azote (%)	90
PDIA (g/kg MS)	134
PDIN (g/kg MS)	223
PDIE (g/kg MS)	181

Recommandations pour les vaches laitières

Depuis les années 1990, de nombreux essais ont été réalisés en vaches laitières avec les drêches de maïs de distillerie, notamment aux États-Unis. Les drêches ont été surtout utilisées comme complément protéique, avec un effet positif (Nichols *et al.*, 1998 ; Powers *et al.*, 1995) ou neutre (Clark *et al.*, 1993 ; Owen *et al.*, 1991) sur la production laitière. Des régimes vaches laitières comprenant 15% de drêches déshydratées ont maintenu ou augmenté l'ingestion de MS, la production de lait, et les rendements en matières grasses et en protéines du lait (Kelzer *et al.*, 2009). Des régimes équilibrés pour les vaches laitières peuvent contenir jusqu'à 25% de drêches humides avec un effet positif sur la synthèse de protéines microbiennes, la production de lait, et le rendement en protéines du lait (Gehman *et al.*, 2010b). En règle générale, un taux maximum de 20% (MS du régime) de drêches de distillerie est recommandé dans la ration. A des taux supérieurs, on observe des problèmes d'appétence et de

consommation excessive de protéines, mais les taux d'incorporation peuvent approcher 30% lorsque les régimes sont correctement formulés (Schroeder, 2010).

La composition du lait n'est généralement pas affectée par l'apport de drêches de maïs, quand les fibres sont apportées en quantité suffisantes. Certains travaux ont signalé des cas de diminution du taux de matières grasses du lait avec des régimes contenant plus de 10% (MS du régime) de drêches humides (Kleinschmit *et al.*, 2006b ; Cyriac *et al.*, 2005 ; Hutjens, 2004). Cependant, une méta-analyse de 24 études menées de 1982 à 2005, impliquant 98 comparaisons de traitement, a montré qu'il n'y avait aucune diminution des matières grasses du lait quand les rations contenaient des drêches humides ou déshydratées, quel que soit le niveau d'incorporation et même à 40% (MS du régime) (Kalscheur, 2005).

Recommandations pour les bovins viande

Les drêches de maïs de distillerie ont une valeur énergétique pour les bovins en finition estimée à 120-150% de celle du maïs aplati. Cette différence diminue à mesure que la part de drêches augmente dans la ration (de 30 à 40%, par exemple) (Kononoff *et al.*, 2006). La valeur des drêches semble être plus faible dans les régimes de finition à base de maïs floconné à la vapeur que dans les régimes à base de maïs humide ou aplati (Klopfenstein *et al.*, 2008).

Des bovins en croissance ont été nourris avec succès avec jusqu'à 40% (MS du régime) de drêches humides ou déshydratée, sans que cela affecte la tendreté de la viande et sa palatabilité (Roeber *et al.*, 2005). Des bovins en

croissance nourris avec des niveaux modérés (15% de la MS du régime) de drêches déshydratées ont eu des performances de croissance et de carcasse similaires à celle des animaux ayant reçu le régime témoin (Depenbusch *et al.*, 2009). Chez les bovins en croissance ou en finition, les drêches humides et déshydratées ont abouti à des performances similaires (Ham *et al.*, 1994). En bouvillons, l'inclusion de 15% de drêches de maïs ou de sorgho dans des régimes à base de maïs floconné à la vapeur n'a pas affecté la digestibilité apparente de la ration (May *et al.*, 2010). Les drêches de maïs introduites à 20% (MS du régime) peuvent compléter efficacement des rations à base d'orge (Eun *et al.*, 2009).

Valorisation dans l'alimentation des porcs

La disponibilité croissante des drêches de maïs depuis les années 1990 a permis d'envisager leur utilisation dans l'alimentation des porcs. Les drêches de maïs de distillerie déshydratées sont une source d'énergie et de protéines qui

peut remplacer en partie les céréales et les ingrédients riches en protéines dans l'alimentation des porcs, tant que l'équilibre en acides aminés du régime est respecté (par un apport d'acides aminés industriels par exemple).

