

Valeur nutritionnelle des drêches de blé européennes chez le porc en croissance

Pierre COZANNET (1)(2), Yvan PRIMOT (3), Cécile GADY (4), Jean-Paul MÉTAYER (2), Patrick CALLU (2), Michel LESSIRE (5), Loïc LE TUTOUR (3), Pierre-André GERAERT (4), Fabien SKIBA (2), Jean NOBLET (1)

(1) INRA, UMR1079 SENAH, F-35590 Saint Gilles

(2) ARVALIS - Institut du végétal, Pouline, F-41100 Villerable

(3) AJINOMOTO EUROLYSINE S.A.S., 153, rue de Courcelles, F-75817 Paris

(4) ADISSEO France SAS, 42 Avenue Aristide Briand, F-92160 Antony

(5) INRA, UR83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly

Jean.Noblet@rennes.inra.fr

Avec la collaboration technique de Y. Jaguelin-Peyraud, A. Pasquier, G. Guillemois, R. Janvier, F. Le Gouevéc, J.F. Rouaud et V. Piedvache à l'INRA, D. Barrault, J.M. Bertin, P. Brinet et J.Y. Moreau à ARVALIS - Institut du végétal et M. Eudaimon chez Ajinomoto Eurolysine

Valeur nutritionnelle des drêches de blé européennes chez le porc en croissance

La production d'éthanol à partir des céréales (blé, maïs, etc.) pour être utilisé comme carburant s'accompagne de la production de drêches valorisables en nutrition animale. L'objectif de cette synthèse est de donner des caractéristiques des drêches de blé et de proposer des valeurs énergétiques et protéiques pour le porc sur la base des données de la bibliographie et surtout de mesures conduites sur 10 drêches de blé d'origine européenne. Les mesures des valeurs énergétiques et protéiques ont été réalisées par digestibilité fécale (essai 1) et digestibilité iléale (essai 2) selon des dispositifs expérimentaux permettant le calcul par différence des teneurs en énergie digestible ou métabolisable et des coefficients de digestibilité iléale standardisée des acides aminés des drêches. Cette étude a permis de dresser le profil moyen de composition en nutriments majeurs (respectivement 4 %, 36 % et 28,2 % de la MS pour l'amidon, les protéines et le NDF) et en acides aminés et quelques propriétés physiques comme la couleur mesurée par la luminance (L). Cependant, il existe une importante variabilité de ces valeurs entre produits, notamment pour la teneur en lysine des protéines (0,83 à 3,01 %) et pour la couleur (43-63), ces deux propriétés étant très liées au procédé de production (séchage) des drêches. Les teneurs en fibres et en amidon sont également variables et varient en sens opposés. Ces différences de caractéristiques physico-chimiques permettent d'expliquer les valeurs très différentes de teneurs en ED (11,82 à 16,22 MJ par kg de MS ; 13,96 en moyenne) et de digestibilité iléale standardisée de la lysine (9 à 83 % ; 56 % en moyenne). Ces différences de valeur nutritionnelle des drêches de blé illustrent la nécessité de mettre en place des équations de prédiction basées sur quelques caractéristiques physico-chimiques des produits. La prise en compte de cette variabilité devrait contribuer à mieux raisonner l'utilisation des drêches de blé en nutrition animale.

Nutritional values of European wheat dried distillers grains with solubles for growing pigs

Ethanol production from cereals (corn, wheat, etc) used for engines is quickly increasing as the associated co-products. This study is focused on a survey of the physical and chemical properties and energy and protein values of European wheat dried distiller grains with solubles (DDGS) for growing pigs. It is based on data of in vivo trials conducted on 10 European DDGS and their comparison with literature data. Energy and protein values were obtained in faecal and ileal digestibility trials, respectively (Trials 1 and 2) designed in order to determine digestible or metabolizable energy values and standardised ileal amino acids digestibility coefficients using the difference method. This study proposes an average profile of wheat DDGS for chemical composition (4 %, 36 % and 28 % of DM for starch, crude protein and NDF, respectively) and physical properties such as colour evaluated by luminance (L). Results indicate a large variability between samples, probably related to preparation of DDGS (drying and associated heating). These observations are especially clear for lysine content and colour properties (L) with min-max values of 0.83-3.01 % of crude protein and 43-63, respectively. On the other hand, starch and fibre content vary in the opposite way. These characteristics explain part of the variability measured during in-vivo trials for digestible energy (11.82-16.22 MJ per kg DM) or standardised ileal nitrogen (61 to 98 %) and lysine (9 to 83 %) digestibility. Such important differences in values recorded during in-vivo trials illustrate a global need for equations predicting in-vivo values from physical and chemical values. Improvement in this prediction approach of nutritional value of DDGS should contribute to a more efficient use of this co-product in animal nutrition.

INTRODUCTION

On assiste depuis quelques années à un accroissement important de la production d'éthanol en Europe. Afin d'atteindre les objectifs fixés (5,75 % d'introduction de biocarburant, éthanol ou diester pour 2010 et 10 % pour 2020) par l'Union Européenne, la production a été multipliée par 3,3 entre 2004 et 2007, passant de 528 à 1770 millions de litres. Cette production principalement réalisée à partir de blé (36 % de la production européenne d'éthanol selon le site de «European Bioethanol Fuel Association») génère un coproduit, les drêches ou Dried Distillers Grains with Solubles (DDGS) dont la commercialisation apparaît extrêmement importante pour la rentabilité de la filière. Ces drêches utilisées jusqu'à présent essentiellement par les ruminants deviennent disponibles pour l'alimentation des monogastriques. Cependant, la variabilité de composition de ces matières premières ainsi que le manque de connaissances de leur valorisation par l'animal compromettent leur utilisation dans les aliments. Ces variations de composition chimique semblent être fonction des procédés mis en œuvre (Spiehs et al., 2002, Belyea et al., 2004) qui demeurent encore évolutifs. Malheureusement, peu de données sont disponibles sur l'usage des drêches de blé en alimentation porcine. Un important travail de caractérisation *in vivo* (digestibilités fécale et iléale) de ces produits est donc à faire afin d'envisager leur emploi dans les aliments à des niveaux d'incorporation n'affectant pas les performances des animaux.

L'objectif du présent article est de synthétiser les données sur la valeur énergétique (énergie digestible (ED) et métabolisable (EM)) et la digestibilité iléale des acides aminés des drêches de blé en s'appuyant sur des études conduites en France sur 10 drêches d'origine européenne et présentant volontairement des propriétés physico-chimiques représentatives de l'ensemble des produits pouvant exister sur le marché européen. Les données obtenues sur ces 10 drêches seront complétées et comparées aux rares données de la bibliographie disponibles à ce jour.

1. MATERIELS ET METHODES

L'étude a porté sur 10 drêches de blé sélectionnées au sein d'une base plus large de 17 échantillons obtenus auprès des principaux sites de production européens durant l'été 2007. Cette sélection, réalisée à partir de l'étude des caractéristiques physico-chimiques des drêches, a permis de disposer de 10 produits dont la variabilité des caractéristiques chimiques est représentative de l'ensemble des situations rencontrées en pratique.

1.1. Essais sur animaux

1.1.1. Digestibilité fécale (essai 1)

L'essai de digestibilité fécale a été réalisé à l'INRA de St-Gilles (UMR SENAH) selon un dispositif factoriel. Les aliments ont été préparés afin de permettre un calcul par différence ou par régression des valeurs d'énergie digestible (ED) et d'énergie métabolisable (EM) des drêches. Dans ce but, un régime de base (R1 ; blé + tourteau de soja) a été préparé puis chaque drêche a été incorporée dans ce régime de base au taux de 25 % pour constituer les 10 régimes expérimentaux (R2 à R11). Les caractéristiques des 11 régimes fabriqués sont présentées dans le Tableau 3 sous forme simplifiée.

