



Centre de référence en agriculture  
et agroalimentaire du Québec

Comité bovins laitiers

## 31<sup>e</sup> Symposium sur les bovins laitiers « *Repenser nos modèles* »

Jeudi 15 novembre 2007

# Répercussions de l'industrie de l'éthanol sur l'alimentation des vaches au moindre coût

**Louis E. ARMENTANO, Ph.D.**

Professeur spécialisé dans la physiologie de nutrition des ruminants

Department of Dairy Science  
University of Wisconsin-Madison

Conférence préparée avec la collaboration de :

**E. FRENCH et R. KAISER**

Department of Dairy Science, University of Wisconsin-Madison

Cette conférence a été réalisée grâce au soutien du programme *Initiative d'appui aux conseillers agricoles* selon les termes de l'entente Canada-Québec sur le Renouveau du Cadre stratégique agricole



Agriculture et  
Agroalimentaire Canada. Agriculture and  
Agri-Food Canada

Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation

Québec

Canada

---

**Note : Cette conférence a été présentée lors de l'événement et a été publiée dans le cahier des conférences.**

Pour commander le cahier des conférences, consultez  
[le catalogue des publications du CRAAQ](#)

Vous retrouverez ce  
document sur le site  
Agrireseau.qc.ca



# **Répercussions de l'industrie de l'éthanol sur l'alimentation des vaches au moindre coût**

## **Introduction**

Il y a longtemps que la drêche de distillerie est considérée comme un excellent supplément dans l'alimentation des vaches laitières en lactation en raison de sa teneur en gras et en protéine échappant à la dégradation ruminale. La drêche de distillerie sèche avec solubles (DDSS) est depuis longtemps couramment utilisée dans les mélanges concentrés servis aux bovins laitiers, mais elle n'y occupe généralement qu'une part modeste. Cependant, l'accroissement de la production d'éthanol et son effet sur le prix de la drêche de distillerie font en sorte qu'il devient intéressant de l'intégrer en plus grande proportion dans l'alimentation des bovins laitiers. L'usage accru du maïs pour la production d'éthanol pousse le prix du maïs à la hausse, tandis que la substitution du maïs au soya sur de grandes superficies agricoles risque de se traduire par un accroissement du prix du soya. Il peut aussi s'ensuivre une hausse du prix de l'énergie et des protéines requises dans l'alimentation animale.

Par ailleurs, une demande accrue d'huile pour la production de biodiesel pourrait susciter une augmentation du coût des sources de matière grasse. Comme la drêche de distillerie fournit de l'énergie, du gras et des protéines, ces diverses tendances économiques ont pour effet de rehausser aussi la valeur de la drêche; par contre, un approvisionnement accru pourrait aussi contribuer à maintenir le prix de cet aliment relativement en deçà de celui d'autres sources fournissant les mêmes éléments nutritifs.

Des régimes alimentaires comprenant 20 % ou plus de matière sèche provenant de drêche de distillerie ont été utilisés avec succès dans le cadre de plus d'un essai de recherche. En pratique, toutefois, l'incertitude quant à la composition nutritive exacte de la drêche et l'incapacité (ou le refus) d'adapter le reste de la ration de manière à compléter adéquatement une forte proportion de drêche imposent des contraintes supplémentaires à son taux d'inclusion. En général, l'inclusion de la drêche de distillerie à la ration est limitée par la faible teneur en lysine des protéines non dégradables (une propriété inhérente à la protéine zéine contenue dans l'albumen, mais qui se trouve aggravée si l'aliment est chauffé de manière excessive) par sa teneur relativement élevée en huile libre, en grande partie insaturée et par sa teneur en phosphore. Alors que les protéines non dégradées dans le rumen, le gras et le phosphore sont des composantes bénéfiques de la drêche de distillerie lorsque celle-ci est utilisée en faible proportion à titre de supplément alimentaire, ils peuvent poser certains défis lorsque l'on tente de maximiser son usage pour réduire le coût de la ration.

## **Procédés de transformation du maïs en éthanol**

L'engouement actuel pour la fabrication d'éthanol à partir du maïs fait principalement appel à un procédé relativement simple parfois appelé mouture à sec, mais qu'il convient plutôt d'appeler broyage à sec. La mouture implique une séparation mécanique des constituants du grain, ce qui n'est pas le cas dans le procédé normalement utilisé pour la production d'éthanol. La mouture à sec du maïs sert plutôt à la transformation du maïs destiné à la consommation humaine, alors que les sous-produits de ce procédé, le tourteau et le son de maïs, sont utilisés pour l'alimentation animale. Bien que les usines modernes de production d'éthanol par broyage à sec, avec leurs installations en acier inoxydable et leurs systèmes de contrôle et de gestion des stocks ultrasophistiqués, soient passablement plus efficaces que les usines d'antan, le procédé de base demeure fondamentalement le même.

