

Valeur nutritive des drêches de blé et de maïs pour les volailles

P. COZANNET^{1,2,4}, M. LESSIRE³, J.-P. MÉTAYER⁴, C. GADY⁵, Y. PRIMOT⁶, P.-A. GERAERT⁵,
L. LE TUTOUR⁶, F. SKIBA⁷, J. NOBLET^{1,2*}

¹ INRA, UMR1079 Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, F-35590 Saint-Gilles, France
² Agrocampus Ouest, UMR1079 Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, F-35000 Rennes, France

³ INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France

⁴ ARVALIS Institut du végétal, F-91720 Boigneville, France

⁵ ADISSEO France SAS, Antony Parc 2, 10 Place du Général de Gaulle, F-92160 Antony, France

⁶ AJINOMOTO EUROLYSINE S.A.S., 153 rue de Courcelles, F-75817 Paris, France

⁷ ARVALIS Institut du végétal, 21 chemin de Pau, F-64121 Montardon, France

* Courriel: Jean.Noblet@rennes.inra.fr

Les drêches, coproduits des industries des bioénergies, constituent des matières premières prometteuses pour l'alimentation animale. Leur disponibilité, importante et croissante, 3 millions de tonnes de drêches de blé en Europe et 40 millions de tonnes de drêches de maïs au Etats-Unis, nécessite pour les producteurs de trouver de nouveaux débouchés. L'alimentation des volailles est une solution. Mais cet emploi nécessite une bonne connaissance de la valeur nutritive de ces produits pour une incorporation optimale dans les aliments composés.

L'emploi d'éthanol en substitution des énergies fossiles a connu un essor important depuis le début des années 2000, essor qui devrait se poursuivre dans les prochaines années (Windhorst 2007). Le bioéthanol de 1^{ère} génération est obtenu par fermentation de glucose par des levures, puis distillation de l'alcool. Ce glucose provient de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon des céréales (blé, orge ou triticale en Europe et maïs ou sorgho aux USA) ou du saccharose des betteraves sucrières (Europe) ou de la canne à sucre (Brésil). Les procédés de production de seconde génération basés sur l'utilisation des parois lignocellulosiques des végétaux sont encore en développement. Lorsque la production d'éthanol est réalisée à partir de céréales, les coproduits obtenus sont majoritairement les drêches, aussi appelées DDGS pour «*Dried Distillers Grains with Solubles*», qui contribuent pour une part importante à la rentabilité de la filière (25 à 30% du chiffre d'affaires des usines). Ces coproduits utilisés jusqu'à présent essentiellement pour l'alimentation des ruminants, deviennent, avec l'augmentation des volumes de bioéthanol produit, disponibles pour l'alimentation des animaux monogastriques. L'adoption rapide de cette matière première constitue donc un challenge pour l'industrie de l'alimentation animale, notamment pour les secteurs porcin (Cozannet *et al* 2009) et avicole. Cependant, très peu de données sont disponibles sur la valeur nutritive

de ces produits, notamment pour les drêches de blé qui intéressent plus spécifiquement le marché européen. Les données beaucoup plus nombreuses sur les drêches de maïs, partiellement extrapolables aux drêches de blé, indiquent que ces coproduits ont des compositions chimiques et des propriétés physiques extrêmement variables selon les technologies mises en œuvre (Spiehs *et al* 2002) et donc des valeurs nutritives potentiellement très variables.

L'objectif de cette synthèse est de résumer les résultats obtenus sur l'utilisation des drêches de blé et de maïs chez les volailles. Les résultats sur les drêches de blé sont pour l'essentiel issus d'un projet conduit en France et portant sur l'étude de leur valeur nutritive chez le porc et différentes catégories de volailles (Cozannet *et al* 2010a, b, c et d).

1 / Les étapes principales de la production de bioéthanol à partir des céréales et leurs implications sur les caractéristiques des drêches de bioéthanol

La production d'éthanol à partir de céréales est réalisée sur la base de procédés industriels dérivés de la production d'alcool de bouche avec des adaptations qui affectent le profil en

nutriments des drêches. Deux points clés expliquent les différences de composition entre produits issus de procédés de fabrication différents (figure 1).

Tout d'abord, les facteurs liés au procédé de fermentation, à la méthode de séchage ou encore à la proportion de fractions solubles dans le produit final, affectent les caractéristiques chimiques et physiques du produit (Belyea *et al* 2004). Les effets de ces facteurs se traduisent en particulier par des différences de couleur et d'odeur des produits, deux critères de premier ordre fortement corrélés aux mesures de valeur nutritive (Cromwell *et al* 1993). Les mesures de couleur réalisées à l'aide d'un chromamètre Minolta indiquent une variation des valeurs de luminance (L ; noir = 0, blanc = 100) de 43 à 63 pour les drêches de blé et de 28 à 55 pour les drêches de maïs (tableau 1). En parallèle, l'odeur varie du brûlé au légèrement fermenté pour les produits sombres et les produits clairs, respectivement. La couleur et l'odeur des produits doivent donc être pris en compte lors de l'étude des drêches de blé et de maïs. En relation avec la distribution non homogène des valeurs de luminance observée dans le cas des drêches de blé et des drêches de maïs, dans les parties suivantes de ce document, ne seront pris en compte que les produits avec une valeur de luminance supérieure à 33 et 50 pour respectivement les drêches de maïs et les drêches de blé. Ces produits seront

Figure 1. Représentation schématique des principaux facteurs de variation affectant le rendement de production d'éthanol et la qualité des coproduit (adapté de Olentine 1986).