Chacun de ces régimes préparé sous forme de farine a été distribué à 5 ou 6 porcs mâles castrés de race (Large White x Landrace) x Piétrain pesant environ 50 kg au début de l'expérience. Les animaux ont été répartis entre les traitements afin d'obtenir des classes de poids vifs homogènes et éventuellement selon leur origine génétique (frère ou demi frère). Les mesures ont été réalisées au cours de 3 répétitions successives avec respectivement 20, 20 et 26 porcs. Durant les phases expérimentales, les animaux, logés en cage de digestibilité, ont reçu un des 11 régimes sous forme de soupe durant deux périodes : une première période de 10 jours d'adaptation durant laquelle le niveau d'ingestion de l'animal est augmenté pour atteindre environ 2,2 kg/jour d'aliment expérimental ou témoin, puis une période de collecte de 10 jours pendant laquelle les niveaux d'ingestion ont été maintenus à 2,2 kg et où l'ensemble des fèces et un aliquote des urines (1 % du poids total) sont collectés tous les jours.

Les fèces sont pesées et homogénéisées en fin de période de collecte et échantillonnées pour la mesure de leur teneur en matière sèche (MS) et la constitution d'un échantillon moyen qui est lyophilisé en vue des analyses de laboratoire. Un échantillon moyen de chaque régime est également constitué (repas fictif). Les quantités d'aliment proposées aux animaux et les éventuels refus au cours de la période de collecte sont évalués sur une base MS. Enfin, chaque porc a été pesé au début et à la fin de la période de collecte.

1.1.2. Digestibilité iléale (essai 2)

Pour cet essai conduit par Arvalis-Institut du Végétal (station de Villerable), dix aliments expérimentaux (R1 à R10) ont été préparés à partir d'amidon de maïs (60 %), de l'une des drêches à mesurer (20 %) et de caséine (8 %), de sucre (5 %) et d'un AMV de type porc shunté. Tous ces régimes étaient isoprotéiques (environ 15 %). La caséine a dû être introduite afin d'éviter des taux d'introduction de drêches trop élevés incompatibles avec des niveaux de consommation satisfaisants pour des porcs en anastomose iléo-rectale. Mais, afin de déterminer les valeurs de digestibilité iléale standardisée des drêches, ce dispositif a nécessité la fabrication de deux régimes complémentaires : un premier régime ne contenant que de la caséine comme source de protéines permettant de définir la digestibilité des acides aminés de ce produit (R11) et un second ne contenant pas de protéines (R12 ; protéoprive) pour la mesure des pertes endogènes basales d'acides aminés. La composition des régimes est résumée dans le tableau 4.

Pour réaliser les mesures, 10 porcs mâles castrés ont subi une anastomose iléo rectale selon la technique décrite par Laplace et al. (1989) au poids vif moyen de 45 kg. A l'issue d'une période de récupération de 4 semaines, les mesures ont été réalisées au cours de 7 périodes successives d'une semaine. Pendant ces phases, chacun des 10 aliments contenant les drêches a été testé sur 5 porcs pesant en moyenne 50 kg en début et 90 kg en fin de phase expérimentale. Quant au régime ne contenant que de la caséine, il a été mesuré sur chacun des 10 porcs, tout comme le régime protéoprive mesuré au cours d'une 8^{ème} période finale. Pour les régimes avec drêches ou le régime caséine, le calendrier des mesures a été préparé de façon à équilibrer entre régimes le rang de passage moyen au cours des 7 périodes successives. Les animaux ont été logés en cage de digestibilité et ont reçu 90g d'aliment par kg (PV)^{0,75} en deux repas quotidiens,

l'eau étant par ailleurs fournie à volonté. Chaque période de mesure est divisée en deux sous-périodes, une première d'adaptation (5 jours) et une seconde de bilan digestif (2 jours) durant laquelle les jus iléaux sont collectés intégralement à chaque repas. Ces jus sont ensuite placés à 4°C puis pesés, homogénéisés et lyophilisés en fin de bilan. Comme dans l'essai de digestibilité fécale, les quantités de MS ingérée et excrétée au cours des deux jours de collecte sont mesurées pour chaque porc. De même, des échantillons représentatifs de chacun des régimes et des jus iléaux de chaque porc (après lyophilisation) sont constitués pour les analyses de laboratoire ultérieures.

1.2. Analyses de laboratoire

1.2.1. Matières premières et régimes

La teneur en matière sèche a tout d'abord été mesurée pour chacune des matières premières broyées avant le mélange pour la constitution des régimes des essais 1 et 2 afin de définir la composition centésimale des régimes sur la base de 100 % de matière sèche des régimes. Ces mesures ont par la suite été complétées par l'analyse de la teneur en matières minérales, matières azotées (NF V18-100), matières grasses sans hydrolyse (NF V18-117), cellulose brute (NF V03-040), fibres Van Soest (NF V18-122), amidon Ewers (méthode polarimétrique, directive 1999/79 CE) et énergie brute (EB) (ISO 9831) des 10 drêches et des 11 régimes de l'essai 1. Ces mesures sur les drêches ont été répétées par un second laboratoire afin de s'assurer de l'exactitude des valeurs obtenues.

Le profil en acides aminés des drêches et de l'ensemble des 12 régimes utilisés dans l'essai 2 a été déterminé selon la directive 98/64/CE (Norme NF EN ISO 13903). Ainsi, les teneurs en acides aminés totaux sont mesurées après hydrolyse à reflux dans l'acide chlorhydrique (23h à 110°C) puis chromatographie à échange d'ions. Cette méthode ne permet cependant pas le dosage des acides aminés souffrés, dégradés lors de l'hydrolyse acide, et pour lesquels une oxydation protectrice à l'acide performique, préalablement à l'hydrolyse, est nécessaire. Cette oxydation ne nuisant pas à la lecture du contenu du produit pour les autres acides aminés, à l'exception de la tyrosine et de la phénylalanine, permet d'obtenir des doubles des valeurs obtenues après hydrolyse seule.

La couleur des drêches a été évaluée par colorimétrie au moyen d'un chromamètre Minolta CR410. La qualité de la fraction protéique des drêches a été évaluée par mesure de la dispersion des protéines dans l'eau (Méthode Officielle AOCS Ba 10-65) et dans la potasse (KOH) comme décrit dans le cas du tourteau de soja par Araba et Dale (1990) et du contenu en furosine, indicateur du niveau de dégradation par réactions de Maillard (Guerra Hernandez et Corzo 1996 ; Ferrer et al., 2003).

1.2.2. Excréta et jus iléaux

Les excréta ont été soumis à tout ou partie (sauf l'amidon et les fibres) des analyses effectuées sur les aliments. Le contenu en azote et en énergie des urines de l'essai 1 a été déterminé à partir d'échantillons sous formes liquide et lyophilisée, respectivement. Les fèces de l'essai 1 broyées à la grille de 1 mm ont subi les mêmes analyses que les régimes (sauf l'amidon et les

fibres). Pour l'essai 2, le profil en acides aminés des jus iléaux a été déterminé par chromatographie à échange d'ions selon la méthodologie explicitée pour les aliments.

1.3. Calculs et analyses statistiques

Les digestibilités apparente de l'énergie et des acides aminés ont été calculées à partir des mesures sur les aliments et les excréta selon les méthodes conventionnelles. Dans le cas des acides aminés, la digestibilité iléale standardisée a également été calculée avec la prise en compte, pour chaque porc, des pertes endogènes d'acides aminés mesurées sur chacun des porcs en fin d'expérience. L'étude de l'effet de la nature du régime sur les coefficients de digestibilité iléale et fécale a été effectuée par une analyse de variance sur les données individuelles de digestibilité des régimes. Les modèles statistiques testés prennent en compte les effets du régime (10 degrés de liberté, ddl) et de la répétition (2 ddl) pour l'essai 1 et du régime (10 ddl), de la période (6 ddl) et de l'animal (9 ddl) pour l'essai 2. Le régime protéoprive n'est pas inclus dans l'analyse des données de l'essai 2. Les résultats de ces analyses sur les données des régimes sont présentés dans les tableaux 5 et 9 pour les essais 1 et 2, respectivement.