Valeurs énergétiques

La valeur énergétique des drêches de maïs de distillerie est légèrement inférieure à celle du maïs en ce qui concerne les énergies digestible et métabolisable, et nettement plus faible

pour l'énergie nette (2300 vs 3080 kcal/kg MS) (EvaPig, 2010).

P rotéines et phosphore

Les drêches de maïs de distillerie sont une source de protéines pour les porcs, mais leur équilibre en acides aminés est médiocre avec des teneurs relativement faibles en lysine et en tryptophane. La digestibilité de la plupart des acides aminés est d'environ 10 points inférieure à celle des acides

aminés du maïs, la digestibilité de la lysine étant la plus faible (-20 points) et la plus variable.

Les drêches de maïs peuvent être une bonne source de phosphore pour le porc avec une assez haute disponibilité (60%, Pedersen *et al.*, 2007).

R ecommandations

La plupart des essais montrent que les porcelets, les porcs en croissance-finition et les truies peuvent tolérer des taux d'inclusion plutôt élevés de drêches de maïs sans dégradation sensible de leurs performances tant que le régime est équilibré en acides aminés (Stein *et al.*, 2009). Toutefois, des ingestions réduites sont observées lorsque l'ingestion et l'appétit sont des facteurs limitant (porcelets et truies en lactation). La palatabilité inférieure et la teneur en fibres alimentaires des drêches de maïs peuvent alors avoir un effet négatif sur la consommation à des taux élevés d'incorporation dans le régime.

Dans la pratique, un taux maximal d'incorporation de 20% est recommandé chez les porcelets, les porcs charcutiers et les truies en lactation. Des niveaux plus élevés (jusqu'à 50%) peuvent être donnés aux truies gestantes sans effets néfastes

sur la performance. Accoutumer les truies aux drêches de maïs de distillerie durant la gestation prévient la baisse d'ingestion liée à ce produit quand il commence à être proposé seulement en début de lactation. Ces régimes peuvent contribuer à améliorer le bien-être de truies gestantes nourries de façon restreinte (Stein *et al.*, 2009). Les porcs en finition peuvent tolérer des niveaux d'inclusion plus élevés, mais le taux élevé de graisses insaturées dans les drêches de maïs combiné avec une teneur relativement élevée en lipides peut entraîner la formation de gras mous, mal adaptés à la transformation et à la conservation de la carcasse. Certains auteurs suggèrent même de supprimer totalement les drêches de maïs au cours des 2-3 dernières semaines avant l'abattage afin de réduire le taux d'acides gras insaturés dans la graisse corporelle.

Tableau 3 : Valeurs alimentaires des drêches de maïs de distillerie destinées aux porcs

Digestibilité de l'énergie (porc croissance) (%)	67
Energie digestible (porc croissance) (kcal/kg MS)	3 450
Energie métabolisable (porc croissance) (kcal/kg MS)	3 240
Energie nette (porc croissance) (kcal/kg MS)	2 260
Digestibilité fécale de l'azote (porc croissance) (%)	63
Digestibilité de l'énergie (porc adulte) (%)	76
Energie digestible (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 940
Energie métabolisable (porc adulte) (kcal/kg MS)	3 640
Energie nette (porc adulte) (kcal/kg MS)	2 560
Digestibilité fécale de l'azote (porc adulte) (%)	72

V alorisation dans l'alimentation des volailles

Les drêches de maïs de distillerie séchées sont des matières premières intéressantes pour l'alimentation des volailles. Leur forte teneur en fibres, par rapport à celle des grains de maïs, est compensée par des teneurs en protéines et en matières grasses plus élevées, ce qui conduit à des niveaux d'EM (énergie métabolisable) comparables (Cozannet *et al.*, 2010). Cependant, la variabilité de l'EM est assez élevée. Ceci est dû aux différents processus technologiques utilisés et à la sévérité des traitements thermiques effectués durant la production : les échantillons sombres (surchauffés) ont tendance à avoir une valeur énergétique plus faible que les échantillons plus clairs (Fastinger *et al.*, 2006). L'énergie est également plus élevée pour les coquelets que pour les jeunes poulets (Skiba *et al.*, 2009 ; Cozannet *et al.*, 2010).