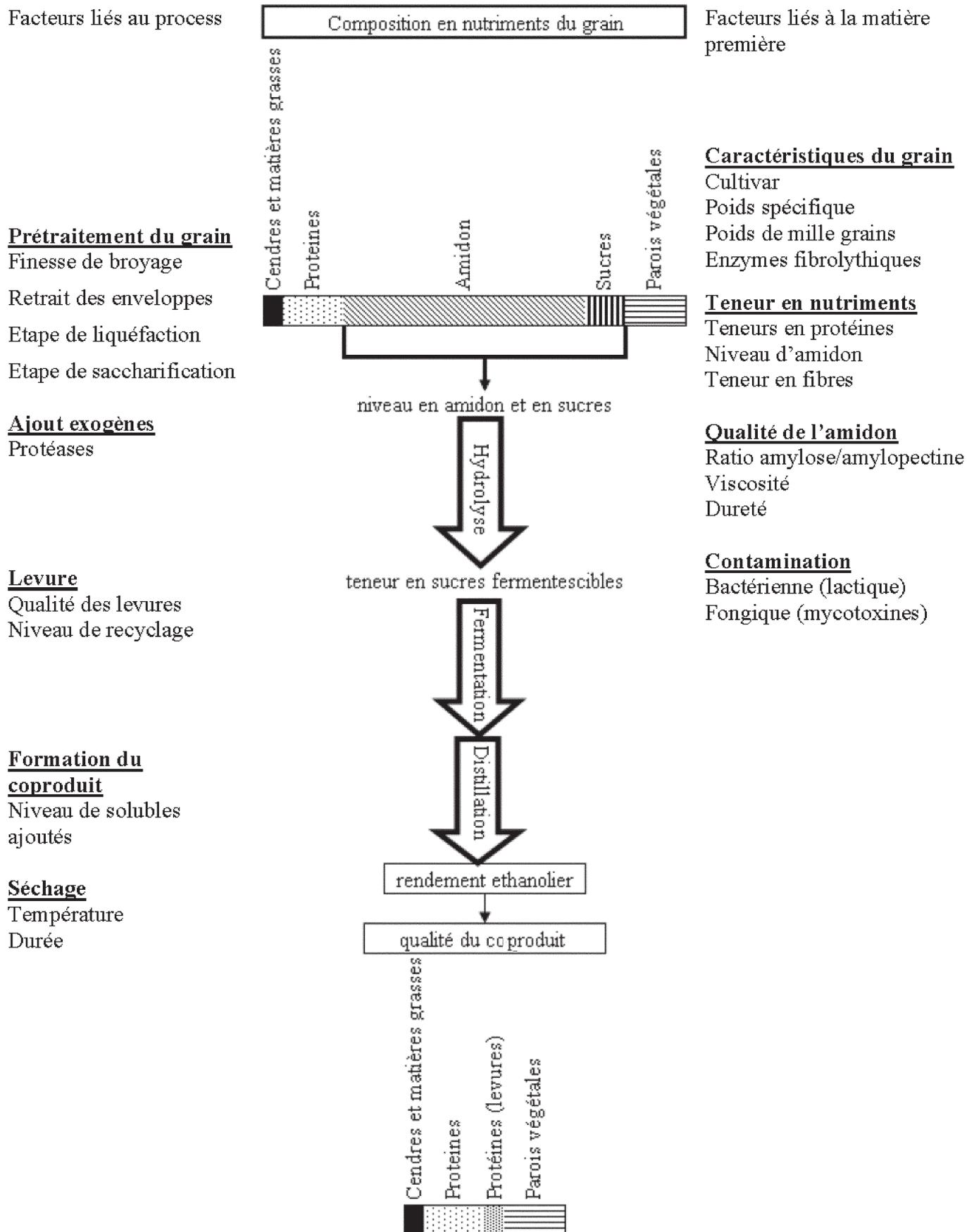


Tableau 1. Composition chimique et caractéristiques physiques des drêches de blé et de maïs et comparaison avec celle du blé et du maïs.

	Blé ¹	Drêches de blé ²		Maïs ¹	Drêches de maïs ³	
		Moyenne	(Min - Max)		Moyenne	(Min - Max)
Matière sèche, %	86,8	92,7	(89,9 - 95,0)	86,4	88,9	(87,2 - 90,2)
Composition, % MS						
Matières minérales	1,8	5,0	(4,4 - 5,9)	1,4	5,8	(5,2 - 6,7)
Protéines (N x 6,25)	12,1	36,6	(32,6 - 38,6)	9,4	30,0	(28,1 - 31,6)
Matières grasses	1,7	4,3	(3,6 - 5,1)	4,3	10,7	(8,2 - 11,7)
Cellulose brute	2,5	7,8	(6,2 - 9,3)	2,5	8,6	(7,1 - 9,7)
NDF ⁴	14,3	29,2	(25,1 - 33,8)	12,0	41,5	(35,4 - 49,1)
ADF ⁴	3,6	10,4	(7,7 - 12,0)	3,0	16,1	(13,8 - 18,5)
ADL ⁴	1,2	3,3	(2,1 - 4,4)	0,6		
Parois ⁵	11,2	30,7	(26,4 - 34,5)	10,5		
Amidon	69,7	4,7	(2,4 - 9,5)	74,2	8,2	(4,7 - 14,6)
Sucres	2,8	4,5	(3,1 - 7,9)	1,9		
Energie brute, MJ/kg MS	18,20	20,79	(20,45 - 21,11)	18,67	22,71	(22,03 - 23,37)
Couleur						
L (luminance)		57	(53 - 63)			
a (index de rouge)		6,7	(4,5 - 7,3)			
b (index de jaune)		15,8	(11,5 - 19,0)			

¹ Sauvant *et al* (2004).

² Cozannet *et al* (2010a) ($n = 7$, produits avec $L > 50$).

³ Pour les drêches de maïs, les valeurs de matière sèche, matières minérales, protéines, matières grasses, cellulose brute, NDF et ADF sont extraites de l'étude de Spiehs *et al* (2002) ($n = 12$; chacune de ces 12 valeurs correspond à une usine et est la moyenne de 11 échantillons dans chaque usine) ; teneurs en énergie brute et amidon extraites de l'étude de Pedersen *et al* (2007) ($n = 10$).

⁴ Teneurs en *Neutral Detergent Fiber* (NDF), *Acid Detergent Fiber* (ADF) et *Acid Detergent Lignin* (ADL) des drêches de blé déterminées par la méthode de Van Soest avec prétraitements protéolytique (protéase de *Streptococcus griseus*) et amylolytique (Thermamyl 120L).

⁵ Teneur en parois déterminée selon la méthode décrite par Carré et Brillouet (1989).

considérés comme seuls produits de qualité standard tandis que les produits présentant des valeurs de luminance inférieures correspondent à des produits surchauffés.

En second lieu, les facteurs liés aux prétraitements appliqués à la céréale avant les étapes de transformation de l'amidon en éthanol modifient les caractéristiques du produit final. Pour le blé, on distingue deux principaux types de procédés de traitement des graines, soit un broyage de la graine dans sa totalité, soit la séparation des enveloppes et de la farine à l'aide d'un moulin de type meunerie. Dans ce dernier cas, seule la fraction farine subit alors les processus d'hydrolyse et de fermentation et la fraction enveloppes est mélangée avec les drêches issues de la fermentation avant leur séchage. Pour le maïs, ces étapes existent également ; elles peuvent même être plus élaborées et permettre une séparation des constituants du grain en différentes fractions (germe, enveloppes, albumen...). Cependant, la majeure partie du bio-éthanol produit à l'heure actuelle à partir de maïs provient d'une fermentation de l'ensemble du grain après broyage.

