

Drêches de céréales issues de la production de bioéthanol : une revue

SAUVANT D. (1,2), HEUZE V. (3), TRAN G. (3), CHAPOUTOT P. (1,2)

(1) AgroParisTech UMR 791 MoSAR, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS CEDEX 05, France

(2) INRA UMR 791 MoSAR, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS CEDEX 05, France

(3) AFZ, Association Française de Zootechnie, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS CEDEX 05, France

RESUME

Les drêches de céréales sont les principaux coproduits de la production d'éthanol à usage de carburant. Leur disponibilité a crû de façon exponentielle au cours des 40 dernières années. La production d'éthanol, inexistante dans les années 70, s'élève aujourd'hui à plus de 120 milliards de litres et les tonnages mondiaux de drêches issues de la production de bioéthanol sont de l'ordre de 50 millions de tonnes. En Amérique du Nord et en Europe, le bioéthanol est principalement issu de la transformation des céréales (maïs et sorgho pour les USA, blé et orge pour le Canada et l'Europe).

Les drêches de céréales sont des produits dont les éléments non fermentescibles (protéines, minéraux, éventuels contaminants) sont très concentrés par rapport aux grains dont elles sont issues. De ce fait, les drêches, aliments riches en protéines (30 à 40% de la MS), ont donc de nombreux atouts pour l'alimentation des animaux d'élevage et notamment des ruminants. Cependant, les drêches présentent une variabilité qualitative non négligeable. Cette variabilité est expliquée par : des différences de procédés existant d'une usine à l'autre et d'un pays à l'autre, l'utilisation comme matière première de différentes espèces de céréales (et à l'intérieur d'une espèce, de différentes variétés) ou encore par les conditions de culture des céréales utilisées. Enfin, le secteur de la production de bioéthanol est très innovant et les procédés de fermentation évoluent rapidement dans le temps, provoquant des modifications de composition fréquentes des coproduits. Le nombre de publications scientifiques sur les drêches s'accroît également de façon exponentielle, témoignant de l'intérêt de la recherche pour ces produits.

Dans le cadre du programme INRA-CIRAD-AFZ Feedipedia, auquel la FAO s'est jointe, une revue des éléments déterminants de la qualité des drêches de blé et de maïs a été effectuée. Elle propose une synthèse sur les procédés de fabrication et les caractéristiques majeures des drêches générées. Les principaux facteurs de risques ou limites liés à l'utilisation des drêches sont également identifiés. Une typologie des drêches, sur la base de la composition chimique et des caractéristiques nutritionnelles, a été établie à partir d'un grand nombre de données de composition issues des laboratoires ou de la bibliographie et de données expérimentales sur animaux. Pour chaque type de drêche, caractérisé par ses caractéristiques moyennes et sa variabilité, les recommandations nutritionnelles (niveau d'incorporation dans les rations, supplémentation) et leurs effets attendus sur les performances zootechniques des animaux d'élevage sont proposées. La revue met ainsi en évidence les points forts et les points faibles de ces drêches issues de la distillerie de produits amylacés. Elle souligne également des points qui demandent à être précisés comme leur teneur en énergie disponible pour les animaux.

Cereal distillers' grains from ethanol production, a review

SAUVANT D. (1,2), HEUZE V. (3), TRAN G.(3), CHAPOUTOT P.(1,2)

(1) AgroParisTech UMR 791 MoSAR, 16 rue Claude Bernard, 75231 PARIS CEDEX 05, France

SUMMARY

Cereal distillers' grains are the main byproducts of ethanol production for fuel use. Their availability has grown exponentially over the 40 past years. Ethanol production, inexistent in the 1970s, now stands at more than 120 billion liters and global tonnage of distillers' grains from the production of bio-ethanol is about 50 million tons. In North America and Europe, bioethanol is mainly produced from the processing of cereals (maize and sorghum for the U.S., wheat and barley in Canada and Europe).