Les drêches de maïs de distillerie séchées ont une teneur élevée en protéines ; elles sont donc utiles pour l'alimentation

des volailles. Leur profil en acides aminés est légèrement moins favorable que celui du maïs, en particulier pour la lysine, la méthionine et la cystéine. Par ailleurs, la digestibilité des acides aminés des drêches est plus faible que celle du maïs grain, en particulier pour la cystine, la lysine et la thréonine (Fastinger *et al.*, 2006). L'origine technologique des drêches de maïs de distillerie a un effet sur la lysine, en particulier parce que cet acide aminé peut être endommagé au cours du processus. De même que pour l'énergie, les échantillons plus sombres semblent avoir une digestibilité de la lysine plus faible (Batal *et al.*, 2006), en particulier pour les jeunes animaux (Adedokun *et al.*, 2008). Dans l'ensemble, la teneur en acides aminés et la digestibilité peuvent être variables, et il est bénéfique de recourir à des acides aminés digestibles dans la formulation des aliments.

P oulets de chair

Les drêches de maïs de distillerie sont utilisées efficacement par les poulets de chair à des taux d'inclusion inférieurs à 20 % (Wang *et al.*, 2007a ; Wang *et al.*, 2007c ; Wang *et al.*, 2008b). Cependant, certains auteurs ont rapporté une réduction des performances de croissance et/ou de l'efficacité alimentaire des poulets de chair, à des taux de 18 % (Lumpkins *et al.*, 2004), ou 25 % et au-dessus (Wang *et al.*, 2007a ; Wang *et al.*, 2007b). Des baisses de performances ont été signalées lorsque 9 ou 12 % de drêches de maïs de distillerie ont été inclus dans le régime (Shalash *et al.*, 2009 ; Skiba *et al.*, 2009), tandis que dans d'autres cas, des niveaux allant jusqu'à 24 % n'ont pas altéré les performances des animaux (Shim *et al.*, 2011). Cela peut être dû à la qualité variable des drêches et à la formulation des régimes expérimentaux.

La comparaison d'échantillons de drêches de maïs de distillerie de qualité (obscurité) différente a montré que les échantillons sombres induisaient des performances de croissance plus faibles, avec une forte corrélation ($R = 0,74$) entre la valeur de luminance et le gain de poids (Cromwell *et*

al., 1993). Des taux d'inclusion élevés (30 %) peuvent également conduire à des problèmes de qualité des granulés qui pourraient également expliquer des performances réduites (Wang *et al.*, 2008a).

La qualité de la viande ne semble pas être affectée par la présence de drêches de maïs de distillerie dans les régimes pour volailles (Corzo *et al.*, 2009), sauf à des taux d'inclusion élevés qui peuvent conduire à une teneur plus élevée en acides gras insaturés dans la viande (ce qui est un avantage nutritionnel, mais peut augmenter le risque d'oxydation des lipides) (Schilling *et al.*, 2010).

En conclusion, les taux d'inclusion optimaux sont de 6 % pour les animaux en démarrage, et 12 à 15 % pour les animaux en croissance et finition (Lumpkins *et al.*, 2004). Ces niveaux peuvent être augmentés à 20 % et au-dessus pour des drêches de très bonne qualité (claires) lorsque le régime est équilibré, et particulièrement en ce qui concerne le niveau de lysine digestible.

P oules pondeuses

En poules pondeuses, les drêches de maïs de distillerie ont été testées avec succès à des taux d'inclusion de 25 % (Masa'deh *et al.*, 2008). L'ingestion, la production et la qualité des œufs ne sont pas affectées, et la couleur du jaune est plus intense avec l'incorporation des drêches de maïs. Des taux de 32 % ont également été testés sans effets sur les performances, au cours d'un essai où un taux d'inclusion de 16 % a amélioré les performances par rapport au régime témoin. La qualité des œufs (indice de Haugh, préférence des consommateurs) a été améliorée par l'addition de drêches de

maïs (Loar *et al.*, 2010). En revanche, certaines expériences ont montré une légère diminution de la production d'œufs à des taux d'incorporation supérieurs à 10 % (Roberson *et al.*, 1985 ; Shalash *et al.*, 2010).

Un taux d'inclusion optimal de 15 % peut être suggéré. Des taux plus élevés peuvent probablement être utilisés avec des drêches de maïs de distillerie de très bonne qualité, à condition que l'aliment soit bien formulé.