Le maïs égrené et séché est broyé, mélangé à des enzymes qui transforment l'amidon en glucose, puis mis à fermenter avec de la levure (processus d'empâtage). La « bière » qui en résulte est alors distillée pour produire l'éthanol. La plus grande partie de l'amidon est ainsi retirée sous forme d'éthanol et de dioxyde de carbone, le résidu étant constitué de fibre de maïs, de protéine, de cendre et de gras, en suspension dans le distillat complet. Si un boisseau de maïs contient 15,4 kg d'amidon et que 92 % de celui-ci est hydrolysé (ce qui ajoute 1,6 kg d'eau) et fermenté, il y aura production de 7,75 kg de dioxyde de carbone et de 8,1 kg (12,7 litres) d'éthanol.

Le reste des constituants du maïs est distribué en un résidu de grain grossier, le « tourteau », et en une solution d'éléments nutritifs dissous ou dispersés dans l'eau, c'est-à-dire la fraction légère du distillat, ou « solution de résidus de distillation ». Ces résidus solubles de distillation sont ensuite concentrés dans des évaporateurs pour donner un sirop concentré ou « solubles ». Lorsque le tourteau et les solubles sont combinés et asséchés, on obtient la drêche de distillerie sèche avec solubles (DDSS). Le rapport de matière sèche se situe aux environs de 50:50 dans ces deux fractions du distillat complet. Le rendement de ces fractions, exprimé par rapport à la matière sèche d'origine du maïs utilisé, est donc approximativement de 1/3 d'éthanol, 1/3 de dioxyde de carbone, 1/6 de drêche de distillerie (sans solubles) et 1/6 de solubles. L'un ou l'autre de ces sous-produits pourrait être vendu séparément, sous forme de drêche de distillerie et de solubles concentrés, mais ils sont généralement combinés. Par définition, la drêche de distillerie sèche avec solubles contient au moins les 3/4 de la matière sèche tirée du distillat complet. Avec un rapport de production de tourteau et de solubles de 50:50, la DDSS pourrait théoriquement contenir entre 1/3 de tourteau pour 2/3 de solubles et 2/3 de tourteau pour 1/3 de solubles et satisfaire à cette définition. En pratique, la proportion tend plutôt à se situer quelque part entre un rapport tourteau-solubles à 50:50 et 2/3 de tourteau pour 1/3 de solubles, l'excès de solubles étant vendu ou utilisé à d'autres fins dans les cas où la DDSS contient moins de 50 % de solubles.

La drêche de distillerie humide est de composition moins stricte et contient des solubles même si l'appellation n'en fait pas explicitement mention et en dépit du fait qu'il n'existe pas de définition officielle pour la drêche de distillerie humide avec solubles. Une usine qui a pour habitude de séparer les solubles à partir des fractions drêche de distillerie et solubles combinées produira une drêche de distillerie plus faible en gras et en phosphore et plus riche en fibre au détergent neutre (NDF). Nous savons, par exemple, qu'une usine du Minnesota brûle des solubles dans un lit fluidisé pour générer de la chaleur pour ses installations. D'autres usines du Wisconsin vendent des solubles à des fermes laitières qui les utilisent dans leurs digesteurs de méthane. En général, la réduction de la teneur en solubles produit un aliment plus compatible avec les taux d'inclusion élevés utilisés dans la plupart des rations des vaches en lactation.

Il se forme des produits de la réaction de Maillard pendant le séchage des produits de distillation. Une chaleur plus élevée, un refroidissement plus lent et la présence de sucres réducteurs dans les solubles sont autant de facteurs qui favorisent ce processus. Certains produits de la réaction de Maillard peuvent s'avérer utiles en ce sens qu'ils font en sorte que la DDSS contienne davantage de protéines non dégradées dans le rumen (PNDR) et moins de protéines facilement dégradables que la drêche de distillerie humide; toutefois, lorsque le régime contient une forte proportion de drêche de distillerie, il est peu probable qu'une présence limitée de PNDR (en quantité du moins) pose problème. En général, les aspects négatifs des produits de la réaction de Maillard sont qu'ils réduisent la quantité totale de lysine et la disponibilité de la lysine parmi les PNDR fournies par la drêche de distillerie et diminuent ainsi la qualité des PNDR dans la DDSS, ce qui peut certes poser problème en cas de taux d'inclusion élevé.

Bien que les solubles concentrés constituent un liquide et que le tourteau humide forme un solide pâteux, la teneur en matière sèche des solubles peut en fait être supérieure à celle du tourteau humide. La drêche de distillerie humide modifiée est une drêche humide qui a subi un séchage partiel sur cylindres et qui contient généralement environ 50 % de matière sèche. On la produit habituellement dans des usines d'éthanol faisant appel à la technologie Fagan. On assèche parfois le tourteau humide en présence de quantités moindres de solubles de manière à obtenir une teneur en matière sèche supérieure à 50 %, puis on y rajoute les solubles. Ce procédé prévient une partie de la chaleur produite par les sucres réducteurs et pourrait donc avoir un certain effet sur l'ampleur de la réaction de Maillard.