Distillers' grains are cereal products with non-fermentable components (proteins, minerals, potential contaminants) and are highly concentrated compared to the grains from which they originate. Therefore, these protein-rich feedstuffs (30-40 of CP% DM) have many advantages for feeding livestock including ruminants. However, distiller's grains have a significant qualitative variability. This variability is explained by differences in existing processes from a plant to another, by the use of different grain species (and within a species, different varieties) as raw material or by the growing conditions of the cereals used. Finally, the bioethanol production sector is very innovative and fermentation processes evolve rapidly over time, resulting in frequent changes of composition of the byproducts. The number of scientific publications on distillers' grains has also been increasing exponentially, reflecting the interest of research for these products. Under the INRA-CIRAD- AFZ Feedipedia program, now joined by the FAO, a review of the determinants of the quality of wheat and corn DDGS was performed. It offers an overview of the processes and the major characteristics of the resulting distiller's grains. The main risk factors or limitations related to the use of distillers' grains were also identified. A typology of distillers' grains, on the basis of their chemical composition and nutritional characteristics, was established from a large number of compositional data and *in vivo* experimental data from laboratories or literature. For each type of distillers' grains, characterized by its average characteristics and variability, nutritional recommendations (level of inclusion in the diet, supplementation) and their expected effects on animal performance are proposed. The review highlights the strengths and weaknesses of these byproducts from the distillery of cereal starches. It also highlights issues that need to be specified, such as their energy content available for animals

INTRODUCTION

Les drêches de céréales sont les principaux coproduits de la production d'éthanol à usage de carburant. Leur disponibilité a crû de façon exponentielle au cours des 40 dernières années. La production d'éthanol, inexistante dans les années 70, s'élève aujourd'hui à plus de 120 milliards de litres et les tonnages mondiaux de drêches issues de la production de bioéthanol sont de l'ordre de 50 millions de tonnes. En Amérique du Nord et en Europe, le bioéthanol est principalement issu de la transformation des céréales (maïs et sorgho pour les USA, blé et orge pour le Canada et l'Europe). Simultanément, la recherche s'est intéressée de plus en plus à ces produits. Une rapide recherche sur le WOS indique que jusqu'en 2005 le nombre de publications avec les mots clefs « Distillers grain » était de l'ordre de 20-25/an. Ce nombre a progressé rapidement depuis pour atteindre l'ordre de 150/an actuellement.

Compte tenu de cette évolution rapide de la production et des recherches, il a semblé important de faire le point sur ces produits en s'appuyant notamment sur les synthèses effectuées à l'occasion du programme INRA-CIRAD-AFZ Feedipedia, auquel la FAO s'est jointe. Les fiches correspondantes à ces produits apportent de plus amples informations et sont disponibles sur le site www.feedipedia.org.

1. METHODES

1.1. LES TECHNOLOGIES ET LES PRODUITS

Un diagramme générique des principaux process mis en jeu est disponible sur <http://www.feedipedia.org/node/71>. Le grain subit d'abord un broyage souvent associé à une action d'enzymes amylolytiques. Le mélange riche en eau obtenu est chauffé puis refroidi pour permettre une nouvelle action enzymatique ainsi qu'une saccharification sous l'action de levures. Ce mélange ainsi obtenu est passé dans un fermenteur ce qui produit du CO₂ et surtout une sorte de « bière » qui subit alors une distillation pour extraire l'éthanol. Le coproduit de cette action est centrifugé pour isoler les drêches humides (Wet Distillers' Grains, WDG). Le résidu liquide constitue une sorte de sirop (Distillers' solubles, DS) qui peut être plus ou moins condensé. Le produit ultime est en général séché (Dried Distillers' Grains, DDG) pour en faciliter le transport et la manipulation. Les solubles peuvent être re-mélangés aux DDG en proportions variables (Dried Distillers' Grains with Solubles, DDGS).