Les valeurs de digestibilité de l'énergie et des acides aminés de chaque drêche ont été déterminées à partir des mesures effectuées sur les régimes à l'aide de la méthode par différence ou de la méthode par régression. La méthode par régression, décrite par van Milgen et al., (2001) repose sur le principe de l'additivité des teneurs en ED, EM et acides aminés digestibles des matières premières (blé, tourteau de soja et drêches pour l'essai 1, caséine et drêches pour l'essai 2) dans les régimes. Elle consiste en une décomposition du contenu en ED puis EM ou acides aminés digestibles mesurés sur le régime en la somme des ED, EM ou acides aminés digestibles des matières premières par régression non linéaire (SAS procédure NLIN). Les valeurs ED ou EM des matières premières sont définies comme le produit de l'EB et d'un coefficient de digestibilité pour l'ED et le produit de l'EB, d'un coefficient de digestibilité et du rapport EM sur ED pour l'EM. Les valeurs d'utilisation digestive iléale (apparente ou standardisée) des acides aminés sont définies comme étant le produit de la teneur en acides aminés brute et d'un coefficient de digestibilité iléale apparente ou standardisée. Cette méthode par régression appliquée sur les données individuelles de toute l'étude permet de définir des intervalles de confiance de chaque coefficient de digestibilité. Inversement, la méthode par différence appliquée uniquement sur la moyenne des résultats de chaque régime ne conduit qu'à une valeur moyenne. Dans notre étude, les méthodes par différence ou par régression ont produit des résultats très comparables et il a été choisi de ne présenter ici que les résultats d'ED, d'EM ou de digestibilité des acides aminés obtenus par différence. Les résultats d'EM mesurées ont enfin été complétés par des valeurs d'EM corrigées pour une rétention de l'azote digestible de 50 % selon la méthode décrite par Noblet et al. (2002).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Composition des drêches de blé

Un résumé de la composition proximale et du profil en acides aminés des drêches est donné dans le Tableau 1. La composi-

tion proximale des drêches reflète celle du blé. Cette observation s'explique aisément puisque 96 % de la matière sèche (MS) des drêches a pour origine le mélange céréalier initial; seuls 4 % complémentaires sont d'origine exogène (levures notamment servant à la fermentation) (Ingledeu, 1993). Le retrait de l'amidon au cours du processus de production d'éthanol laisse un faible pourcentage d'amidon résiduel au niveau des coproduits (Tableau 1). Le pourcentage d'amidon résiduel relevé dans 15 des 17 échantillons collectés au cours de ce travail était inférieur à 4 % de la MS. A l'inverse, la disparition de l'amidon conduit à une augmentation du contenu du produit en matières grasses (4,6 % de la MS) et en matières azotées (36,4 % de la MS). Les teneurs en protéines et en matières grasses varient peu au sein de notre panel d'échantillons (32,7 à 39,2 % MS et 3,4 à 5,7 % MS, respectivement).

Cet effet de concentration est également observable au niveau du contenu en cellulose brute dont la teneur est multipliée par 4 par rapport au blé (Sauvant et al., 2002). L'augmentation des teneurs globales en fibres est accompagnée d'une modification du profil en NDF, ADF et ADL dont les concentrations par rapport au blé sont multipliées par respectivement 2,0, 3,2 et 4,1.

Le profil en acides aminés (Tableau 1) est similaire à celui du blé, les matières azotées du blé d'origine représentant 94 % de celles contenues dans les drêches et les 5,3 % restants étant d'origine microbienne (Ingledeu, 1993). Cependant, des différences importantes sont notables au niveau du contenu moyen en certains acides aminés dont la concentration en % des MAT est détériorée par rapport aux données présentées dans les tables pour le blé (Sauvant et al., 2002); la concentration en ces acides aminés en % de la MAT est également très variable, en particulier pour la lysine, l'arginine et la cystine (Tableau 1). La réduction est importante dans le cas de trois produits de couleur très sombre et dégageant une odeur de brûlé, tandis qu'à l'opposé, la concentration en chacun de ces acides aminés est plus élevée pour quatre produits de couleur claire et d'odeur légèrement fermentée. La couleur apparaît donc comme un bon moyen d'appréhender la détérioration du contenu des produits en certains acides aminés.

L'évaluation du contenu en lysine s'est de plus révélée problématique dans le cas des produits les plus sombres (Tableau 1). L'étude des valeurs obtenues après hydrolyse ou après oxydation puis hydrolyse diffère largement pour les produits sombres définis précédemment et qui ont une faible teneur en lysine (<1,3 % de la MAT), les valeurs mesurées par oxydation puis hydrolyse étant supérieures de plus de 20 % aux valeurs mesurées par hydrolyse. De tels écarts jamais référencés à notre connaissance, ni pour les drêches, ni pour d'autres matières premières, pourraient être expliqués par une libération de lysine bloquée lors de l'introduction d'acide performique au cours du traitement de l'échantillon par oxydation. Le fait que ces observations sont réalisées avec les produits les plus sombres laisse penser à un effet lié au brunissement non enzymatique des produits. On peut ainsi supposer que les chaînes de réactions mises en jeu au cours de ce processus se terminant par le blocage de la lysine sous forme de composés précoces de la réaction de Maillard la rendent indisponible pour les animaux (Birlouez-Aragon et al., 2001). L'évaluation la plus juste du contenu en lysine du produit semble donc celle réalisée par hydrolyse simple dans le cas des

trois produits sombres. Aussi, seules les valeurs de teneur en lysine obtenues par cette méthode sur les matières premières, les aliments et les fèces ont été retenues par la suite dans les calculs de digestibilité.

Ces phénomènes étant enregistrés dans le cas des produits sombres, la réalisation de mesures colorimétriques des paramètres L, a et b correspondant aux mesures de luminance, indice de rouge et de jaune respectivement (Tableau 1) constitue une voie d'investigation intéressante. Malgré le nombre limité de produits dans notre étude, ces mesures ont permis de mettre en évidence une importante variabilité de la luminance, puisque les valeurs vont de 43,3 à 63,2 pour une moyenne de 53,9. Ces valeurs apparaissent également d'autre part corrélées aux teneurs en lysine des MAT mesurées sur chacun des échantillons ($R^2=0,41$) (Tableau 2). Aucune référence bibliographique n'existe pour permettre une comparaison; seul Arvalis - Institut du végétal rapporte des valeurs de luminance minimale et maximale de 34 et 64 lors de mesures réalisées sur 7 drêches de blé (données non publiées). La variabilité mesurée est néanmoins identique à celle qui a pu être rapportée dans le cas d'études sur les drêches de maïs, L variant de 28 à 52 pour ces produits selon Fastinger et Mahan (2006). Compte tenu du caractère discriminant du critère couleur sur notamment la teneur en lysine des MAT, nous avons alors été amenés à classer les produits de notre étude selon ce critère et distinguer 3 groupes: couleur sombre ($43 < L < 50$), couleur moyenne ($52 < L < 56$) et couleur claire ($56 < L < 64$) (Tableau 1).