Le processus traditionnel de mouture humide du maïs produit de l'amidon de maïs, des édulcorants à base de maïs, du germe de maïs, de la farine de gluten de maïs et du gros gluten de maïs. Dans ce processus, la membrane externe fibreuse du grain de maïs (péricarpe ou son, riche en fibre), le germe (riche en gras et en protéines) et l'albumen sont séparés. L'albumen est aussi physiquement séparé en une fraction protéine et une fraction amidon relativement pure. C'est cette fraction amidon que l'on utilise pour produire l'amidon ou le sirop de maïs. Cette fraction amidon relativement pure peut également être fermentée pour produire de l'éthanol. Dans ce cas, on utilise un substrat très pur de sorte que le

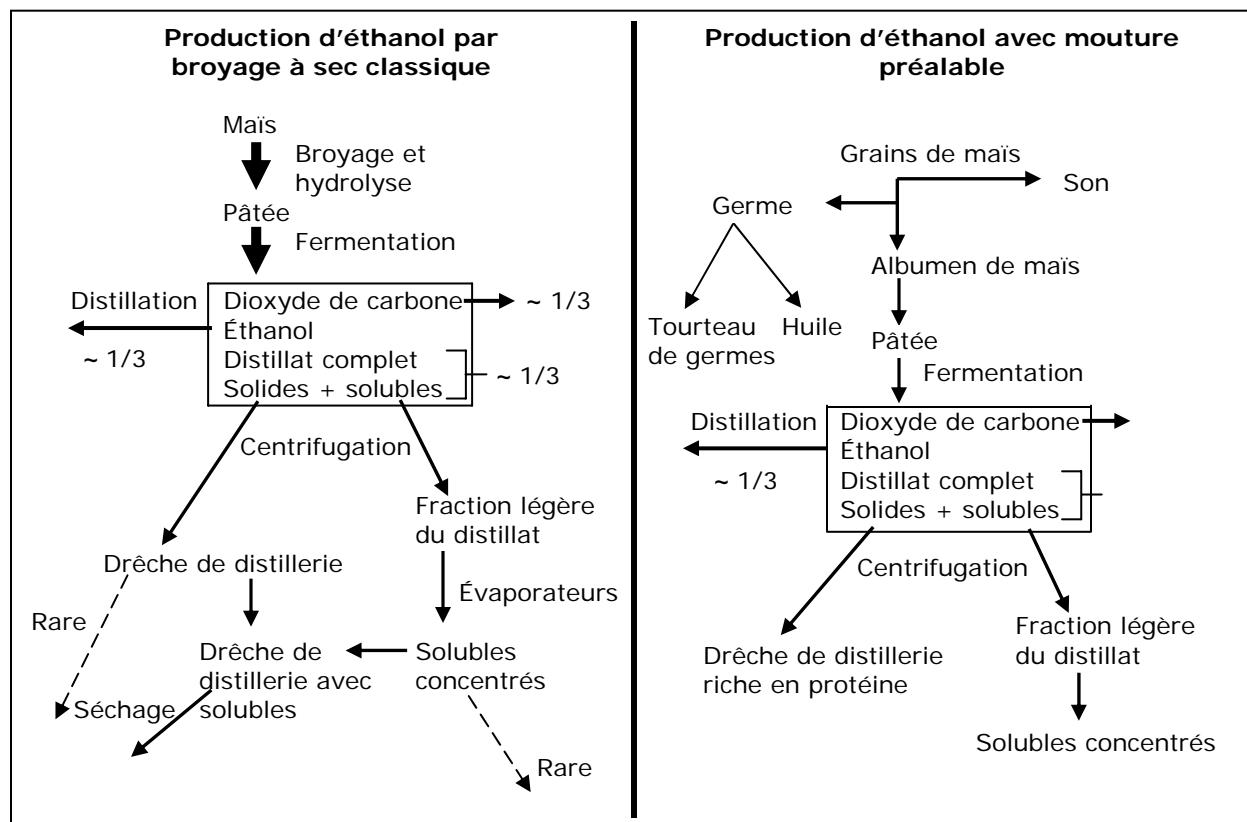
processus de fermentation ne laisse que peu de résidus, les principaux sous-produits étant le gros gluten (son plus eau de trempage concentrée), la farine de gluten et le germe de maïs. Ce dernier peut être traité pour la fabrication d'huile de maïs et de tourteau de germes de maïs. Il s'agit donc d'un processus qui offre passablement de souplesse mais qui est également énergivore, et les usines qui l'utilisent sont de capacité beaucoup plus grande que les usines d'éthanol par broyage à sec qui prolifèrent à l'heure actuelle et qui produisent typiquement entre 150 et 300 millions de litres d'éthanol par année. La protéine du germe de maïs contient de la lysine en plus grande quantité et moins dégradable que la protéine résiduelle de l'albumen.