Dindes

Pour les dindes, une réduction des performances a été observée à des taux d'inclusion élevés, mais 10 % de drêches

de maïs en phase de croissance et finition semblent sans conséquences (Roberson, 2003).

Canards

Chez les canards mâles, l'inclusion de 12 % de drêches de maïs de distillerie dans le régime alimentaire n'a pas diminué la performance sur une période de 5 à 12 semaines (Peillod *et al.*, 2010). Des taux plus élevés (jusqu'à 24 %) réduisent la performance des jeunes animaux, mais n'ont eu aucun effet

significatif sur l'ensemble de la période d'essai. Un niveau d'inclusion recommandable pourrait être de 10 à 15 % de drêches de maïs de distillerie pour les jeunes canards, et jusqu'à 20 % pour des animaux plus âgés.

Tableau 4 : Valeurs alimentaires des drêches de maïs de distillerie destinées aux volailles

Energie métabolisable (coq) (kcal/kg MS)	2 970
Energie métabolisable (poulet) (kcal/kg MS)	2 900

- AGPM, 2013. Le bioéthanol. Association Générale des Producteurs de Maïs
- Archibeque, S. L. ; Freetly, H. C. ; Ferrell, C. L., 2008. Feeding distillers grains supplements to improve amino acid nutriture of lambs consuming moderate-quality forages. *J. Anim. Sci.*, 86 (3): 691-701
- Birkelo, C. P. ; Brouk, M. J. ; Schingoethe, D. J., 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87 (6): 1815-1819
- Carvalho, L. P. F. ; Melo, D. S. P. ; Pereira, C. R. M. ; Rodrigues, M. A. M. ; Cabrita, A. R. J. ; Fonseca, A. J. M., 2005. Chemical composition, in vivo digestibility, N degradability and enzymatic intestinal digestibility of five protein supplements. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119 (1-2): 171-178
- 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.
- Clark, P. W. ; Armentano, L. E., 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.*, 76: 2644-2650
- Crawshaw, R., 2004. Co-product feeds: animal feeds from the food and drinks industries. Nottingham University Press
- Cyriac, J. ; Abdelqader, M. M. ; Kalscheur, K. F. ; Hippen, A. R. ; Schingoethe, D. J., 2005. Effect of replacing forage fiber with non-forage fiber in lactating dairy cow diets. *J. Dairy Sci.*, 88 (Suppl. 1): 252
- Deppenbusch, B. E. ; Loe, E. R. ; Sindt, J. J. ; Cole, N. A. ; Higgins, J. J. ; Drouillard, J. S., 2009. Optimizing use of distillers grains in finishing diets containing steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.*, 87 (8): 2644-2652
- Eun, J. S. ; ZoBell, D. R. ; Wiedmeier, R. D., 2009. Influence of replacing barley grain with corn-based dried distillers grains with solubles on production and carcass characteristics of growing and finishing beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 152 (1-2): 72-80
- EvaPig, 2010. EvaPig: A calculator of energy, amino acid and phosphorus values of ingredients and diets for growing and adult pigs. INRA, Ajinomoto Eurolysine SAS, AFZ
- FAO, 2011. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Fastinger, N. D. ; Latshaw, J. D. ; Mahan D.C., 2006. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with solubles in adult cecectomized roosters. *Poult. Sci.*, 85 (7):1212-1216
- Fernandez-Cornejo, J. ; Caswell, M., 2006. The first decade of genetically engineered crops in the United States. USDA Economic Information Bulletin No. (EIB-11) 36 pp, April 2006