2 / Composition chimique et caractéristiques physiques des drêches de bioéthanol

La composition des drêches reflète généralement la composition de la céréale ou du mélange céréalier utilisé et plus précisément celle de sa fraction non fermentescible qui représente environ 96% de la Matière Sèche (MS) des drêches ; les 4% restants proviennent des ajouts exogènes (levures notamment) lors du procédé de production d'éthanol (Ingledew 1993). La teneur en amidon des drêches de maïs ou de blé est donc généralement très faible et, à l'opposé, la teneur en Matières Azotées Totales (MAT), matières grasses et parois végétales est environ trois fois supérieure à celle observée dans la céréale correspondante (tableau 1). Ainsi, les teneurs en MAT, matières grasses et cellulose brute sont en moyenne de 36,1, 4,6 et 8,3% de la MS dans 10 échantillons de drêches de blé européennes et de 30, 10,7 et 8,6% de la MS dans les drêches de maïs américaines (tableau 1). Cependant, il est intéressant de noter que, si dans le cas des

céréales, la somme des teneurs en matières minérales, MAT, matières grasses, NDF, amidon et sucres dans la MS est logiquement voisine de 100% (102 et 103 pour le blé et le maïs, respectivement ; Sauvant *et al* 2004), cette somme est seulement de 84% pour les drêches de blé (Cozannet *et al* 2010a). Cette différence est en partie expliquée par la présence de glycérol et de lactate (4 et 1%, respectivement selon Cozannet *et al* 2010a) et d'autres constituants produits au cours des fermentations. La majorité de ces composés demeure dans la fraction drêches ; seuls les composés les plus volatils comme l'ammoniac peuvent s'échapper dans l'éthanol au cours de l'étape de distillation ou de séchage. L'abondance de produits néoformés lors de la phase de séchage des drêches (réactions de Maillard) explique également cette différence à 100%. Ces réactions se caractérisent par la production de complexes protéines-glucides difficiles à quantifier par les méthodes d'analyses habituelles, comme l'indiquent les teneurs en azote élevées, particulièrement pour les échantillons sombres, des résidus NDF ou ADF (tableau 2). Pour les échantillons les plus sombres, environ 1/3 de

Tableau 2. Valeur nutritionnelle des drêches de blé et de maïs pour les volailles : effet de la couleur.

Couleur	Drêches de blé ¹		Drêches de maïs ²	
	Sombre (n = 3)	Claire (n = 7)	Sombre	Claire
Luminance	46,2	57,4	29,5	43,8
Teneur en fibres (% MS)				
NDF ³	29,3	29,2	33,0	36,2
ADF ³	15,7	10,4	16,7	13,2
Protéines du résidu NDF (% MS)	11,7	8,0	-	-
Protéines du résidu ADF (% MS)	6,8	1,1	5,1	1,8
Teneur en lysine (% MAT)	1,01	2,29	2,31	2,57
Digestibilité iléale standardisée (%)				
Protéines	59,8	81,8	79,4	85,9
AA non essentiels	64,1	83,9	79,5	85,5
AA essentiels	51,0	78,0	79,3	86,2
Lysine	11,8	60,7	65,3	79,4
EMAn, MJ par kg MS				
Coq	9,42	10,73		
Poule pondeuse	8,62	10,06		
Poulet	9,30	10,19		
Dinde (10 semaines)	8,00	9,51		

¹ Cozannet *et al* (2010a et b).

² Pour les drêches de maïs, les données de teneur en lysine, de digestibilité des protéines, des AA non essentiels et des AA essentiels sont extraites de l'étude de Fastinger *et al* (2006 ; n = 5 ; sombre, n = 1 ; claire, n = 4) réalisée sur coqs caectomisés ; les teneurs en azote du résidu ADF, en NDF, en ADF et en lysine sont extraites de l'étude de Cromwell *et al* (1993 ; n = 9 ; sombre, n = 5 ; claire, n = 4).

³ Teneurs en *Neutral Detergent Fiber* (NDF) et *Acid Detergent Fiber* (ADF) des drêches de blé déterminées par la méthode de Van Soest avec pré traitements protéolytique (protéase de *Streptococcus griseus*) et amylolytique (Thermamyl 120L).

l'azote total du produit est associé au résidu NDF. Ces problèmes sont relativement peu rapportés par les auteurs nord américains pour les drêches de maïs et certaines sources peuvent même suggérer des sommes de teneurs en nutriments voisines ou supérieures à 100%. On peut penser, dans ces cas, à une meilleure maîtrise du procédé de fabrication conduisant à des produits de qualité standard et/ou des erreurs analytiques avec une surestimation du résidu NDF qui contient alors des protéines en quantité importante (Stein *et al* 2006). Ce problème analytique des parois végétales dans les drêches a d'ores et déjà été rapporté par Dorléans *et al* (1995). L'emploi de sulfite de sodium permet de le prévenir et d'obtenir des niveaux de NDF inférieurs et plus représentatifs de la réalité (Shurson 2008). En définitive, la caractérisation chimique et physique des drêches de blé ou de maïs est complexe et difficile, tant pour les fractions glucidiques que pour les protéines (voir ci-dessous). Cette situation représente une difficulté majeure pour l'estimation de leur valeur nutritive.

3 / Teneur et digestibilité des acides aminés des drêches de bioéthanol pour les volailles

La teneur moyenne en protéines et en acides aminés essentiels des drêches de blé et des drêches de maïs est présentée dans le tableau 3. Les teneurs et le

Tableau 3. Concentration en protéines et en acides aminés essentiels (AA) dans le blé, les drêches de blé, le maïs et les drêches de maïs (% MAT).

	Blé ¹	Drêches de blé (n = 7) ²		Maïs ¹	Drêches de maïs (n = 4) ³	
		Moyenne	(Min - Max)		Moyenne	(Min - Max)
Protéines (% MS)	12,1	36,6	(32,7 - 39,2)	9,4	-	-
AA essentiels (% MAT)						
Arginine	5,1	4,3	(3,7 - 4,6)	4,7	3,7	(3,4 - 3,9)
Histidine	2,3	2,1	(1,9 - 2,2)	2,9	2,3	(2,2 - 2,4)
Isoleucine	3,6	3,5	(3,4 - 3,5)	3,7	3,5	(3,0 - 3,7)
Leucine	6,8	6,5	(6,2 - 6,8)	12,5	10,8	(10,1 - 11,2)
Lysine	2,9	2,3	(1,7 - 3,0)	3,0	2,4	(1,8 - 2,8)
Méthionine	1,6	1,5	(1,4 - 1,5)	2,1	1,7	(1,7 - 1,9)
Cystéine	2,5	1,9	(1,7 - 2,0)	2,5	1,7	(1,6 - 1,8)
Phénylalanine	4,7	4,5	(4,3 - 4,6)	4,9	4,7	(4,2 - 4,9)
Thréonine	3,1	3,0	(2,9 - 3,1)	3,7	3,4	(3,2 - 3,7)
Tryptophane	1,2	1,1	(1,0 - 1,2)	0,6	0,9	(0,9 - 0,9)
Valine	4,4	4,3	(4,2 - 4,4)	5,0	4,6	(4,3 - 4,8)
Total	35,7	33,0	(31,2 - 34,4)	43,1	38,0	(34,8 - 40,0)
AA non essentiels (% MAT)	61,9	56,3	(53,9 - 57,7)	57,6	46,2	(45,4 - 46,8)

¹ Sauvart *et al* (2004).

² Cozannet *et al* (2010b ; n = 7 ; produits avec une valeur de luminance supérieure à 50).

³ Fastinger *et al* (2006 ; n = 4 ; produits avec une valeur de luminance supérieure à 30).