Les données rapportées lors de notre étude indiquent des évolutions majeures du profil moyen en nutriments et un accroissement important de la variabilité inter-lots de la composition des drêches. Ces observations sont dues à des modifications techniques des procédés de fabrication qui se sont intensifiés, améliorant le rendement de production en éthanol des usines (Singh et al., 2007). Ces modifications ont conduit à une réduction globale des teneurs en amidon résiduel par rapport aux références des tables qui classent les drêches en deux catégories selon leur teneur en amidon (supérieure et inférieure à 7 % selon Sauvant et al., 2002) ainsi qu'à une augmentation des teneurs en fibres des produits. Cette classification correspondant à une classification des usines selon le procédé de production indique que la majorité des usines contactées produisent selon un procédé sans séparation initiale des sons avant fermentation. Cette intensification du procédé est également passée par un emploi d'additifs au cours du processus de fabrication et notamment d'enzymes fibrolytiques interdites auparavant dans le cadre de la production d'alcool à des fins de consommation humaine (Rapport ADAS Ltd, 2007). Ces ajouts permettent vraisemblablement une meilleure libération de l'amidon et d'une partie des oses prisonniers sous forme de fibres. Par ailleurs, les caractéristiques des drêches sont affectées par le procédé de production et notamment le mode de séchage de celles-ci. Le séchage plus ou moins intensif conduit à des chaînes de réactions décrites dans le cas d'autres produits alimentaires tels que le pain ou les biscuits et aboutit à l'association des différents constituants des drêches par l'intermédiaire de liaisons entre une fonction amine libre (ex: $\alpha\text{-NH}_2$ d'un acide aminé, ou epsilon NH_2 d'une protéine ou d'un peptide, ou encore l'amine des acides nucléiques) et les fonctions carbonyles des sucres réducteurs ou d'autres composés aldéhydiques comme les produits de peroxydation secondaire issus de l'oxydation des lipides (Arnoldi et al., 1990).

Tableau 1 - Composition chimique des 10 drêches testées

	Drêches (n=10)				Couleur ^a		
	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum	Sombre (n=3)	Moyenne (n=3)	Claire (n=4)
Teneur en MS	92,6	1,9	89,3	94,4	92,5	91,8	93,3
Composition (% MS)							
Matières minérales	5,3	0,8	4,5	6,9	5,9	5,3	4,8
Matière organique	94,7	0,8	93,1	95,5	94,1	94,6	95,2
Matières azotées totales	36,4	2,4	32,7	39,2	35,7	36,4	36,8
Matières Grasses	4,6	0,7	3,4	5,7	5,1	4,8	4,0
Cellulose brute	8,3	1,7	6,2	11,4	10,0	8,2	7,1
NDF	28,2	3,1	22,8	33,0	27,1	28,5	28,9
ADF	11,5	2,7	7,5	16,8	14,4	11,4	9,5
ADL	4,7	2,5	2,1	10,3	7,8	3,7	3,1
Amidon Ewers	4,5	2,6	2,5	10,1	3,1	3,8	6,2
Sucres totaux	3,9	1,9	2,3	7,2	3,8	3,0	4,7
Energie brute (MJ/kg MS)	20,98	0,31	20,50	21,47	21,11	21,01	20,86
Mesures colorimétriques							
L (luminance)	54	6	43	63	46	54	60
a (indice de rouge)	6,2	1,2	4,4	7,3	5,3	6,2	7,0
b (indice de jaune)	13,4	4,6	5,3	19,0	8,0	13,6	17,4
Indice de dispersion des protéines (%)							
dans l'eau	17,7	7,3	8,5	29,7	21,6	22,0	11,4
dans le KOH	34,1	6,0	27,1	43,3	36,1	38,0	29,6
Mesure des réactions de Maillard							
Furosine (‰ MS)	712	370	365	1500	633	595	860
Acides aminés essentiels (% MAT)							
Arginine	3,76	0,93	2,25	4,62	2,47	4,11	4,45
Histidine	1,95	0,19	1,66	2,18	1,71	1,99	2,11
Lysine ^b	1,91	0,74	0,83	3,01	1,01	2,40	2,21
Lysine ^c	1,94	0,59	1,12	2,89	1,26	2,35	2,14
Phénylalanine	4,44	0,15	4,22	4,65	4,31	4,47	4,52
Leucine	6,41	0,28	5,83	6,77	6,10	6,40	6,64
Isoleucine	3,42	0,09	3,28	3,54	3,31	3,47	3,47
Valine	4,22	0,12	3,97	4,39	4,09	4,27	4,28
Méthionine	1,43	0,07	1,31	1,53	1,36	1,43	1,47
Thréonine	2,95	0,15	2,68	3,14	2,77	3,02	3,02
Tryptophane	1,05	0,12	0,85	1,21	0,91	1,07	1,14
Acides aminés non essentiels (% MAT)							
Acide aspartique	4,83	0,44	4,03	5,64	4,39	5,11	4,94
Acide glutamique	25,71	1,30	22,63	26,79	25,75	24,75	26,40
Serine	4,34	0,25	3,90	4,65	4,04	4,33	4,56
Proline	8,44	0,32	8,00	9,05	8,37	8,55	8,41
Glycine	3,94	0,14	3,74	4,13	3,80	3,94	4,04
Alanine	3,65	0,22	3,36	4,09	3,49	3,81	3,65
Cystine	1,76	0,24	1,10	1,95	1,52	1,81	1,89
Tyrosine	3,02	0,10	2,80	3,12	2,90	3,05	3,08

^a Classification selon le critère de luminance : sombre (43<L<50), moyenne (52<L<56) et claire (56<L<64)^b Teneur en lysine mesurée après hydrolyse^c Teneur en lysine mesurée après oxydation puis hydrolyse

Tableau 2 - Matrice des corrélations de Pearson pour les mesures de composition chimique et les principaux indicateurs de valeur nutritionnelle^a

	MM	MAT	MG	CB	NDF	ADF	ADL	Amidon	Lysine	L	Digmat	DigLys	CUDe	ED
MM	1													
MAT	0,06	1												
MG	0,30	0,17	1											
CB	0,08	-0,22	0,62	1										
NDF	-0,33	0,17	-0,03	0,38	1									
ADF	0,30	0,02	0,72*	0,93*	0,33	1								
ADL	0,48	0,06	0,67*	0,82*	0,15	0,94*	1							
Amidon	-0,26	-0,22	-0,43	-0,60	-0,37	-0,62	-0,49	1						
Lysine	-0,55	-0,14	-0,40	-0,38	-0,08	-0,91*	-0,87*	0,24	1					
L	-0,41	0,15	-0,70*	-0,88*	0,14	-0,59	-0,66*	0,70*	0,64*	1				
Digmat	-0,72*	0,41	-0,41	-0,51	0,49	-0,57	-0,72*	0,12	0,45	0,60	1			
DigLys	-0,69*	0,24	-0,48	-0,44	0,33	-0,58	-0,77*	0,20	0,83*	0,68*	0,75*	1		
CUDe	-0,51	0,14	-0,46	-0,65*	0,02	-0,79*	-0,89*	0,18	0,82*	0,75*	0,77*	0,77*	1	
ED	-0,54	0,15	-0,38	-0,54	0,09	-0,69*	-0,83*	0,04	0,79*	0,64*	0,79*	0,76*	0,99*	1

^a * $P < 0,05$; données de composition exprimées en % de MS sauf pour la teneur en lysine (% des MAT) ; MM, MAT, MG et CB pour matières minérales, matières azotées, matières grasses et cellulose brute ; L : luminance ; Dig mat : digestibilité iléale standardisée des matières azotées (%) ; Dig lys : digestibilité iléale standardisée de la lysine (%) ; CUDe : coefficient d'utilisation digestive de l'énergie (%)

L'intensité de ces phénomènes et par conséquent le niveau de dégradation des produits peut être mesuré par le biais de la couleur. Il est vraisemblable que la hiérarchisation des produits en fonction de la couleur se retrouve également lors des essais sur animaux. Par souci de clarté, nous conserverons donc cette présentation de trois catégories de produits tout au long de la présentation des résultats *in-vivo*.