- Firkins, J. L. ; Berger, L. L. ; Fahey, G. C. ; Merchen, N. R., 1984. Ruminant nitrogen degradability and escape of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feed. *J. Dairy Sci.*, 67:1936-1944.
- Fox, J. A., 2008. The value of distillers' dried grains in large international markets. In: Babcock, B. A.; Hayes, D. J.; Lawrence, J. D.(Eds) Using distillers' grains in the US and international livestock and poultry industries. MATRIC, Iowa State University
- Gehman, A. M. ; Kononoff, P. J., 2010. Utilization of nitrogen in cows consuming wet distillers grains with solubles in alfalfa and corn silage-based dairy rations. *J. Dairy Sci.*, 93 (7): 3166-3175
- Gehman, A. M. ; Kononoff, P. J., 2010. Nitrogen utilization, nutrient digestibility, and excretion of purine derivatives in dairy cattle consuming rations containing corn milling co-products. *J. Dairy Sci.*, 93 (8): 3641-3651
- Gould, D. H., 1998. Polioencephalomalacia. *J. Anim. Sci.*, 76 (1): 309-314
- Ham, G. A. ; Stock, R. A. ; Klopfenstein, T. J. ; Larson, E. M. ; Shain, D. H. ; Huffman, R. P., 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.*, 72: 3246-3257
- Hayes, D. J., 2008. Introduction. In: Babcock, B. A.; Hayes, D. J.; Lawrence, J. D.(Eds) Using distillers' grains in the US and international livestock and poultry industries. MATRIC, Iowa State University
- 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
- Hutjens, M. F., 2004. Questions about wet distillers'. *Hoard's Dairyman*, 149:261
- Iliev, F. ; Kozelov, L., 2008. Effect of dried distillers grains inclusion in female lambs ration. *Zhivotnov'dni Nauki*, 45 (3): 70-73
- Kalscheur, K. F., 2005. Impact of feeding distillers grains on milk fat, protein, and yield. Proc. Distillers Grains Technology Council, 10th Annual Symposium, Louisville, KY
- Kelzer, J. M. ; Kononoff, P. J. ; Gehman, A. M. ; Tedeschi, L. O. ; Karges, K. ; Gibson, M. L., 2009. Effects of feeding three types of corn-milling coproducts on milk production and ruminal fermentation of lactating Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 92 (10): 5120-5132
- Kelzer, J. M. ; Kononoff, P. J. ; Tedeschi, L. O. ; Jenkins, T. C. ; Karges, K. ; Gibson, M., 2010. Evaluation of protein fractionation and ruminal and intestinal digestibility of corn milling co-products. *J. Dairy Sci.*, 93 (6): 2803-2815
- Kelzer, M. ; Popowski, J. M. ; Bird, S. ; Cox, R. B. ; Crawford, G. I. ; DiCostanzo, A., 2011. Effects of including low fat, high protein dried distillers grains in finishing diets on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers. University of Minnesota Beef Report Publication BR-1104
- Keshun Liu, 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *J. Agric. Food Chem.*, 59 (5): 1508-1526
- Kleinschmit, D. H. ; Schingoethe, D. J. ; Kalscheur, K. F. ; Hippen, A. R., 2006. Evaluation of various sources of corn distillers dried grains plus solubles for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89 (12): 4784-4794
- Kleinschmit, D. H. ; Anderson, J. L.;Schingoethe, D. J. ; Kalscheur, K. F. ; Hippen, A. R., 2006. Ruminal and intestinal digestibility of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.*, 90 (6): 2909-2918
- Klopfenstein, T. J. ; Erickson, G. E. ; Bremer, V. R., 2008. Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.*, 86 (5): 1223-1231