Tableau 4. Digestibilité iléale standardisée (%) des protéines et des acides aminés essentiels du blé, des drêches de blé, du maïs et des drêches de maïs chez le coq cœcectomisé.

	Blé ¹	Drêches de blé (n = 7) ²		Maïs ¹	Drêches de maïs (n = 4) ³	
		Moyenne	(Min - Max)		Moyenne	(Min - Max)
Protéines (%)	89	82	(76 - 85)	88	-	-
AA essentiels (%)						
Arginine	87	78	(72 - 81)	95	90	(89 - 90)
Histidine	90	78	(71 - 83)	90	87	(85 - 89)
Isoleucine	90	79	(70 - 84)	92	85	(84 - 86)
Leucine	91	83	(76 - 86)	96	91	(88 - 93)
Lysine	84	61	(49 - 71)	85	79	(78 - 82)
Méthionine	90	81	(74 - 84)	94	90	(89 - 90)
Cystéine	91	71	(62 - 77)	93	66	(63 - 68)
Phénylalanine	92	88	(84 - 90)	94	89	(89 - 90)
Thréonine	83	73	(66 - 76)	88	79	(78 - 80)
Tryptophane		75	(68 - 78)		89	(88 - 90)
Valine	88	81	(72 - 85)	92	83	(81 - 85)
Total	87	78	(68 - 82)	92	77	(76 - 78)
AA non essentiels (%)	89	84	(79 - 88)	93	73	(68 - 76)

1 Sauvant *et al* (2004).

2 Cozannet *et al* (2010b ; n = 7 ; produits avec une valeur de luminance supérieure à 50).

3 Fastinger *et al* (2006 ; n = 4 ; produits avec une valeur de luminance supérieure à 30).

profil en acides aminés des drêches sont le reflet du profil en acides aminés de la matière première et de celui des protéines de levures exogènes qui représentent respectivement 80 et 20% du contenu des drêches en MAT (Han et Liu 2010). Ce profil est aussi influencé par les niveaux de solubles ajoutés dans la fraction solide du résidu de fermentation. Mais, comme indiqué dans le tableau 3, le profil en acides aminés essentiels des drêches est relativement comparable au profil de la céréale initiale, à l'exception des teneurs en lysine et arginine qui sont inférieures pour les drêches. De plus, en dépit d'une teneur en protéines relativement constante entre échantillons, les teneurs en lysine et en arginine (en % MAT) sont très variables : de 1,7 à 3,0% et de 3,7 à 4,6% pour les drêches de blé et de 1,8 à 2,8% et de 3,4 à 3,9% pour les drêches de maïs (Fastinger *et al* 2006, Cozannet *et al* 2009, tableau 3). Par conséquent et contrairement au maïs, au blé et à leurs coproduits issus de la meunerie, les teneurs en lysine ou en arginine des drêches sont peu corrélées à la teneur en MAT du produit. En d'autres termes, la teneur en MAT ne peut être utilisée comme prédicteur de la teneur en lysine et en arginine des drêches de bioéthanol. Cette observation est encore plus prononcée quand des produits sombres sont pris en compte puisque, pour ceux-ci, les réactions de Maillard provoquent la formation de complexes entre la lysine et les sucres réducteurs (tableau 2).

Les résultats de Digestibilité Iléale Standardisée (DIS) des acides aminés essentiels des drêches chez le coq cœcectomisé sont présentés dans le tableau 4. La digestibilité de l'azote est comprise entre 76 et 85% pour les drêches de blé, soit 4 à 13 points de moins que pour le blé. Cet écart, également observé entre le maïs et les drêches de maïs, pourrait être lié à la teneur élevée en parois végétales des drêches. Cette différence est beaucoup plus marquée pour la digestibilité de la lysine, en particulier pour les drêches de blé (61 vs 84%). De plus, la digestibilité de la lysine ou de l'arginine varie de façon importante entre échantillons. Ainsi, pour 7 échantillons de drêches de blé (Cozannet *et al* 2010b), ces valeurs sont comprises entre 49 et 71% pour la lysine (tableau 4) ; elles sont même encore plus faibles, voire négatives, pour des produits sombres (tableau 2). Des résultats comparables sont rapportés par Bandegan *et al* (2009) pour des drêches de blé.

En conséquence, le contenu en lysine digestible des drêches est le critère le plus sensible aux caractéristiques du procédé industriel. Les variations des teneurs en lysine digestible sont dues à la fois à une destruction partielle et variable de la lysine totale du produit et à une variabilité élevée de sa digestibilité. La combinaison d'une faible teneur en lysine et d'une faible digestibilité pour les échantillons sombres (tableau 2) suggère que de telles matiè-

res premières devraient être exclues de l'alimentation des volailles, voire des animaux monogastriques. Une bonne approche de la variabilité de la digestibilité iléale de la lysine des drêches de blé peut être obtenue à partir de la luminance (L) ou de la teneur en lysine totale de la MAT (tableau 5). Le même type de relation est également observable dans le cas des drêches de maïs (Batal et Dale 2006). Ces relations doivent cependant être utilisées avec précaution au regard de la distribution des valeurs de luminance qui suggère en fait l'existence de deux sous-populations, une première de qualité standard de couleur claire pour laquelle la digestibilité de la lysine est peu variable et une seconde, de qualité médiocre et sombre au sein de laquelle la digestibilité de la lysine est faible et variable (tableau 2). La valeur pivot de L séparant ces deux catégories serait de 30 pour les drêches de maïs (Fastinger *et al* 2006) et de 50 pour les drêches de blé (Cozannet *et al* 2010b). Les résultats extraits de la littérature et de notre étude (Cozannet *et al* 2010b) suggèrent aussi que ces phénomènes de surchauffage des échantillons sont plus fréquents pour les drêches de blé que pour les drêches de maïs avec un impact sur la teneur en lysine et sa digestibilité qui est plus marqué (tableau 2). La meilleure prédiction de la digestibilité de la lysine des drêches de blé est obtenue à partir du ratio lysine/MAT selon des modèles de type quadratique ou linéaire-plateau (tableau 5). L'existence de deux sous-populations

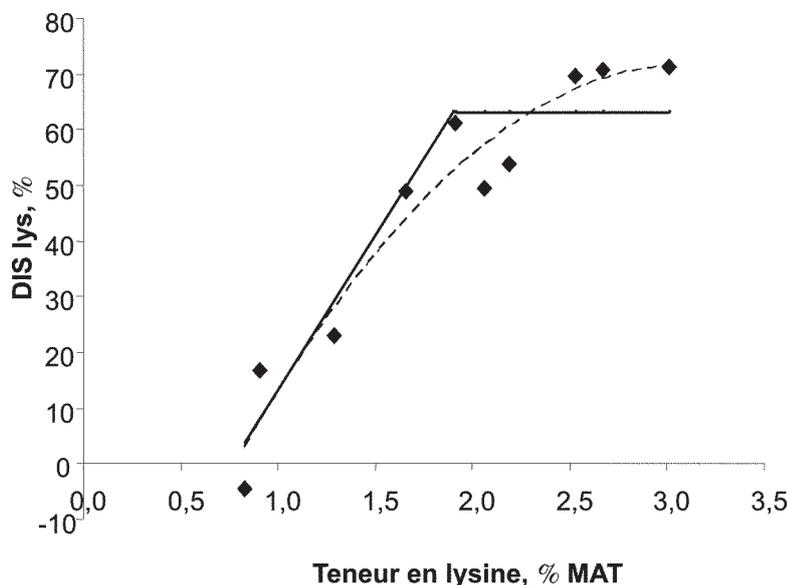
Tableau 5. Equations de prévision de la digestibilité iléale standardisée (DIS) de l'azote (N) et de la lysine (Lys) des drêches de blé (n = 10) pour le coq cœcectomisé¹.