Plusieurs éléments ont récemment été ajoutés au procédé de base de distillation par broyage à sec. Parmi ces processus, plusieurs reproduisent les étapes de la mouture humide puisqu'on y procède, avant l'empâtage et la fermentation, à la séparation du grain de maïs séché en son à haute teneur en fibre, germe et albumen. Ces processus visent à produire un substrat plus riche en amidon destiné aux cuves de fermentation, en vue d'accroître la concentration et le rendement en éthanol par cuve de fermentation. L'albumen produit n'est pas aussi pur que la pâte d'amidon générée par la mouture humide traditionnelle puisqu'il contient toujours les protéines de l'albumen qui auraient été séparées sous forme de farine de gluten dans le procédé traditionnel. L'amidon est ensuite retiré de l'albumen par fermentation. Ce procédé fournit moins d'éthanol au boisseau de maïs que la mouture humide ou que le broyage à sec parce qu'une partie de l'amidon reste dans le son et le germe. Une autre complication réside dans le fait que ces procédés peuvent exiger un traitement humide (le procédé Solaris, par exemple) ou au contraire prendre diverses formes de traitement à sec, comme c'est le cas avec le système Broin BFrac ou les autres processus de mouture à sec véritable.

Ces nouveaux procédés peuvent générer bon nombre de produits qui diffèrent quant à leur teneur en amidon, selon l'efficacité du processus de mouture utilisé pour séparer les constituants, et qui contiennent plus d'amidon que la DDSS standard. La composition des aliments vendus dépend aussi considérablement de la façon dont les différents sous-produits sont recombinés pour répondre aux besoins de différents marchés. Les processus de mouture physique avant fermentation permettent d'obtenir un aliment à haute teneur en fibre à partir du son, plus soit un germe entier, soit un tourteau de germes de maïs dégraissé si l'huile en a été extraite. Le distillat complet issu de la fermentation de l'albumen « purifié » contient aussi un résidu solide et des solubles (ou un sirop) concentrés, mais ces derniers diffèrent du sirop et du tourteau produits par le broyage à sec. Ces résidus de fermentation affichent une teneur moindre en fibre et en gras, de même qu'en phosphore, comparativement au tourteau et aux solubles que l'on obtient généralement par la fermentation du grain entier; ils sont également plus protéinés. En outre, la protéine fournie par ces résidus de fermentation provient de l'albumen seulement et par conséquent sera plus susceptible d'échapper à la dégradation ruminale et de contenir moins de lysine que la DDSS, alors que le germe ou le tourteau de germes seront, au contraire, plus facilement dégradables dans le rumen et plus riches en lysine). Il est regrettable que le produit à haute

teneur en PNDR ne contienne pas davantage de lysine, mais c'est là le résultat de la nature même de la protéine zéine du maïs, et non du processus de production de l'éthanol.

Étant donné la multitude de sous-produits découlant de ces nouvelles techniques de mouture avant fermentation, on constate aisément qu'il est possible d'en tirer diverses combinaisons, et en différentes proportions. Si on les combine tous, l'aliment obtenu devrait être semblable à la DDSS, mais avec plus d'amidon résiduel. En principe, les constituants du maïs qui n'ont pas subi le processus de fermentation ne peuvent être appelés drêches de distillerie, de sorte que l'appellation et la commercialisation des différents produits hybrides ne pourra que prêter à confusion. Or, l'important, dans l'alimentation des bovins laitiers, est de pouvoir compter sur une estimation rigoureuse de la teneur des aliments en amidon, en protéine brute (PB), en gras (réelle, et non minimale), en fibre au détergent neutre (NDF) et en phosphore (P). Et même si c'est le cas, il est probable que la dégradabilité des protéines, la teneur véritable en acides gras, la digestibilité de la NDF et la teneur en lysine demeurent inconnues.