2.2. Digestibilité fécale de l'énergie et des nutriments des drêches de blé

Les résultats de digestibilité fécale des régimes sont présentés dans le tableau 5. Au cours de l'essai, les animaux ont bien toléré les régimes expérimentaux; aucun refus et aucun effet sur la croissance n'ont été enregistrés. Les résultats indiquent que l'introduction de drêches dans les régimes entraîne une diminution de l'ensemble des coefficients de digestibilité et des valeurs ED et EM des régimes. Malgré des niveaux d'azote ingéré plus importants avec les régimes contenant des drêches, la quantité d'azote fixé est plus faible en raison de niveaux élevés d'excrétion azotée, d'une part dans les fèces et d'autre part dans les urines. Ainsi, le ratio Nfixé/Ningéré passe de 40 % pour le régime témoin à 27 % pour les régimes expérimentaux. Ces résultats révèlent une situation d'apports d'acides aminés essentiels

insuffisants et déséquilibrés dans les régimes contenant les drêches et d'une excrétion azotée urinaire excédentaire. Il résulte de cette situation que les valeurs EM mesurées sur les régimes et donc sur les drêches (calculées à l'aide de la méthode par différence) sont sous-estimées, ce qui justifie de considérer comme valeur EM celle calculée pour un coefficient de rétention de l'azote de 50 % (Tableaux 5 et 6).

Les résultats de valeur nutritionnelle des drêches calculée à l'aide de la méthode par différence sont présentés dans le tableau 6. La valeur moyenne de digestibilité de l'énergie des échantillons de drêches (67 %) est conforme aux données rapportées par Nyachoti et al. (2005 ; 66 %) lors de son étude portant sur 2 produits. A l'inverse, elle diffère des valeurs rapportées par Jondreville et al. (1992) et Näsi (1985) qui mentionnent des valeurs de respectivement 78 et 51 %. Ces dernières valeurs déterminées sur un seul produit dans chaque étude correspondent au minimum et au maximum mis en évidence dans notre étude (56 et 76 %). Par ailleurs, il demeure difficile de comparer nos valeurs à celles des tables INRA-AFZ (Sauvant et al, 2002), étant donnée la division dans celles-ci des produits en deux catégories selon la teneur en amidon. On note néanmoins que les valeurs sont comprises entre les coefficients d'utilisation digestive de l'énergie des produits de teneur en amidon infé-

rieure à 7 % (majoritaire dans notre étude) (59 %) et des produits dont la teneur en amidon supérieure à 7 % (74 %) reflètent bien la variabilité mise en évidence au cours de notre étude. Les valeurs de digestibilité moyenne définies pour les autres paramètres sont de 68, 70, et 65 % pour respectivement la matière organique, les matières azotées et les matières grasses. Ces valeurs moyennes sont comparables aux données rapportées dans les tables pour les drêches < 7 % d'amidon (62, 65 et 61 %). Mais elles sont très inférieures aux valeurs équivalentes rapportées pour le blé, sauf pour les matières grasses (respectivement 90, 84 et 24 %), du fait de la concentration plus importante de ces produits en fibres.

Les valeurs mesurées sur les 10 produits sont très variables comme l'indique l'importance des écarts observés pour la digestibilité de la matière organique, des matières azotées et des matières grasses : 58-77 %, 49-88 % et 37-93 %. En dépit de ces différences de digestibilité entre les drêches de notre étude et le blé (Sauvant et al., 2002), la teneur moyenne en énergie digestible (ED) des drêches est très inférieure à celle du blé (13,96 vs 15,94 MJ par kg MS). Les teneurs moyennes en ED des produits mesurés dans notre étude sont cependant supérieures aux valeurs rapportées pour les drêches < 7 % dans les Tables (Sauvant et al., 2002) (13,96 vs 12,54 MJ par kg de MS pour la moyenne des valeurs mesurées et la valeur des tables). Les teneurs moyennes en EM mesurées dans notre essai sont très inférieures aux valeurs rapportées dans les tables pour le blé (13,41 vs 12,45 MJ par kg MS respectivement), cette différence peut cependant être réduite lorsque l'on prend en compte la teneur en EM calculée (13,13 vs 15,46 MJ par kg MS ; Tableau 6). Cette situation est à rapprocher des commentaires effectués ci-dessus pour le calcul de la valeur EM des régimes.

Les écarts de contenu en énergie digestible entre produits mis en évidence dans ce travail (de 11,8 à 16,2 MJ par kg MS) sont importants et même supérieurs aux valeurs ED extrêmes rapportées dans la littérature (12,8, 16,0 et 16,8 MJ par kg MS selon Näsi, 1985, Jondreville et al. 1992 et Widayatne et Zijlstra, 2006) et ils illustrent la difficulté de se référer pour ces produits à des données moyennes. Ces différences entre matières premières peuvent cependant être partiellement expliquées, comme pour les données de composition chimique, par la couleur. La prise en compte de ce critère permet de distinguer des produits dont les coefficients de digestibilité des différents constituants, les contenus en ED et EM et les rapports entre EM et ED sont très différents. Cette observation est particulièrement vraie pour les produits les plus sombres dont les coefficients de digestibilité de l'énergie sont inférieurs de 7 points et les teneurs en ED et EM inférieures de 1,4 MJ par kg de MS (Tableau 6) aux valeurs moyennes. Une évaluation plus fine du coefficient d'utilisation digestive de l'énergie (CUDe) et de la teneur en énergie digestible du produit peut aussi être obtenue à partir des mesures de composition chimique (Tableau 7). La teneur en ADF apparaît comme le critère le plus sensible pour la prédiction de ces valeurs, les critères L et CB ne permettant pas de prédiction aussi sensible et précise de la teneur en ED du produit et du coefficient d'utilisation digestive de l'énergie. Ils ne sont de plus pas pertinents non plus dans le cadre d'une régression multiple du fait des fortes corrélations existant entre chacun de ces paramètres (Tableau 2). Ce critère ADF permet d'expliquer 60 % de la variabilité des valeurs de CUDe et 50 % de celle des teneurs en ED ou EMc (Tableau 7). Cette proposition est cependant à prendre avec précaution, étant donné les

Tableau 3 - Compositions centésimale et chimique des régimes de l'essai 1

	Régime témoin (n=1)	Régimes expérimentaux (n=10)	
		Moyenne	Ecart type
Composition centésimale, %			
Blé	87,3	64,9	
Tourteau de soja	10,0	7,4	
Drêches de blé		25,0	
Phosphate bicalcique	0,7	0,7	
Carbonate de calcium	1,1	1,1	
Sel marin	0,5	0,5	
COV	0,5	0,5	
Composition chimique, % de MS			
Matières minérales	5,2	5,8	0,2
Matières azotées totales	15,4	20,7	0,6
Matières grasses	1,2	2,1	0,2
Cellulose brute	3,1	4,2	0,3
NDF	14,3	21,0	1,5
ADF	3,8	6,9	1,3
ADL	0,8	2,4	1,0
Amidon polarimétrique	60,3	45,3	0,8
Energie brute (MJ/kg MS)	17,95	18,60	0,07

Tableau 4 - Compositions centésimale et chimique des régimes de l'essai 2

	Régime protéoprive (n=1)	Régime caséine (n=1)	Régimes expérimentaux (n=10)	
			Moyenne	Ecart type
Composition centésimale, %				
Amidon de maïs	88,0	73,0	60,0	
Caséine		15,0	8,0	
Drêches de blé			20,0	
Sucre cristallisé	5,0	5,0	5,0	
Cellulose Arbocel B00	0,6	0,6	0,6	
Phosphate bicalcique	2,1	2,1	2,1	
Carbonate de calcium	2,1	2,1	2,1	
Sel marin	0,6	0,6	0,6	
COV	1,6	1,6	1,5	
Composition chimique, % de MS				
Matière sèche	88,50	88,90	90,00	0,20
Matières azotées totales	0,60	15,20	16,10	0,60
Acides aminés essentiels (% MAT)				
Arginine		3,76	3,69	0,44
Histidine		3,03	2,47	0,10
Lysine ^a		8,49	5,16	0,40
Phénylalanine		5,39	4,87	0,14
Leucine		9,89	8,10	0,17
Isoleucine		5,46	4,43	0,08
Valine		6,94	5,61	0,11
Méthionine		2,92	2,06	0,08
Thréonine		4,43	3,63	0,08
Tryptophane		1,26	1,18	0,05
Acides aminés non essentiels (% MAT)				
Acide aspartique		7,45	6,09	0,21
Acide glutamique		22,88	24,21	0,98
Serine		5,90	5,08	0,15
Proline		11,00	9,71	0,31
Glycine		1,99	2,92	0,09
Alanine		3,25	3,44	0,10
Cystine		0,39	1,05	0,15
Tyrosine		5,02	3,88	0,08

^a Teneur en lysine mesurée après hydrolyse

problèmes méthodologiques rencontrés pour le dosage des fractions van Soest.