Variable	Equations	R ²	ETR
Digestibilité iléale standardisée de l'azote (n = 10)			
	DIS N = - 4,9 + 1,5 × L	0,75	5,9
	DIS N = 85,4 - 0,4 × MAT dans ADF	0,92	3,4
Digestibilité iléale standardisée de la lysine (n = 10)			
	DIS lys = - 90,3 + 2,5 × L	0,41	21,2
	DIS lys = 67,5 - 0,8 × MAT dans ADF	0,75	13,7
	DIS lys = -16,8 + 33,0 × lys	0,88	9,6
	DIS lys = - 56,6 + 82,7 × lys - 13,4 × lys ²	0,94	7,3
	DIS lys = 63,0 si lys > 1,9	0,90	
	DIS lys = - 42,4 + 55,5 × lys si lys < 1,9		

¹ Cozannet *et al* (2010b) ; la luminance (L) varie de 43 à 63 (100 = blanc ; 0 = noir) ; MAT dans ADF (teneur en matières azotées totales du résidu ADF) varie de 0,4 à 8,2% MS ; lys pour teneur en lysine dans les MAT : varie de 0,83 à 3,01%.

évoquée précédemment n'affecte en rien les relations obtenues et l'ensemble des échantillons a été conservé pour le calcul des coefficients des équations (figure 2). Des relations identiques peuvent être obtenues à partir de l'étude des valeurs individuelles rapportées par Bandegan *et al* (2009). L'analyse en covariance des valeurs de DIS de la lysine obtenues par Bandegan *et al* (2009) et Cozannet *et al* (2010b) avec comme effet fixe la provenance des données et comme covariable la teneur en lysine indique un effet de la provenance sur uniquement l'ordonnée à l'origine pour le modèle quadratique. Dans le cas du modèle

linéaire-plateau, le point de rupture pour les drêches de blé est observé pour une teneur en lysine des MAT de 1,9%, correspondant à une digestibilité de 63% de la lysine (Cozannet *et al* 2010b, tableau 5). Les mêmes auteurs montrent que le point de rupture à 1,9% de lysine dans les MAT s'applique également à la DIS de la lysine chez le porc (Cozannet *et al* 2010d). Des résultats du même type sont observés avec les drêches de maïs mais avec des écarts moindres, des relations moins précises et un point de rupture, mesuré uniquement chez le porc, qui serait plus élevé (2,8% de lysine dans les MAT, Shurson *et al* 2008).

Figure 2. Relations entre la teneur en lysine (lys ; % de la MAT) et la digestibilité iléale standardisée de la lysine (DIS lys ; %) des drêches de blé mesurée chez le coq cœcectomisé ; modèle quadratique : $DIS\ lys = - 13,4\ lys^2 + 82,7\ lys - 56,6$ ($R^2 = 0,94$) ; modèle linéaire-plateau : $DIS\ lys = 55,5\ lys - 42,4$ si $lys < 1,9$ et $DIS\ lys = 63,0$ si $lys > 1,9$ ($R^2 = 0,90$).

4 / Valeur énergétique des drêches de bioéthanol pour les volailles

La valeur énergétique des aliments pour les volailles est généralement estimée en Europe par la teneur en Energie Métabolisable (EM) Apparente (EMA) qui correspond à la différence entre l'énergie brute ingérée et l'énergie brute excrétée dans les fientes. Les valeurs d'EMA peuvent ensuite être ajustées pour une excrétion totale de l'azote (N) ingéré pour obtenir la teneur en EMA standardisée pour un bilan azoté nul (EMAn, Lessire 2004).

En relation avec l'enrichissement du produit en matières grasses, les drêches de maïs ont une teneur en Energie Brute (EB) supérieure à celle du maïs. Cette teneur est en moyenne de $22,7 \pm 0,4$ MJ par kg de MS selon Pedersen *et al* (2007 ; n = 10) tandis que la valeur correspondante pour le maïs est de 18,7 MJ par kg de MS (Sauvant *et al* 2004, tableau 1). Cependant, la digestibilité de l'énergie et le rapport entre les teneurs en EM et en EB (rapport EM/EB) des drêches de maïs pour les volailles sont inférieurs aux valeurs du maïs en lien avec des teneurs élevées en fibres des drêches (65,8 vs 82,9% pour le rapport EMAn/EB ; Skiba *et al* 2009). Il en résulte que, selon ces auteurs, les teneurs en EMAn du maïs et des drêches de maïs sont relativement comparables pour le coq (15,5 vs 15,0 MJ par kg de MS respectivement). Cette valeur récente d'EMAn des drêches de maïs obtenue sur un seul échantillon est cependant élevée par rapport aux données rapportées dans les tables INRA-AFZ (10,4 MJ par kg de MS pour le coq, Sauvant *et al* 2004) et par rapport aux nombreuses mesures d'EM vraie corrigée pour un bilan azoté nul (EMVn) réalisées aux Etats-Unis. Ainsi, Fastinger *et al* (2006) rapportent des teneurs en EMVn de 10,4 à 12,7 MJ par kg de produit brut pour 5 échantillons évalués chez le coq cœcectomisé. De la même façon, à partir de l'étude de 17 échantillons de drêches de maïs chez le coq entier, Batal et Dale (2006) rapportent des teneurs en EMVn de 12,1 à 15,5 MJ par kg MS (13,7 MJ par kg MS en moyenne). Même si la comparaison directe est délicate, cette valeur EMVn chez le coq est supérieure à la valeur EMAn chez le poulet (12,6 MJ par kg de MS ; tableau 6). Des équations de prédiction de la teneur en EMVn développées à partir de ces données démontrent des effets significatifs des teneurs en matières grasses, en protéines et en matières minérales sur ces valeurs EM (Fastinger *et al* 2006). La précision de la relation reste toutefois modeste ($R^2 = 0,45$).

Tableau 6. Energie métabolisable apparente ou vraie, corrigée pour un bilan azoté nul (EMAn ou EMVn ; MJ par kg MS) et rapport EMAn/EB (%) du blé, des drêches de blé, du maïs et des drêches de maïs chez le coq, la poule pondeuse, le poulet en croissance et la dinde en croissance (10 semaines).