1.2. LES VARIANTES TECHNOLOGIQUES

Des grandes variantes technologiques existent. Ainsi, lorsque le broyage est réalisé à sec, le son est préalablement séparé. Outre les « Corn distillers' », le process par voie sèche aboutit également au corn gluten meal et corn gluten feed, produits bien connus en alimentation animale. Plus récemment des variantes ont été recherchées en vue d'aboutir à des produits plus typés. Ainsi, des modifications du niveau d'inclusion des solubles, des modifications des processus fermentaires et de séparation aboutissent à des produits plus ou moins riches en lipides, protéines, fibres et phosphore.

2. VARIATIONS DE LA COMPOSITION CHIMIQUE

2.1. VALEURS MOYENNES

Les coproduits de distillerie du blé et du maïs se situent en position intermédiaire dans la diversité des aliments disponibles pour les ruminants, avec des étendues 25<NDF%MS<45 et 25<MAT%MS<45. Sur ce dernier critère les DDG de blé se situent plutôt vers 30 < MAT < 35%MS, donc nettement plus que les sons de blé, et les

sons de maïs entre 25 < MAT < 30%MS. Ils sont supérieurs au corn gluten feed mais nettement inférieurs au corn gluten meal. Il faut souligner un produit récent, les Corn-DDG –HP (HPDDGS), situés vers 40-45%MAT avec une teneur en NDF<30%MS : ce produit est donc destiné à concurrencer les grands tourteaux (colza, soja...). La teneur en matières grasses brutes (MG) varie selon les produits. Elle est d'environ 5%MS pour la plupart d'entre eux, mais l'ajout des solubles au maïs aboutit à des DDGS titrant plus de 10 MG%MS. Les teneurs en cendres se situent entre 3 et 7%MS.

2.2. VARIATIONS INTRA-TYPE

Pour chaque type de produit, il existe une variabilité de composition chimique qui permet de distinguer des types, comme le montre la Figure 1 à propos des teneurs en amidon des drêches de blé. La Figure 2 montre par ailleurs la variabilité de composition des drêches de maïs. On y constate l'influence sur les DDG d'un apport plus ou moins important des solubles, sachant qu'il y a quelques échantillons qui pourraient être classés dans l'autre catégorie. D'autre part, on voit nettement la discrimination du groupe récent des HPDDGS évoqué plus haut. Tous les critères de variabilité de la composition de ces produits ont été présentés dans les tables AFZ-INRA et ont été actualisés dans les fiches Feedipedia correspondantes.

Figure 1 Variabilité de teneurs en MAT et amidon des coproduits de distillerie du blé

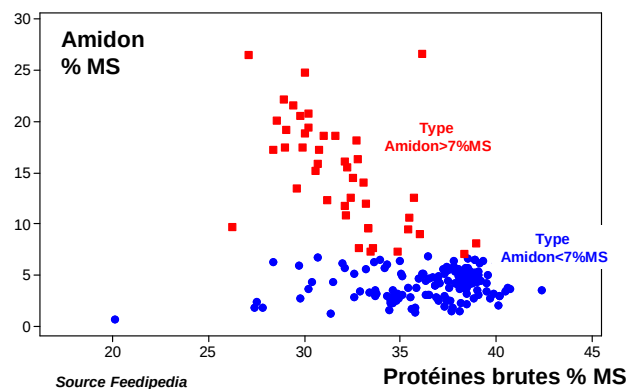
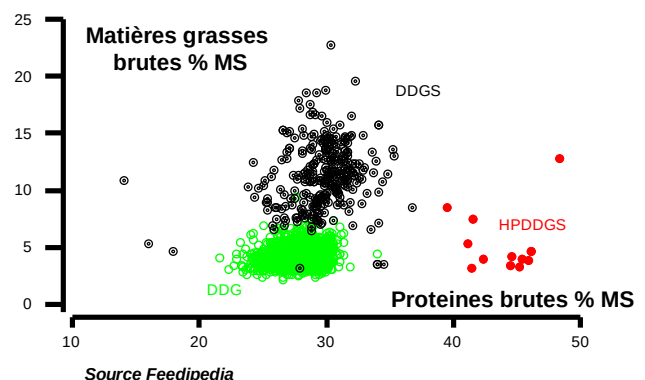