2.3. Digestibilité iléale des acides aminés des drêches de blé

Le tableau 8 présente les valeurs d'azote et d'acides aminés endogènes relevées au cours de l'essai qui sont assez conformes aux valeurs rapportées dans les Tables INRA-AFZ (Sauvant et al., 2002) ou par Noblet et al. (2007). Le tableau 9 présente les coefficients de digestibilité iléale des régimes expérimentaux et du régime contenant la caséine. Il indique une digestibilité quasi-totale de la plupart des acides aminés apportés par la caséine.

L'ajout de drêches s'accompagne d'une réduction significative de la digestibilité de l'ensemble des acides aminés (8 points de différence en moyenne).

Les coefficients de digestibilité iléale standardisée calculés par différence entre les contenus en acides aminés digestibles standardisés du régime expérimental contenant la drêche et celui du régime contenant la caséine puis division par le contenu en acides aminés totaux du produit sont rapportés dans le tableau 10. La valeur de digestibilité iléale apparente moyenne obtenue pour l'ensemble des acides aminés (sans la lysine) est de 71 %. Cette valeur est légèrement inférieure aux valeurs rapportées dans la littérature : Jondreville et al. (1992,

Tableau 5 - Coefficients de digestibilité fécale de l'énergie et des nutriments des régimes et bilans azotés (essai 1)

	Régimes			Statistiques ^a	
	Témoin	Expérimentaux (n=10)		Effet régime	Ecart type résiduel
		Moyenne	Ecart type		
Poids vif moyen des animaux, kg	63,9	63,3	1,0	0,76	2,4
Gain moyen quotidien, g/j	748	706	60	0,34	91
Matière sèche ingérée, g/j	1886	1891	21	0,35	831
Bilan azoté, g/j					
Ingéré	47,2	62,9	2	<0,0001	2,0
Absorbé	40,7	49,8	4,0	<0,0001	1,4
Fixé	19,4	17,0	2,7	<0,0001	2,5
Coefficients de digestibilité, %					
Matière sèche	88,4	82,6	1,5	<0,0001	0,8
Matière organique	90,2	84,4	1,5	<0,0001	0,7
Matières azotées	86,3	79,3	5,6	<0,0001	2,0
Matières grasses	2,7	38,6	12,8	<0,0001	3,6
Energie	87,6	81,5	1,8	<0,0001	0,9
Valeur énergétique (MJ par kg de MS)					
ED	15,75	15,16	0,35	<0,0001	0,18
EM mesurée ^b	15,23	14,38	0,35	<0,0001	0,18
EM calculée ^b	15,22	14,56	0,31	<0,0001	0,17

^a Valeurs d'écart type résiduel et de significativité de l'effet régime obtenues à partir du modèle d'analyse de variance prenant en compte l'effet régime (n=11) et l'effet répétition (n=3); l'effet répétition n'est pas significatif pour la majorité des critères

^b EM mesurée est la valeur EM obtenue à l'aide du dosage de l'énergie des urines; EM calculée est la valeur EM calculée selon la méthode décrite par Noblet et al, (2002) dans laquelle un coefficient de rétention de l'azote de 50 % est choisi pour le calcul des pertes d'énergie urinaires.

Tableau 6 - Coefficients de digestibilité fécale de l'énergie et des nutriments et valeurs énergétiques des drèches de blé (n=10)^a

	Drèches de blé				Couleur ^c		
	Moyenne	Ecart type	minimum	maximum	Sombre (n=3)	Moyenne (n=3)	Claire (n=4)
Coefficient de digestibilité en %							
Matière organique	68,2	5,7	57,9	77,0	61,2	70,3	71,8
Matières azotées	69,8	13,7	49,0	87,8	51,4	76,7	78,5
Matières grasses	64,9	18,8	36,6	93,6	84,3	65,7	49,8
Energie	66,5	6,0	56,3	76,0	59,5	69,0	70,0
Valeur énergétique (MJ par kg de MS)							
ED	13,96	1,28	11,82	16,22	12,56	14,50	14,60
EM mesurée ^b	12,45	1,28	10,29	14,67	11,07	13,06	13,04
EM calculée ^b	13,13	1,17	11,14	15,20	11,89	13,63	13,70

^a Valeurs déterminées par la méthode par différence

^b EM mesurée est la valeur EM obtenue à l'aide de la méthode par différence sur les données mesurées des régimes; EM calculée est la valeur EM calculée selon la méthode décrite par Noblet et al, (2002) dans laquelle un coefficient de rétention de l'azote de 50 % est choisi pour le calcul des pertes d'énergie urinaires.

^c Classification selon le critère de luminance : sombre (43<L<50), moyenne (52<L<56) et claire (56<L<64)

80 %), Nyachoti et al. (2005, 79 %). Ces observations sont également vraies pour la valeur de digestibilité iléale standardisée mesurée (76 % en moyenne pour les acides aminés hors lysine) pour notre lot de drèches. Cependant, les données rapportées pour chaque acide aminé sont, dans le cas de notre étude, inférieures de 5 points environ aux valeurs moyennes rapportées par Widyaratne et Zijlstra (2006, 83 %) et Vilariño

et al. (2007, 82 %). Seuls Lan et al. (2008 ; 77 %) présentent des présentes des valeurs de digestibilité iléale standardisée et apparente comparables à nos valeurs.

La variabilité mise en évidence au cours de notre essai est supérieure à celle mise en évidence par ces auteurs qui ont travaillé sur un nombre plus restreint d'échantillons (seulement 1 à 2

Tableau 7 - Equations de prédiction des coefficients d'utilisation digestive de l'énergie et des teneurs en énergie digestible des drêches de blé^a

	R ²	ETR
Coefficient d'utilisation digestive de l'énergie (CUDe, %)		
CUDe = 85,2 - 2,2 CB	0,42	4,8
CUDe = 29,7 + 0,7 L	0,56	4,2
CUDe = 86,7 - 1,7 ADF	0,61	3,9
Energie digestible (ED, MJ par kg de MS)		
ED = 7,18 + 0,13 L	0,41	1,04
ED = 17,73 - 0,33 ADF	0,48	0,98
Energie métabolisable calculée^b (EMc, MJ par kg de MS)		
EMc = 7,05 + 0,11 L	0,40	0,96
EMc = 16,59 - 0,30 ADF	0,48	0,89

^a teneurs en CB et ADF exprimées en % de MS ; L: luminance; ETR: écart type résiduel

^b EM calculée est la valeur EM calculée selon la méthode décrite par Noblet et al. (2002) dans laquelle un coefficient de rétention de l'azote de 50 % est choisi pour le calcul des pertes d'énergie urinaires

Tableau 8 - Pertes endogènes d'acides aminés mesurées sur les dix porcs de l'essai 2 (g par kg de MS ingérée)

	Essai 2		Noblet et al., 2002
	Moyenne	Ecart type	
Acides aminés essentiels			
Arginine	0,29	0,15	0,28
Histidine	0,11	0,06	0,13
Lysine	0,29	0,13	0,31
Phénylalanine	0,25	0,12	0,27
Leucine	0,41	0,21	0,43
Isoleucine	0,25	0,12	0,25
Valine	0,34	0,18	0,36
Méthionine	0,11	0,05	0,09
Thréonine	0,33	0,18	0,33
Tryptophane	0,13	0,07	0,12
Acides aminés non essentiels			
Acide aspartique	0,57	0,27	0,55
Acide glutamique	0,67	0,34	0,74
Serine	0,29	0,16	0,33
Proline	0,29	0,20	0,54
Glycine	0,38	0,23	0,44
Alanine	0,39	0,21	0,37
Cystine	0,12	0,07	0,14
Tyrosine	0,28	0,14	0,22

échantillons par étude). La différence entre le minimum et le maximum de digestibilité iléale standardisée pour les différents acides aminés est de l'ordre de 25 %. On note cependant, à l'étude de la distribution des valeurs, une contribution importante des valeurs de digestibilité très faibles mesurées pour les produits de couleur sombre, soulignant encore la relation entre procédé industriel et valeur nutritionnelle.