	Coq		Pondeuse		Poulet		Dinde	
	EMAn/EB	EMAn	EMAn/EB	EMAn	EMAn/EB	EMAn	EMAn/EB	EMAn
Blé ¹	78,8	14,35			76,2	13,87		
Drêches de blé ²	51,3 (47,3 - 55,1)	10,73 (9,84 - 11,32)	48,1 (46,4 - 49,8)	10,06 (9,66 - 10,47)	48,8 (41,6 - 56,8)	10,19 (8,67 - 11,69)	45,5 (42,0 - 49,7)	9,51 (8,75 - 10,48)
Maïs ¹	82,9	15,48			81,1	15,14		
Drêches de maïs ³		13,71 (12,10 - 15,50)			55,8	12,64		

¹ Sauvart *et al* (2004).

² Cozannet *et al* (2010a ; n = 7 ; EMAn de produits avec une valeur de luminance supérieure à 50).

³ Batal et Dale (2006 ; n = 17 ; EMVn coq) et Adisseo, communication personnelle (n = 12 ; EMAn poulet).

Tableau 7. Equations de prévision de la teneur en énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul (EMAn) et du rapport rapport EMAn sur énergie brute (EMAn/EB) des drêches de blé (n = 10) pour le coq, le poulet, la pondeuse et la dinde ^{1,2}.

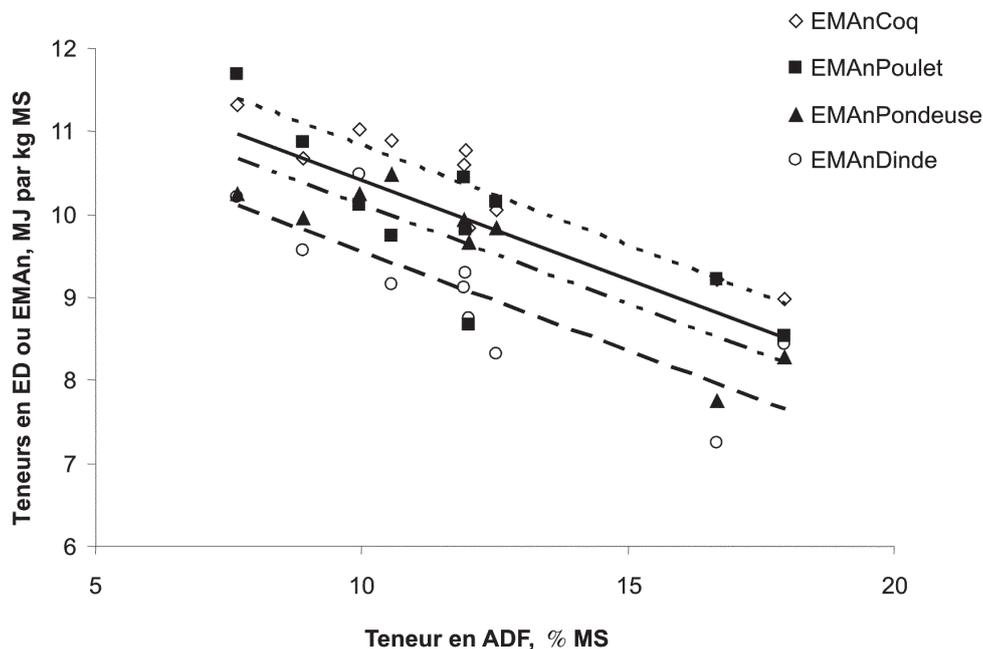
Variable	Stade	Equations		R ²	ETR
Rapport EMAn/EB, %					
	coq	EMAn/EB = 15,8 ^a	} + 0,6 L	0,81	2,3
	poulet	EMAn/EB = 13,9 ^{ab}			
	pondeuse	EMAn/EB = 12,4 ^{bc}			
	dinde (10 sem)	EMAn/EB = 9,7 ^c			
	coq	EMAn/EB = 64,5 ^a	} - 1,3 ADF	0,81	2,3
	poulet	EMAn/EB = 62,5 ^{ab}			
	pondeuse	EMAn/EB = 61,1 ^{bc}			
	dinde (10 sem)	EMAn/EB = 58,4 ^c			
Teneur en EMAn, MJ par kg MS					
	coq	EMAn = 4,03 ^a	} + 0,12 L	0,77	0,5
	poulet	EMAn = 3,62 ^{ab}			
	pondeuse	EMAn = 3,32 ^{bc}			
	dinde (10 sem)	EMAn = 2,75 ^c			
	coq	EMAn = 13,23 ^a	} - 0,24 ADF	0,79	0,48
	poulet	EMAn = 12,81 ^{ab}			
	pondeuse	EMAn = 12,52 ^{bc}			
	dinde (10 sem)	EMAn = 11,95 ^c			

¹ Equations obtenues à partir d'un modèle de covariance avec l'effet type de volaille comme effet fixe et les mesures de composition chimique et de propriétés physiques comme covariables et l'interaction ; l'interaction n'est jamais significative, les ordonnées à l'origine avec des lettres identiques ne diffèrent pas significativement (P > 0,05) ; à partir de Cozannet *et al* (2010a).

² ADF varie de 7,7 à 17,9% MS) et la luminance (L) varie de 43 à 63 (100 = blanc ; 0 = noir).

Comme pour le maïs, la teneur en EB des drêches de blé est supérieure à celle du blé (20,8 vs 18,2 MJ par kg MS) et le rapport EMAn/EB est très inférieur (51,3 vs 78,8%). La teneur en EMAn moyenne des drêches de blé (10,7 MJ par kg de MS, Cozannet *et al* 2010a) est très inférieure à celle du blé (14,3 MJ par kg MS) (tableau 6). Comme déjà démontré pour de nombreuses matières premières (Barrier-Guillot et Métayer 2001) ou pour les drêches de maïs, la valeur énergétique des drêches de blé varie selon la catégorie de volailles. Les valeurs les plus élevées sont obtenues chez le coq et les plus faibles chez le dindon en croissance ; des valeurs intermédiaires sont observées chez la poule pondeuse ou le poulet en croissance (Cozannet *et al* 2010a, tableau 6). Comme pour les drêches de maïs, les teneurs en EMAn ou le ratio EMAn/EB des drêches de blé sont variables et dépendent de la teneur en parois végétales (tableau 7) et, dans une moindre mesure, de la teneur en lysine (en % de la MAT) et des propriétés physiques (couleur) (Cozannet *et al* 2010a, tableau 6). L'effet négatif de l'enrichissement en parois végétales sur le rapport EM/EB semble identique pour les différentes catégories de volailles (tableau 7). Par conséquent, Cozannet *et al* (2010a) proposent de prédire la teneur en EMAn et le rapport EMAn/EB pour chaque type de volaille à partir d'un modèle d'analyse de covariance incluant l'effet type de volaille comme effet fixe et la teneur en ADF comme covariable. Les équations définies par ces auteurs diffèrent uniquement par leurs ordonnées à l'origine. Il est par conséquent possible d'estimer la teneur en EMAn des drêches de blé pour chacun des types de volaille à partir de la valeur obtenue sur le coq, par exemple.