Figure 2 Variabilité de teneurs en MAT et MG des coproduits de distillerie du maïs

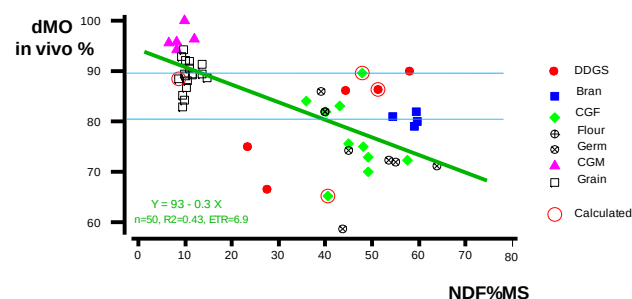


3. VARIATIONS DE LA VALEUR NUTRITIVE

3.1. DIGESTIBILITE ET VALEUR ENERGETIQUE

La Figure 3 présente des valeurs publiées de digestibilité de la matière organique (dMO) des produits du maïs chez les ruminants. La teneur en paille a une influence négative et significative, mais, pour une même valeur de NDF, la dMO varie largement (ETR=6.9%).

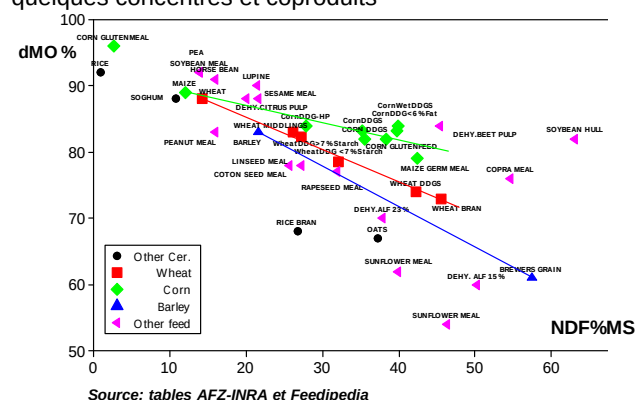
Figure 3 Influence de la teneur en NDF sur la dMO du maïs et de ses coproduits



Ces variations doivent provenir d'abord des différences méthodologiques d'un essai à l'autre. D'après ces données, les DDGS ont environ 10 points de moins de dMO que le maïs grain. Notons que, pour ces produits, les données des tables INRA-AFZ 2004 (Sauvant *et al* 2004) sont très proches de la régression obtenue. Ce résultat diffère *a priori* largement des études américaines de feedlots qui suggèrent que les DDGS humides possèderaient une valeur énergétique supérieure de 20 à 60% à celle du maïs grain (Konnonoff *et al* 2007), ce qui correspondrait à environ 1.5 à 2.0 UFL/MS ! Une explication à ces résultats très discutables est que les 16 comparaisons sont peu fiables car effectuées à partir des performances et, surtout, que les DDGS sont substituées à du maïs ayant subi un traitement hydro-thermique. Ce type de maïs qui représente la majeure partie de la ration, induit des phénomènes importants d'interaction digestive négative dans le rumen, et son plus faible niveau d'incorporation dans la ration au profit des DDGS atténue cette situation défavorable et aboutit à une surestimation de la dMO des DDGS par rapport au maïs traité (Erickson *et al* 2012). D'ailleurs, le NRC suggère pour les DDGS une valeur de l'ordre de 1.19 UFL/ kg MS, très comparable à celle des tables INRA-AFZ (1.17 UFL/kg MS). Notons que Losand *et al* (2009) ont suggéré que les DDGS de blé plus ou moins mélangées à de l'orge présentent une valeur énergétique stable autour de 1.13 UFL/kg MS.

La pente de -0.30 observée pour la relation de la Figure 3 est moins marquée que l'équivalent obtenu avec des coproduits du blé ou de l'orge (de l'ordre de -0.50) (Figure 4).