- Kononoff, P. J. ; Erickson, G. E., 2006. Feeding corn milling co-products to dairy and beef cattle. 21st Annual Southwest Nutrition & Management Conference. February 23-24, 2006. Tempe, AZ - 155
- Lewis, M., 2002. Distillery feeds and copper. Organic farming technical summary, Scottish Agricultural College
- Lyons, T. P., 2003. Production of Scotch and Irish whiskies: their history and evolution. In: Jacques, K. A.; Lyons, T. P.; Kelsall, D. R. (Eds) The alcohol textbook: a reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries/ Nottingham University Press
- May, M. L. ; DeClerck, J. C. ; Quinn, M. J. ; DiLorenzo, N. ; Leibovich, J. ; Smith, D. R. ; Hales, K. E., 2010. Corn or sorghum wet distillers grains with solubles in combination with steam-flaked corn: feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract digestibility. J. Anim. Sci., 88 (7): 2433-2443
- McAloon, A.; Taylor, F.; Yee, W.; Ibsen, K.; Wooley, R., 2000. Determining the cost of producing ethanol from cornstarch and lignocellulosic feedstocks. Technical Report NREL/TP-580-28893. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA
- McKeown, L. E.; Chaves, A. V.; Oba, M.; Dugan, M. E. R.; E. Okine; McAllister, T. A., 2010. Effects of corn-, wheat- or triticale dry distillers' grains with solubles on in vitro fermentation, growth performance and carcass traits of lambs. Can. J. Anim. Sci., 90 (1): 99-108
- Mosier, N. ; Ileleji, K., 2006. How fuel ethanol is made from corn. Purdue University, ID-328. Department of Agricultural and Biological Engineering
- Nichols, J. R. ; Schingoethe, D. J. ; Maiga, H. A. ; Brouk, M. J. ; Piepenbrink, M. S., 1998. Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 81 (2): 482-491
- Nuez-Ortin, W. G. ; Yu PeiQiang, 2010. Estimation of ruminal and intestinal digestion profiles, hourly effective degradation ratio and potential N to energy synchronization of co-products from bioethanol processing. J. Sci. Food Agric., 90 (12): 2058-2067
- Owen, F. G. ; Larson, L. L., 1991. Corn distillers dried grains versus soybean meal in lactation diets. J. Dairy Sci., 74 (3): 972-979
- Pedersen, C. ; Boersma, M. G. ; Stein, H. H., 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. J. Anim. Sci., 85 (5): 1168-1176
- Piron, F. ; Bruyer, D. ; Théwis, A. ; Beckers Y., 2009. European bioethanol by-products from cereal grains have a variable composition. Huitièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 25 et 26 mars 2009
- Powers, W. J. ; Van Horn, H. H. ; Harris, B. ; Wilcox, C. J., 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition. J. Dairy Sci., 78:388-396.
- Rausch, K. D. ; Belyea, R. L., 2006. The future of coproducts from corn processing. Appl. Biochem. Biotech. 128:47-85
- Roeber, D. L. ; Gill, R. K. ; DiCostanzo, A., 2005. Impact of feeding distillers grains on beef tenderness and sensory traits. J. Anim. Sci., 83:22
- 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
- Sauvant, D., 2011. Personal communication. UMR Mosar, Département SVS, AgroParisTech
- Schingoethe, D. J., 2006. Can we feed more distillers grains? Tri-State Dairy Nutrition Conference, April 25 and 26, 2006
- Schroeder, J. W., 2010. Distillers grains for dairy cattle. North Dakota Extension Service, AS-1241
- Stein, H. H. ; Shurson, G. C., 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. J. Anim. Sci., 87 (4): 1292-1303
- US EPA, 2010. Renewable fuel standard program (RFS2) regulatory impact analysis. US Environmental Protection Agency
- US EPA, 2011. Ethanol Plant Clean Air Act Enforcement Initiative. US Environmental Protection Agency, Civil Enforcement Information Resources
- USGC, 2012. A guide to Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS). 3rd Ed. U.S. Grain Council
- Vanness, S. J.; Klopfenstein, T. J.; Erickson, G.E.; Karges, K. K., 2009. Sulfur in distillers grains. Nebraska Beef Report, 79-80
- Weir, R. C., 1984. Distilling and agriculture 1870-1939. Agricultural History Review, 32 (1): 49-62
- Weiss, B.; Eastridge, M.; Shoemaker, D.; St-Pierre, N., 2007. Distillers Grains. Ohio State University, Ohio State University Extension Factsheet
- Wilson, B., 2008. Swindled: The dark history of food fraud, from poisoned candy to counterfeit coffee. Princeton University Press, 400 p.
- 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
- Yue Qun; Yang HongJian; Xie ChunYuan; Yao XueBo; Wang JiaQi, 2007. Estimation of protein intestinal digestibility of ruminant feedstuffs with mobile nylon bag technique and three-step in vitro procedure. J. China Agric. Univ., 12: 62-66

Rédaction : Valérie Heuzé et Gilles Tran (AFZ : Association Française de Zootechnie) - Benoît Rouillé (Institut de l'Élevage)

Conception : Marie-Catherine Leclerc (Institut de l'Élevage) - **Mise en page** : Corinne Maignet (Institut de l'Élevage)

Sources : AFZ et Feedipedia (www.feedipedia.org) - **Crédit photo** : DR - **Réf IE** : 0016 302 008 - Avril 2017