L'étude de la digestibilité iléale standardisée de la lysine indique les mêmes tendances que celle présentées pour les autres acides aminés. La valeur moyenne obtenue pour ces produits est ainsi de

56 %, mais elle varie de 9 à 83 %. Les valeurs très faibles mesurées pour les produits de couleur sombre réduisent la valeur moyenne de digestibilité et accroissent de façon importante la variabilité. Cette valeur moyenne ainsi que la variabilité indiquent le caractère exhaustif de notre étude par rapport aux données de la littérature pour lesquelles les minimum et maximum relevés sont de 49 % et 72 % pour Lan et al. (2008) et Vilariño et al. (2007).

La classification des produits selon leur couleur permet de réaliser trois groupes présentant des valeurs de digestibilité homogènes pour l'ensemble des acides aminés. Ces valeurs diffèrent

Tableau 9 - Coefficients de digestibilité iléale standardisée des acides aminés des régimes (essai 2)

	Régimes			Statistiques ^a	
	Caséine	Expérimentaux		Effet régime	Ecart type résiduel
		Moyenne	Ecart type		
Poids vif moyen des animaux, kg	62,4	62,6	1,8	0,2	1,1
Gain moyen quotidien, g/j	529	535	79	0,08	113
Matière sèche ingérée, g/j	1174	1194	26	0,07	60
Coefficients de digestibilité iléale apparente, %					
Matière sèche	93,3	85,3	0,9	<0,0001	1,5
Matière organique	93,3	85,3	0,9	<0,0001	1,5
Matières azotées	94,0	82,7	4,4	<0,0001	1,3
Coefficients de digestibilité iléale standardisée, %					
Matières azotées	99,3	87,7	4,3	<0,0001	1,3
Acides aminés essentiels					
Arginine	100,3	92,0	2,8	<0,0001	1,3
Histidine	99,8	92,0	2,9	<0,0001	0,8
Lysine ^b	99,5	93,0	1,2	<0,0001	1,1
Phénylalanine	100	93,4	2,6	<0,0001	0,8
Leucine	99,6	92,2	3,0	<0,0001	0,8
Isoleucine	97,6	87,6	3,5	<0,0001	1,4
Valine	98,6	89,3	3,5	<0,0001	1,1
Méthionine	99,5	91,6	3,0	<0,0001	1,0
Thréonine	100,2	90,1	3,3	<0,0001	1,2
Tryptophane	100,2	89,5	3,4	<0,0001	1,6
Acides aminés non essentiels					
Acide aspartique	99,3	87,1	4,0	<0,0001	1,5
Acide glutamique	98,1	91,5	3,2	<0,0001	1,0
Serine	95,5	85,9	3,8	<0,0001	2,0
Proline	100,0	94,3	2,6	<0,0001	1,2
Glycine	101,3	83,9	5,8	<0,0001	2,7
Alanine	99,0	84,4	4,6	<0,0001	1,8
Cystine	100,8	81,7	7,7	<0,0001	5,3
Tyrosine	100,1	93,7	2,3	<0,0001	0,9

^a Valeurs d'écart type résiduel et de significativité de l'effet régime obtenues à partir du modèle d'analyse de variance prenant en compte l'effet régime (n=11), l'effet animal (n=10) et l'effet période (n=7)

^b Calculs réalisés à partir des teneurs en lysine des matières premières, des aliments et des fèces mesurées par hydrolyse.

largement entre les trois groupes. La différence est la plus notable pour la lysine dont la digestibilité pour chacun des groupes sombre, moyen et clair est de respectivement 16, 57 et 72 %. Cette variation de la digestibilité selon la couleur se constate également pour les autres acides aminés mais avec une amplitude plus faible. Ces variations de la digestibilité des autres acides aminés sont de plus très fortement corrélées à la réduction de digestibilité de la lysine ($R^2=0,70$). Des études similaires ont abouti aux mêmes relations entre couleur et digestibilité de la lysine et des acides aminés pour les drêches de maïs. Fastinger et Mahan (2006) rapportent ainsi des digestibilités standardisées de la lysine de 61 % pour les produits les plus clairs et de 38 % pour les produits les plus sombres.

En définitive, la teneur en lysine digestible des produits sombres est doublement affectée, d'une part, par la réduction du contenu en lysine totale des MAT et, d'autre part, par une diminution de la digestibilité de la lysine restante. L'effet des réactions de Maillard décrit dans la partie composition est donc double. Il contribue d'une part à la destruction-séquestration d'une partie de la lysine et d'autre part à l'indisponibilité de la lysine pour l'animal (Carpenter et al., 1960). Nos mesures mettent en évidence la nécessité de développer des équations de prédiction de la digestibilité iléale standardisée de la lysine (Tableau 11). Plusieurs critères de composition chimique peuvent être considérés pour la prédiction de la digestibilité iléale standardisée de la lysine. La teneur en lysine exprimée en % de la MAT et la mesure de la

Tableau 10 - Coefficients de digestibilité iléale standardisée des acides aminés des drêches de blé (n=10)^a

	Drêches (n=10)				Couleur ^c		
	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum	sombre (n=3)	moyenne (n=4)	claire (n=3)
Coefficient de digestibilité en %							
Matières azotées	78,7	12,6	60,7	98,5	66,6	77,2	88,7
Acides aminés essentiels							
Arginine	83,0	7,9	68,5	92,3	70,1	84,5	89,0
Histidine	78,9	8,4	63,5	89,9	64,3	78,9	85,7
Lysine ^b	55,7	22,5	8,9	82,8	16,5	56,9	72,3
Phénylalanine	85,8	5,7	74,8	93,1	76,2	85,7	90,2
Leucine	80,5	7,4	65,9	90,5	68,1	79,4	86,8
Isoleucine	71,9	8,9	54,6	82,6	59,0	69,7	80,1
Valine	74,3	9,1	57,6	84,9	60,2	73,8	82,1
Méthionine	72,0	12,6	45,7	87,1	52,1	72,4	82,1
Thréonine	74,9	8,6	60,2	87,1	64,0	76,8	81,7
Tryptophane	77,3	8,1	62,6	87,9	65,3	75,2	84,9
Acides aminés non essentiels							
Acide aspartique	68,5	11,1	48,8	81,5	50,9	69,1	77,8
Acide glutamique	85,7	5,9	74,8	93,1	77,5	84,1	91,5
Serine	87,1	5,8	56,5	85,4	62,5	70,9	81,9
Proline	72,5	9,9	77,9	94,7	78,3	85,7	92,3
Glycine	75,4	8,6	60,0	86,3	61,7	74,9	82,4
Alanine	72,0	8,6	56,0	83,1	57,2	71,1	78,9
Cystine	77,2	10,3	55,5	90,4	60,1	77,5	85,4
Tyrosine	81,6	6,5	69,7	91,0	70,1	79,3	86,6

^a Valeurs déterminées à l'aide de méthode par différence

^b Calculs réalisés à partir des teneurs en lysine des matières premières, des aliments et des fèces mesurées par hydrolyse

^c Classification selon le critère de luminance : sombre ($43 < L < 50$), moyenne ($52 < L < 56$) et claire ($56 < L < 64$)

Tableau 11 - Equations de prédiction des digestibilités iléales standardisées de l'azote (CUD N, %) et de la lysine (CUD Lys, %)^a