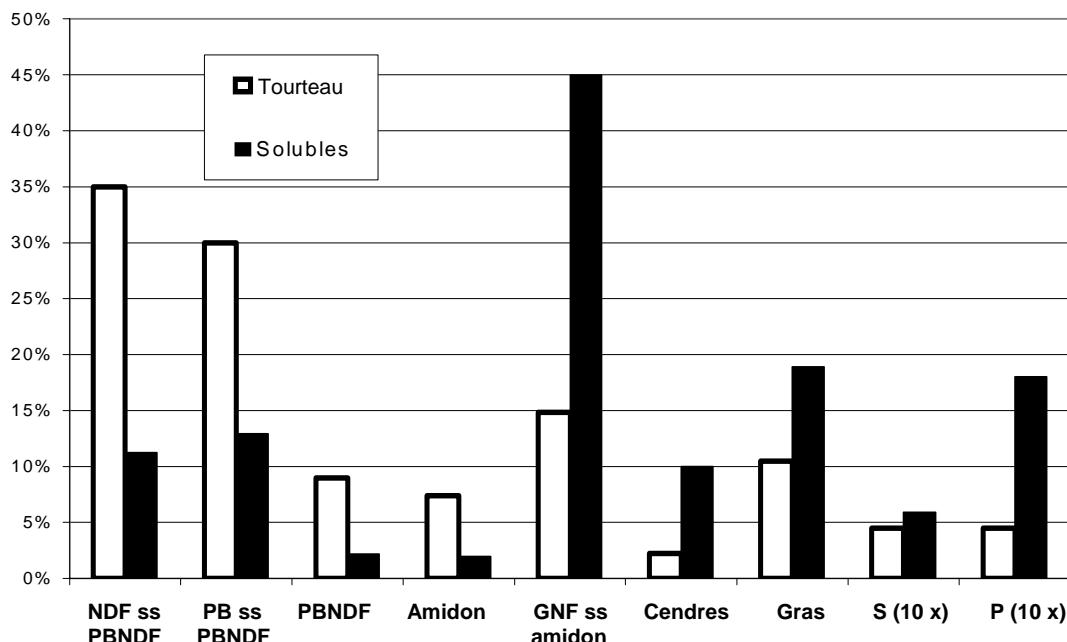
**Figure 1.** Le diagramme de gauche illustre le processus de broyage à sec classique dans lequel le grain entier est soumis à l'hydrolyse et à la fermentation. Sur le diagramme de droite, la séparation du germe et du son de l'albumen par un procédé quelconque de mouture précède l'hydrolyse et la fermentation de l'albumen, ce qui crée plusieurs sous-produits pouvant être recombinés sous diverses formes.

On peut, pour obtenir une DDSS affichant une teneur réduite en gras, ajouter une étape supplémentaire à la toute fin du processus de mouture à sec. Glacial Lakes Energy, à Watertown (Dakota du Sud) retire une partie du gras des solides dissous obtenus après la fermentation du grain entier. Si cela pouvait se faire de manière efficace, ce pourrait être la façon idéale d'abaisser la teneur en gras de la drêche de distillerie résultante tout en permettant la récupération de gras pour la production de biodiesel ou d'huile. Des rapports informels semblent indiquer que le rendement en gras n'est pas très élevé à ce stade, mais même une légère réduction de la teneur en gras de la drêche devrait améliorer son taux potentiel d'inclusion dans bon nombre de rations pour bovins laitiers. Bien que la teneur en phosphore continuerait de poser problème, il s'agit d'une question de réglementation alimentaire sans incidence sur le rendement des animaux. Si le fumier des bovins laitiers pouvait être utilisé sur des terres où l'on cultive du maïs destiné à des usines d'éthanol avoisinantes, on aurait alors une boucle durable permettant d'utiliser ce phosphore de manière respectueuse de l'environnement. Il est possible qu'on assiste éventuellement à de nouvelles modifications apportées aux solubles ou au tourteau après la fermentation, modifications qui fourniraient une source supplémentaire de diversification des sous-produits issus des procédés de broyage à sec ou de prémouture.

## **Composition chimique et possibilités**

La variabilité de la composition chimique de la DDSS et de la drêche de distillerie humide « standard » pose d'importants défis quant à leur utilisation. La variabilité des techniques utilisées pour mesurer cette composition pose aussi problème et entraîne une surestimation des variations réelles de leur composition. C'est particulièrement vrai en ce qui a trait à l'extrait éthétré ou à la teneur en matière grasse brute des aliments. L'industrie de l'éthanol a récemment édicté des méthodes d'analyse standards, mais l'étendue de leur application est inconnue et les variations entre laboratoires demeurent. La mise en œuvre de méthodes d'analyse précises et uniformisées des différents sous-produits deviendra plus importante encore au fil de l'adoption de procédés nouveaux et variés. Les nouveaux produits créés donnent lieu à de nouvelles possibilités quant à l'utilisation de la drêche de distillerie. Les fractions de son de maïs à faible teneur en gras, en protéine et en phosphore pourraient être incluses en grande quantité dans les rations laitières. Les protéines fournies par les résidus de l'albumen et le tourteau de germes pourraient être mélangées de manière à mieux combler les besoins des vaches en protéine facilement dégradable et en lysine et à mieux compléter les autres aliments de la ration. L'huile de maïs, si son prix est adéquat, pourrait être ajustée de façon indépendante pour fournir un apport économique optimal. Les usines ont la possibilité de contrôler et de mélanger les produits en vue d'obtenir un aliment à la fois plus uniforme et plus ciblé. Toutefois, si l'objectif premier des usines de production d'éthanol est d'utiliser tous les sous-produits, la souplesse en ce qui a trait à produire un aliment uniforme conçu sur mesure pour les bovins laitiers s'en trouve évidemment réduite.