Figure 4 Relation entre la dMO et la teneur en NDF de quelques concentrés et coproduits



Ces écarts, déjà évoqués (Sauvant *et al* 2004), s'expliquent par le fait que les constituants pariétaux du grain de maïs sont plus digestibles que ceux du blé ou de l'orge. Cette différence s'applique donc également aux coproduits de ces deux types de céréales.

3.2. VALEUR PROTEIQUE

Les teneurs en MAT de ces produits ont été évoquées plus haut. Une analyse statistique a été réalisée sur une base de données regroupant 134 mesures de dégradabilité des

MAT (DTN6) issues de 13 études (publications ou jeux de données non publiés) portant sur 27 aliments concentrés incluant notamment ces coproduits du blé et du maïs (Chapoutot *et al* non publié). Elle indique, après correction de l'effet "étude", que les coproduits du blé présentent une faible dégradabilité théorique de l'azote (Moyenne $\pm$ Erreur type) ($n=12$, $55.6 \pm 4.7\%$), voisine de celle du tourteau de soja ($n=7$, $58.5 \pm 4.9\%$). En comparaison, les coproduits du maïs présentent une plus faible valeur de DTN6 ($n=14$, $45.3 \pm 3.7\%$), comparable à celle du maïs grain. Notons au passage que, d'après cette étude, les coproduits du blé et du maïs présentent une assez faible variabilité de la DTN6, du même ordre de grandeur que le tourteau de soja, mais plus faible que les tourteaux de colza ($n=3$, $71.7 \pm 7.2\%$), de tournesol ($n=3$, $75.3 \pm 7.2\%$), de coprah ($n=3$, $47.6 \pm 7.3\%$) et de palmiste ($n=3$, $58.0 \pm 7.2\%$).

Compte tenu des teneurs en MAT de ces produits, on aboutit à des teneurs en protéines échappant à la dégradation microbienne de 168 g/kg MS pour les coproduits du maïs et 142 g/kg MS pour ceux du blé. En comparaison, dans la même étude, les valeurs correspondantes sont de 185 g/kg MS pour le tourteau de soja, 105 g/kg MS pour le tourteau de colza, 111 g/kg MS pour le tourteau de coprah, 81 g/kg MS pour le tourteau de palmiste et 65 g/kg MS pour le tourteau de tournesol. On a donc affaire à de très bonnes sources de protéines protégées de la dégradation ruminale. Au niveau des valeurs de digestibilité intestinale des PIA (dr), évaluée par la méthode des sachets intestinaux, les coproduits du maïs et du blé se situent vers 93-95%. Dans les tables INRA-AFZ (2004) les valeurs proposées étaient inférieures (90% pour les DDG de maïs et 85% pour les drêches de blé). Ces valeurs sont inférieures au soja (environ 98% vs 95 dans les tables AFZ-INRA) mais supérieures au tourteau de colza (70% vs 79% dans les tables INRA-AFZ). Enfin, il convient de remarquer que, compte tenu de la composition en acides aminés essentiels des protéines des céréales, les teneurs en LysDi sont comprises entre 5 et 5.5% des PDIE (besoin 6.2%), pour les MetDi on se situe vers 1.9-2.0% (besoin 2.1%).

3.3. VALEUR MINERALE

Les drêches de maïs et de blé sont des aliments riches en phosphore. Cela présente de l'intérêt dans les rations par rapport à la nutrition des animaux, mais cela accroît les rejets de P, ce qui peut être un avantage à des fins d'amendements mais également un inconvénient en cas de milieu saturé en P.

D'autre part, les drêches contiennent, suite aux procédés, des sulfates qui sont transformés en hydrogène sulfuré (H_2S) dans le rumen, ce qui peut entraîner des troubles nerveux d'encéphalomalacie en cas d'ingestion de grandes quantités de drêches (Schoonmaker et Beitz, 2012).