Equations de prédiction	R ²	ETR ^a
Digestibilité iléale standardisée de l'azote		
CUD N = 112,4 - 2,9 ADF	0,35	11,3
Digestibilité iléale standardisée de la lysine		
CUD Lys = 2,5 L	0,46	18,4
CUD Lys = 113,5 - 5,0 ADF	0,32	20,7
CUD Lys = 27,3 Lys	0,69	14,0
CUD Lys = 56,2 + 27,3 Lys - 1,6 IDPKOH	0,85	10,0

^a ETR : écart type résiduel ; ADF : teneur en ADF (% MS) ; Lys : teneur en lysine (% de la MAT) ; IDPKOH : Indice de dispersion de l'azote dans la potasse (%)

dispersion des protéines dans la potasse (IDPKOH) du produit semblent intéressantes. Les caractéristiques de chacune des équations sont rappelées dans le tableau 11. Ainsi, la teneur en lysine (en % de la MAT) permet d'expliquer 69 % des valeurs de digestibilité iléale standardisée. La prise en compte du critère de dispersion des protéines dans le modèle permet d'aboutir à un modèle plus précis expliquant 85 % de la variabilité. Le critère

luminance utilisé tout au long de cette étude comme outil de classification des produits n'apporte pas d'amélioration de la prédiction de la digestibilité de la lysine au-delà de la prédiction apportée par la teneur en lysine des MAT, ces deux variables étant corrélées (Tableau 2). Ces calculs ont été également réalisés pour la digestibilité iléale standardisée de l'ensemble des acides aminés et de l'azote. Les effets sont peu importants et justifient le recentrage de ce travail sur la prédiction de la digestibilité de la lysine. Les variations de digestibilité iléale standardisée de l'azote des produits sont expliquées seulement par les variations de la teneur en ADF des produits ($R^2=0,35$ ETR=11 %). Cette variable ADF constitue la seule variable prédictrice présentant un coefficient qui soit significativement différent de zéro. Ce résultat est conforme aux résultats obtenus par Jondreville et al., (1994).

CONCLUSIONS

Les drêches de blé apparaissent comme des produits originaux par rapport au blé mais également par rapport aux autres coproduits de meunerie du blé dont les caractéristiques sont fortement influencées par les procédés de fabrication. Les effets de ces procédés sont multiples et touchent les valeurs de composition chimique et les valeurs de digestibilité des protéines et acides aminés et de l'énergie des produits pour les animaux.

En particulier, notre étude indique que la maîtrise du séchage des produits est primordiale pour la maîtrise des réactions de Maillard qui peuvent avoir lieu lors de sur-chauffage.

Ces problèmes peuvent cependant être dépassés comme semble l'indiquer notre étude en tirant profit des propriétés physiques du produit et notamment de la couleur qui permet une séparation des produits en trois catégories : sombre (mauvaise qualité), moyenne (qualité intermédiaire) et claire (bonne

qualité). La couleur est également très corrélée à la teneur en lysine des matières azotées. L'étape suivante nécessite d'affiner cette prédiction par la mise en place de relations robustes entre les données de valeur nutritionnelle mesurées in-vivo et les mesures des caractéristiques physico-chimiques des produits. Cependant, comme cela a été discuté dans la partie traitant de la composition, des travaux méthodologiques complémentaires sont nécessaires en amont, notamment pour l'évaluation du contenu du produit en lysine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Araba M., Dale N.M., 1990. Evaluation of KOH solubility as an indicator of over-processing of soybean meal. *Poultry Sci.*, 69, 76-83.
- Arnoldi A., Arnoldi C., Baldi O., Ghizzoni C., 1990. Effect of lipids in the Maillard reaction. In *The Maillard reactions in food processing, human nutrition and physiology*. Finot P.A., Aeschbacher H.U., Hurrell R.F., Liardon R., Ed., Birkhäuser, 133-138.
- Belyea R.L., Rausch K.D. et Tumbleson M.E., 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles in grind ethanol processing Biores. *Techol.* 94., 293-298.
- Birlouez-Aragon I., Leclere J., Quedraogo C. L., Birlouez E. et Grongnet J.F., 2001. The FAST method, a rapid approach of the nutritional quality of heat-treated foods *Molecular Nut. Food Research*, 45, 201-205.
- Carpenter K. J., 1960. The estimation of the available lysine in animal protein foods. *Biochem.*, J., 77, 604.
- Cottrill B., Smith C., Berry P., Weightman R., Wiseman J., White G., Temple M., 2007. Opportunities and implications of using the co-product from biofuel production as feeds for livestock. Home-Grown Cereals Authority, English Beef and Lamb Executive and British Pig Executive report. ADAS (ed).
- Fastinger, N.D., Mahan., D.C., 2006. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 1722–1728
- Ferrer, E., Alegria, A. Farré. R., Abellan, P., Romero, F. et Clemente, G. 2003. Evolution of available lysine and furosine contents in milk-based infant formulas throughout the shelf-life storage period. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 465-472.
- Guerra-Hernandez E., Corzo N., 1996. Furosine determination in baby cereals by ion-pair reversed-phase liquid chromatography. *Cereal Chem.*, 73, 729-731.
- Ingledew W.M., 1993. Yeast for production of fuel ethanol. *The Yeast 2nd Edition Vol. 5 Yeast Technology*. Academic Press. New York, NY.
- Jondreville C., Van Den Broecke J., Delpech A., Gatel F., Bertin J.M., Beaux M.F., Grosjean F., 1994. Facteur de variation de la digestibilité iléale des acides aminés des céréales chez le porc charcutier. *Journ. Rech. Porcine en France*, 26, 251-258.
- Jondreville C., Bertin J. M., Grosjean F., 1992. Valeur alimentaire d'un coproduit de la fabrication d'éthanol à partir du blé pour le porc. *Journ. Rech. Porcine en France*, 24, 159-166.
- Lan Y., Opapeju F.O., Nyachoti C.M., 2008. True ileal protein and amino acid digestibilities in wheat dried distillers' grains with solubles fed to finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 140, 155-163.
- Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Pérez J.M., Henry Y., Giger S., Sauvant D., 1989. Associative effects between two fibre sources on ileal and overall digestibilities of amino acids, energy and cell-wall components in growing pigs. *British J. of Nut.*, 61, 75-87.
- Näsi M., 1985. Distillers feeds from various grain as protein sources for pigs *J. Agri. Sci Finland*, 57, 255-262.
- Noblet J., Sève B., Jondreville C., 2002. Valeurs nutritives pour les porcs. In : D. Sauvant, J.M. Perez and G. Tran (Eds), *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons*. INRA Editions, Versailles, France, 25-35.
- Noblet J., Jaguelin-Peyraud Y., Sève B., Delporte C., 2007. Valeur nutritionnelle des co-produits de l'amidonnerie de pois chez le porc. *Journ. Rech. Porcine en France*, 39, 111-118.
- Nyachoti C.M., House J.D., Slominski B.A., Seddon, I. R., 2005. Energy and nutrient digestibilities in wheat dried distillers' grains with solubles fed to growing pigs. *J. Food Agri. Sci.*, 85, 2581-2586.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2002. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons*. INRA Editions, Versailles, France.
- Singh V., Parsons C., Pettigrew J., 2007. Process and engineering effect on DDGS products-Present and future. *Proceeding 5th Mid Atlantic Nutrition Conference*, Baltimore, MD. March 29, 2007.
- 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.
- Van Milgen J., Noblet J., Dubois S., 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *J. of Nut.*, 131, 1309-1318.
- Vilariño M., Skiba F., Callu P., 2007. Digestibilité iléale standardisée des protéines et des acides aminés de deux lots de drèches de bioéthanol de blé chez le porc charcutier. *Journ. Rech. Porcine en France*, 39, 157-158.
- Widyaratne G.P., Zijlstra R.T., 2006. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: digestibility and digestible contents of energy, amino acids and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. of Anim. Sci.*, 87, 103-114.
- www.ebio.org: Site de "European Bioethanol Fuel Association".