Les glucides contenus dans un aliment peuvent être subdivisés en fibre au détergent neutre (NDF) et glucides non fibreux (GNF). Les GNF peuvent à leur tour être subdivisés en amidon, glucides totaux solubles dans l'éthanol (sucres simples et oligosides) et fibres solubles. Dans un grain de maïs, presque tous les glucides non fibreux sont sous forme d'amidon. Il faut être prudent lorsqu'on détermine la teneur en GNF de la drêche de distillerie. Les protéines brutes de la fibre au détergent neutre (PBNDF) peuvent constituer une importante fraction de la drêche de distillerie, surtout si la méthode d'analyse de la fibre au détergent neutre utilisée n'inclut pas de sulfite. Lorsque l'on calcule la teneur en GNF de la drêche de distillerie, il est important d'utiliser une formule qui corrige le double comptage des PBNDF (dans les fractions NDF et PB), soit  $GNF = MS - cendres - NDF - PB + PBNDF$ . La NDF et les PBNDF doivent être analysées par la même méthode, que ce soit avec ou sans sulfites. Il n'est pas déraisonnable d'utiliser l'extraction au détergent neutre sans sulfite pour déterminer la teneur en PBNDF. Les BPNDf ont été utilisées à titre d'indicateur des dommages thermiques et des produits de la réaction de Maillard pouvant avoir été formés. Étant donné que ces derniers sont partiellement dissous par les sulfites, une méthode sans sulfite fournira une fraction PBNDF plus volumineuse, et pourrait donc fournir une mesure plus précise des dommages causés par la chaleur. Toutefois, si la mesure de la NDF fait appel à des sulfites et que les BPNDf sont déterminées sans sulfite et que ces valeurs sont utilisées dans l'équation ci-dessus, la valeur des glucides non fibreux s'en trouvera surestimée. Le produit de l'analyse de la drêche de distillerie est illustré dans les graphiques et tableaux ci-dessous.



**Figure 2.** Analyse du tourteau et des solubles issus de la production d'éthanol par broyage à sec classique du maïs. Données tirées d'une usine, à titre d'exemple.

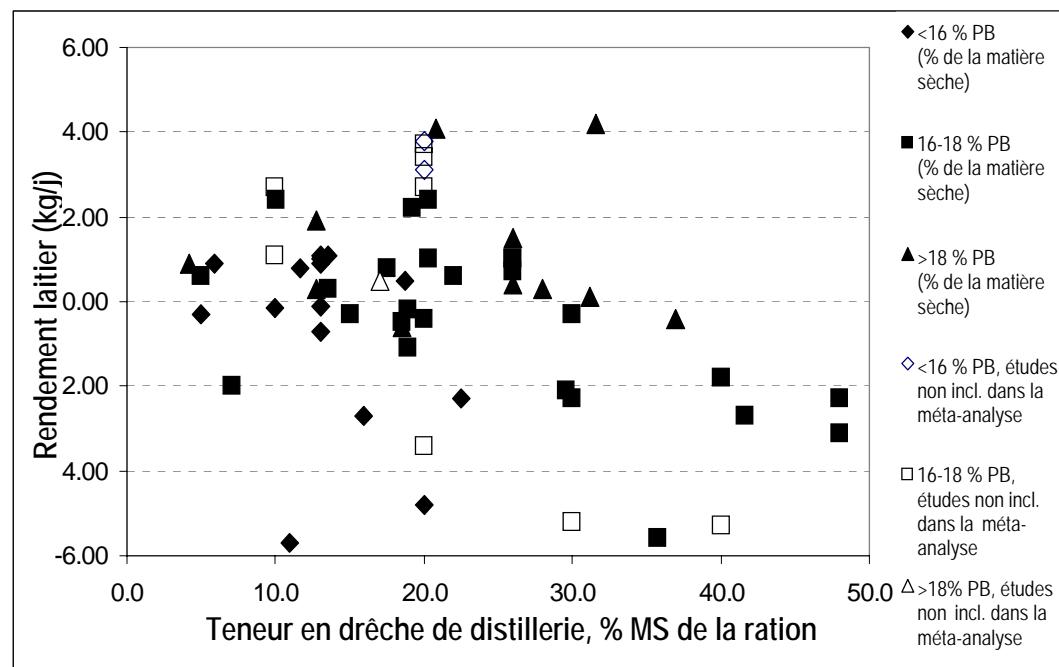
**Tableau 1.** Composition du grain de maïs entier et de ses composantes soigneusement séparées. Il est probable que les fractions obtenues par mouture contiendraient plus d'amidon dans le germe et le son. D'après Corn Chemistry and Technology, P.J. White and L.A. Johnson, 2<sup>e</sup> éd., 2003.