Figure 3. Relations entre la teneur en ADF (% MS) des drêches de blé et la teneur en énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul (EMAN) chez les coqs, les poulets en croissance, les poudeuses et les dindes (Relations établies à partir de l'analyse de covariance présentée tableau 7).



5 / Drêches de bioéthanol et performances des animaux

Les études s'intéressant aux performances des volailles (gain de poids, consommation, indice de consommation, ponte) lors de l'incorporation de drêches dans les aliments sont peu nombreuses et conduites essentiellement avec des drêches de maïs. Dans ces études, on constate, soit une réduction des performances chez la dinde (Lumpkins *et al* 2004) et chez le poulet (Wang *et al* 2007a et b), soit aucun effet (Waldroup *et al* 1981) notamment si, lors de la formulation, les teneurs en acides aminés digestibles et la teneur en EMAN des drêches ont été prises en compte. Les éventuels effets sont plus prononcés aux stades précoces de développement des animaux (Roberson 2003). A partir de ces résultats, Lumpkins *et al* (2004) suggèrent des niveaux maxima d'introduction des drêches de maïs pour chaque stade : 6% en phase de démarrage et de 12 à 15% dans les phases croissance et finition pour les poulets. Ces maxima correspondent à des situations où des valeurs nutritives moyennes sont appliquées. Une évaluation plus précise des produits devrait permettre une incorporation supérieure des drêches dans les formules. Ainsi, Wang *et al* (2007ab) n'ont mis en évidence aucun effet négatif de l'introduction de drêches de maïs à des niveaux supérieurs à 25% aux stades croissance et finition chez le poulet avec des régimes de faible densité énergétique formulés en acides aminés digestibles. Chez la dinde, Roberson (2003) démontre que des

incorporations de 10% de drêches de maïs sont acceptables aux stades croissance et finition sans altération des performances dès lors que les valeurs d'EMAN et de lysine digestible du produit sont prises en compte. Enfin, chez la poule pondeuse, Masa' deh *et al* (2008) ont démontré que l'introduction de drêches de maïs à des niveaux croissants de 0 à 25% sur une période de 24 à 36 semaines n'affecte ni la consommation d'aliment, ni le pourcentage de ponte, ni la qualité des œufs. Au cours de ces essais, seule une réduction du calibre des œufs fut observée et attribuée à une déficience en acides aminés des régimes expérimentaux. Au cours d'un autre essai, des niveaux supérieurs (32%) furent évalués après une période d'augmentation progressive des niveaux d'incorporation de 4 semaines et les résultats ne suggèrent aucun effet significatif sur les performances de ponte (Loar *et al* 2010). Cette introduction se traduit par une réduction de la ponte parallèlement à l'augmentation du niveau de drêches dans l'aliment, compensée par une augmentation du poids moyen de l'œuf attribuée à l'augmentation du niveau d'huile dans les formules.

Seuls deux essais concernant l'incorporation de drêches de blé dans des aliments poulet ont été relevés dans la littérature. Le premier essai rapporte une dégradation de 4 et 5% de l'IC liée à une augmentation de la consommation avec des incorporations de respectivement 10 et 15% de drêches (Métayer *et al* 2009). L'autre essai ne permet pas de confirmer ces observations et ne met en

évidence aucun effet significatif de l'ajout de 15% de drêches de blé dans les régimes (Thacker et Widyaratne 2007). Ces résultats suggèrent, tout comme pour les drêches de maïs, la nécessité de définir des niveaux maxima d'incorporation pour lesquels aucun effet négatif n'est à craindre et surtout de connaître au préalable la valeur nutritive des drêches de blé de façon à ajuster les caractéristiques des régimes dans lesquels les drêches sont introduites.

Conclusions

Les drêches de blé et de maïs sont des sources potentielles d'énergie et de protéines pour les aliments des volailles. Cependant, la variabilité existante entre sites de production et dans le temps pour un même site, peut freiner leur emploi et nécessite une meilleure maîtrise de la qualité nutritive de la part des industriels et des nutritionnistes. A partir de la littérature disponible, il semble que la composition des drêches de maïs est plus stable que celle des drêches de blé. Peu d'explications peuvent être apportées à ce phénomène, mis à part l'antériorité des usines et leur meilleur contrôle des étapes d'extraction et de traitement des coproduits. L'étude de la couleur apparaît prometteuse dans l'optique d'une évaluation rapide de la digestibilité de l'énergie et de l'azote des produits. Enfin, une meilleure connaissance de la qualité des produits devrait prévenir tout effet négatif sur les performances des animaux et permettre des niveaux d'incorporation optimaux.