4. INTERET DANS LES RATIIONS

Au Canada, de nombreuses études ont été conduites sur des bovins avec des drêches de blé qui se substituent principalement à du tourteau de colza pour des vaches laitières et à des céréales pour des bovins en croissance (Wheat DDG Feed Guide, 2011). Il apparaît que des substitutions allant jusqu'à plus de 30% de la MS ne modifient pas les performances des animaux. Dans certaines des études de croissance, la qualité de la carcasse a été mesurée et n'a pas mis en évidence d'effet de la substitution. Dans le cas du lait, les résultats de la production sont supérieurs ou égaux aux témoins et la qualité du lait n'est pas affectée. Holtshausen *et al* (2011) ont montré chez des bovins en croissance que la substitution d'orge par des drêches de maïs ou de blé n'avait pas d'influence sur le comportement alimentaire des animaux, le pH du rumen et l'indice de consommation. On

estime qu'en raison de leur faible teneur en amidon ces produits permettent d'atténuer le risque d'acidose pour les rations intensives. Les drêches ont parfois été considérées comme des sources de fibres, il conviendrait d'être prudent sur ce principe comme cela a été démontré par Li *et al* (2011) sur des bovins. Des essais de substitution à des céréales ont également été conduits avec des ovins en croissance : les résultats traduisent une amélioration de la nutrition des animaux (Archibèque *et al* 2008) et du GMQ (Lliev et Koselov, 2008). Dans les régimes de finition des feedlots, très riches en céréales traitées, l'apport de DDG ou DDGS de maïs est intéressant pour l'apport de protéines mais l'indice de consommation est altéré en cas de substitution importante (Galyean *et al* 2012).

CONCLUSION

Les drêches de céréales issues de la production de bioéthanol ont déjà fait l'objet de nombreuses études et quelques synthèses écrites ont été récemment publiées. La composition chimique de ces produits est connue. Pour les ruminants, la valeur protéique est maintenant assez bien établie : ces produits sont riches en protéines, et en particulier en protéines échappant à la digestion dans le rumen. Des débats demeurent sur l'estimation de la valeur énergétique suite à quelques surestimations publiées. Selon nous, les valeurs publiées dans les tables françaises ne sont pas à remettre en question.

Archibèque SL., Freetly HC., Ferrell C. L., 2008. J. Anim. Sci., 86 (3): 691-701.

Sauvant D., Perez JM., Tran G., (éds), 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. 2^{ème} édition, revue et corrigée. INRA - AFZ, Paris, 304 pages.

Erickson GE., Klopfenstein TJ., Watson AK., 2012. Rapport FAO « Biofuel co-products as livestock feed », 77-99.

Galyean ML., Cole NA., Brown MS., McDonald JC., Ponce CH., Schultz JC., 2012. Rapport FAO « Biofuel co-products as livestock feed », 61-76.

Heuzé V., Sauvant D., Tran G., Bastianelli D., Lebas F., Lessire M., Noblet J., Renaudeau D., 2013. Corn distillers. Feedipedia.org. A programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <http://www.feedipedia.org/node/71>

Heuzé V., Sauvant D., Tran G., Lebas F., Lessire M., Noblet J., 2013. Wheat distillers. Feedipedia.org. A programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <http://www.feedipedia.org/node/4265>

Holtshausen L., Beauchemin KA., Schwartzkopf-Genswein KS., Gonzalez LA., McAllister TA., Gibb DJ., 2011. Can. J. Anim. Sci., 91 (4): 703-710 Li *et al* 2011.

Li YL., McAllister LTA., Beauchemin KA., He ML., McKinnon JJ., Yang WZ., 2011. J. Anim. Sci., 89 (8): 2491-2501.

Lliev F., Kozelov L., 2008. Zhivotnov'dni Nauki, 45 (3): 70-73.

Losand, B.; Preissinger, W.; Spiekers, H.; Urdl, M.; Gruber, L., 2009. Zuchtungskunde, 173-179.

Schoonmaker et Beitz, 2012. Rapport FAO « Biofuel co-products as livestock feed », 101-113

Wheat DDG Feed Guide, 2011. Wheat <http://www.wcfin.ca/>