	<b>Grain (%)</b>	<b>Germe (%)</b>	<b>Son (%)</b>	<b>Albumen (%)</b>
<b>MS du grain</b>	<b>100</b>	<b>11,1</b>	<b>6,1</b>	<b>82,9</b>
Amidon	73,4	8,3	7,0	87,6
Protéine	9,1	18,4	4,5	8,0
Huile	4,4	33,2	1,1	0,8
Cendres	1,4	10,5	0,9	0,3
Sucres	1,9	10,8	0,5	0,6
NDF	9,5	11,0	90	?
Résiduel (?)	0,3	7,8	0	2,7
Phosphore	0,29	1,33	0,42	0,14
Lysine (% PB)	2,84	4,8		1,6

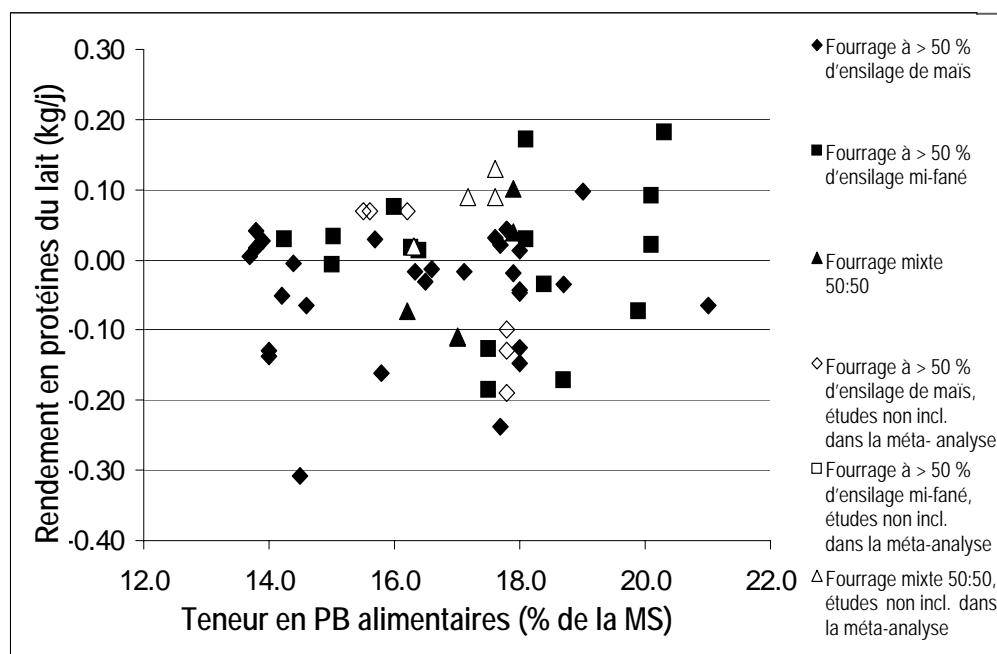
**Tableau 2.** Résultat théorique du retrait de l'amidon du grain ou de l'albumen pur, ainsi que du retrait de l'huile du germe pur. Dans un processus réel de mouture, il est peu probable que l'amidon soit entièrement retiré, mais le retrait par fermentation serait très élevé.

	<b>Grain - amidon</b>	<b>Germe - huile</b>	<b>Albumen -amidon</b>
	<b>Drêche de distillerie avec solubles</b>	<b>Tourteau de germes</b>	<b>Farine de gluten</b>
Amidon (%)	0	14,6	0
Protéine (%)	34,2	32,4	64,5
Huile (%)	16,5	0	6,5
Cendres (%)	5,3	18,5	2,4
Sucres (%)	7,1	19,0	4,8
NDF (%)	34,4	16,5	
Phosphore (%)	1,1	1,99	1,1
Lysine (% PB)	2,84	4,8	1,6

### Essai de recherche sur la drêche de distillerie



**Figure 3.** Rendement laitier en fonction de la quantité de drêche de distillerie (DD) et de protéines (PB) dans le régime alimentaire. La réponse observée est de + 0,60 kg pour 5-15 % DD, + 0,14 kg pour 16-25 % DD, 0,14 et - 0,65 kg pour 26-48 % DD; + 1,04 kg pour PB élevée, - 0,15 kg pour PB moyenne et - 0,80 kg pour PB faible.



**Figure 4.** Rendement en protéines du lait. Rendement observé : + 0,08, + 0,032 et + 0,02 kg/j avec une teneur en PB élevée, moyenne et faible; - 0,04, + 0,13 et + 0,04 selon que la ration était constituée principalement d'ensilage de maïs, mixte, ou constituée principalement d'ensilage mi-fané.

De nombreux projets de recherche se sont penchés sur la drêche de distillerie avec solubles. Les données obtenues ont fait l'objet de méta-analyses formelles, dont on peut trouver un exemple sur <http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/midwestdg305.pdf> (Kaiser, Schwab, Shaver et Armentano). Les résultats de ces expériences sont illustrés sur les figures 3, 4 et 6. Dans la plupart des cas, l'inclusion de drêche de distillerie dans une proportion supérieure à 25 % de la ration totale mélangée est problématique. Aux taux d'inclusion inférieurs à ce niveau, la réponse à la drêche de distillerie tend à se révéler positive dans les régimes à haute teneur en protéine. Les rations témoins et les rations avec drêche de distillerie contenaient des quantités égales de protéines brutes; or, lorsque la teneur en PB était faible dans les deux types de ration, la réponse à la drêche de distillerie tendait à se révéler négative, même à des taux d'inclusion modérés.