Références

- Barrier-Guillot B., Metayer J.P., 2001 Valeur alimentaire de cinq matières premières chez le coq adulte, le poulet de chair, le dindonneau et le canard. *Journ. Rech. Avicole*, 4, 131-134.
- Batal A.B., Dale N.M., 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of dried distiller grain and solubles. *J. Appl. Poult. Res.*, 15, 89-93.
- Bandegan A., Guenter W., Hoehler D., Crow G.H., Nyachoti C.M., 2009. Standardized ileal amino acid digestibility in wheat distillers dried grains with solubles for broilers. *Poult. Sci.*, 88, 2592-2599.
- Belyea R.L., Rausch K.D., Tumbleson M.E., 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Biores. Technol.*, 94, 293-298.
- Carré B., Brillouet J.M., 1989. Determination of Water-Insoluble Cell Walls in Feeds: Interlaboratory Study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 72, 463-467.
- Cozannet P., Primot Y., Métayer J.P., Gady C., Lessire M., Geraert P.A., Le Tutour L., Skiba F., Noblet J., 2009. L'utilisation des drêches en alimentation porcine. *INRA Prod. Anim.*, 22, 11-16.
- Cozannet P., Lessire M., Gady C., Métayer J.P., Primot Y., Skiba F., Noblet J., 2010a. Energy value of wheat dried distillers grains with solubles in roosters, broilers, layers and turkeys. *Poult. Sci.*, 89, 2230-2241.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Lessire M., Skiba F., Noblet J., 2010b. Standardized amino acids digestibility of wheat distillers dried grains with solubles in force-fed roosters. *Brit. Poult. Sci.*, sous presse.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Lessire M., Skiba F., Noblet J., 2010c. Energy value of wheat distillers grains with solubles for growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.*, 88, 2382-2392.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Callu P., Lessire M., Skiba F., Noblet J., 2010d. Ileal digestibility of amino acids in wheat distillers dried grains with solubles for pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 158, 177-186.
- Cromwell G.L., Herckelman K.L., Stahly T.S., 1993. Physical, chemical and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.*, 71, 679-686.
- Dorléans M., Mandran N., Sauviant D., 1995. Study of the use of a protease with van Soest procedure. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 61, 129-136.
- Fasting N.D., Latshaw J.D., Mahan, D.C., 2006. Amino Acid availability and true metabolizable energy content of corn dried grains with solubles in adult cecectomized roosters. *Poult. Sci.*, 85, 1212-1216.
- Han J., Liu K., 2010. Changes in composition and Amino acid Profile during dry grind ethanol processing from corn and estimation of yeast contribution toward DDGS proteins. *Agri. Food Chem.*, 58, 3430-3437.
- Inglede W.M., 1993. Yeast for production of fuel ethanol In: The yeasts. Rose A.H., Harrison J.S. (Eds). *Yeast technology*. Academic Press, London, United Kingdom, 5, 245-291.
- Lessire M., 2004. Nutritional values for poultry. In: Tables of composition and nutritive value of feed materials. Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Sauviant D., Perez J.M., Tran G. (Eds). INRA Editions, Paris and Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 25-35.
- Loar R.E., Schilling M.W., McDaniel C.D., Coufal C.D., Rogers S.F., Karges K., Corzo A., 2010. Effect of dietary inclusion level of distillers dried grains with soluble on layer performance, egg characteristic and consumer acceptability. *J. Appl. Poult. Res.*, 19, 30-37.
- Lumpkins B.S., Batal A.B., Dale N.M., 2004. Evaluation of distillers dried grain with solubles as a feed ingredient for broiler. *Poult. Sci.*, 83, 1891-1896.
- Masa'deh S.C. M.K., Aljamal A.A., Weber P., Robeson L., Scheideler S.E., 2008. Dried distillers grains with solubles in pullet rations. *Poult. Sci., Suppl.*, 87, 184.
- Métayer J.P., Gaüzère J.M., Gady C., Skiba F., Vilariño M., 2009. Valeur nutritionnelle d'une drêche de blé chez le coq et le poulet et effet du niveau d'incorporation et de l'ajout d'un complexe multi-enzymatique sur les performances de croissance des poulets standards. *Journ. Rech. Avicole*, 8, 56.
- Olentime C., 1986. Ingredient profile: distillers feeds. *Proceeding distillers feed conference*, Cincinnati, Ohio, 13-24.
- 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, 1168-1176.
- Roberson K.D., 2003. Use of Dried distillers' grain with solubles in growing-finishing diets of turkey hens. *Int. J. Poult. Sci.*, 2, 389-393
- Roberson K.D., Kalbfleisch J.L., Pan W., Charbeneau R.A., 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *Int. J. Poult. Sci.*, 4, 44-51.
- Roberts S.A., Xin H., Kerr B.J., Russell J.R., Bregendahl K., 2007. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on nitrogen balance and egg production in laying hens. *Poult. Sci.*, 86, 1716-1725.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables of composition and nutritive value of feed materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. INRA Editions, Paris and Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 304p.
- Skiba F., Métayer J.P., Clave H., Quentin M., 2009. Valeur énergétique d'une drêche de maïs sur les performances zootechniques de poulet de chair. *Journ. Rech. Avicole*, 8, 57.
- Spiehs M.J., Whitney M.H., Shurson G.C., 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.*, 80, 2639-2645.
- Shurson J., 2008. Distiller grain by-products in livestock and poultry feeds. July 29. www.ddgs.umn.edu/profiles.htm
- Stein H.H., Gibson M.L., Pedersen C., Boersma M.G., 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 84, 853-860.
- Thacker P.A., Widayatne G.P., 2007. Nutritional value of diets containing graded levels of wheat distillers grains with solubles fed to broiler chicks. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 1386-1390.
- Waldroup P.W., Owen J.A., Ramsey B.E., Welchel D.L., 1981. The use of high levels of distillers dried grains plus solubles in broiler diets. *Poult. Sci.*, 60, 1479-1484.
- Wang Z., Cerrate S., Coto C., Yan F., Waldroup P.W., 2007a. Effect of rapid and multiple changes in level of Distillers Dried Grain with Solubles (DDGS) in broiler diets on performance and carcass characteristics. *Int. J. Poult. Sci.*, 6, 725-731.
- Wang Z., Cerrate S., Coto C., Yan F., Waldroup P.W., 2007b. Use of constant or increasing levels of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS) in broiler diets. *Int. J. Poult. Sci.*, 6, 501-507.
- Windhorst H.W., 2007. Bio energy production, a threat to the global egg industry? *World Poult. Sci. J.*, 63, 365-379.

Résumé

Parallèlement à l'accroissement rapide de la production d'éthanol à partir des céréales, la disponibilité des coproduits associés, les drêches, pour l'alimentation des animaux, ruminants mais aussi porcs et volailles, s'est accrue. L'objet de cette synthèse est de considérer l'information disponible pour l'introduction des drêches de bioéthanol de céréales dans les aliments des volailles. Elle dresse le profil moyen de la composition chimique et des valeurs énergétiques et protéiques des drêches de blé et de maïs. Elle indique aussi une forte variabilité de ces critères, en particulier pour la lysine en lien avec les réactions de Maillard lors du séchage et la diminution de la luminance (L). Les échantillons de faible valeur L (< 50 pour les drêches de blé et < 30 pour les drêches de maïs) ont ainsi une teneur en lysine des matières azotées faible et cette lysine est peu digestible. La digestibilité de l'énergie des drêches de blé ou de maïs ou leurs teneurs en EM peuvent également varier avec la couleur mais elles sont surtout dépendantes de leur composition chimique et notamment de leur teneur en matières grasses et en parois végétales. Notre synthèse indique que les drêches de blé ou de maïs sont des sources potentielles d'énergie et de protéines susceptibles d'être utilisées dans les aliments des différentes catégories de volailles sans que les performances soient altérées mais à la condition que les caractéristiques nutritives des drêches soient prises en compte pour la formulation des aliments.

Abstract

Nutritive value of wheat and maize distillers dried grains with solubles in poultry

The development of bioethanol production from cereals has also increased the use of associated by-products called distillers dried grains with solubles (DDGS) for ruminants and also for non ruminant animals. The purpose of this review was to summarize the data available in order to consider their introduction into poultry diets. Average nutrient composition and energy and amino acid values of wheat and maize DDGS are proposed. The results suggest an important variability for these parameters, especially for lysine content and lysine digestibility in relation to Maillard reactions during the drying process that cause a decrease in the luminance (L). Consequently, samples with a low L value (< 50 and < 30 for wheat and maize DDGS, respectively) have a low lysine content in their crude protein (N x 6.25) and this lysine is poorly digestible. Energy digestibility or ME content variability of wheat and maize DDGS are also correlated with colour but most of the variability is related with crude fat and dietary fibre variations. Nevertheless, our review suggests that wheat or maize DDGS can be considered as potential sources of energy and protein for poultry feeds at different stages and for different categories without any detrimental effect on performance as long as the nutritional characteristics of DDGS are taken into account in the formulation of diets.

COZANNET P, LESSIRE M., MÉTAYER J.-P., GADY C., PRIMOT Y., GERAERT P.-A., LE TUTOUR L., SKIBA F., NOBLET J., 2010. Valeur nutritive des drêches de blé et de maïs pour les volailles. *Inra Prod. Anim.*, 23, 405-414.