Les réponses en termes de rendement laitier en fonction de la teneur du régime en protéines brutes et du type de fourrage sont illustrées à la figure 4. Les régimes faibles en PB constitués principalement d'ensilage de maïs ont produit des résultats négatifs plus souvent, non seulement au chapitre du rendement en protéines du lait, mais aussi de la consommation de matière sèche (non illustré) alors que l'inclusion de quantités importantes d'ensilage mi-fané dans la ration suscitait généralement une réponse plus positive. Il est probable que les régimes plus riches en PB contribuent à atténuer les problèmes associés aux PB contenues dans la drêche de distillerie. Les rations à faible teneur en PB qui contiennent beaucoup de drêche de distillerie pourraient présenter une dégradabilité inadéquate des PB. Il est également probable que les régimes à faible teneur en PB ne comptent que sur la drêche de distillerie comme source de supplément protidique, sans source fournissant un riche apport en lysine pour contrebalancer la carence en

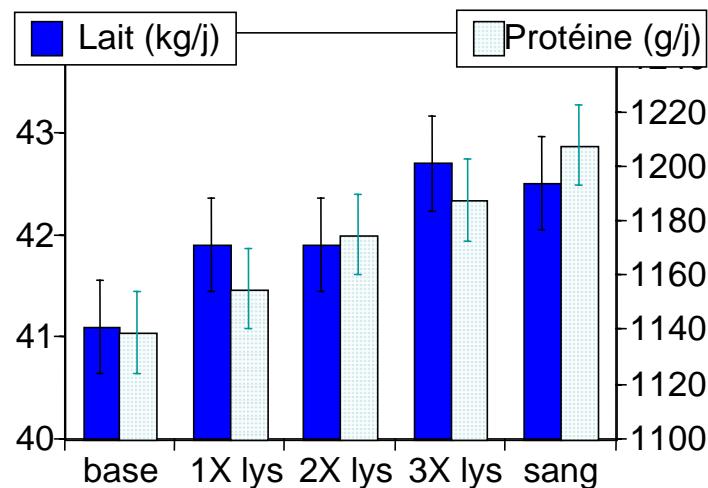
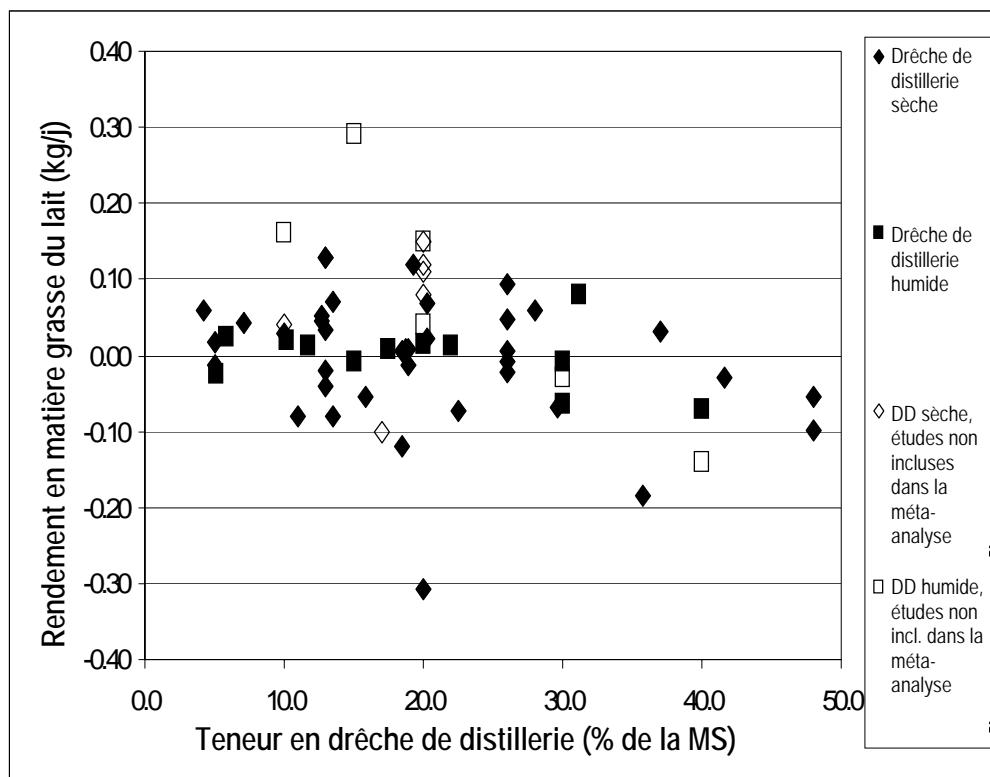


Figure 5

lysine de la drêche. La figure 5 illustre la réponse conséquente à la supplémentation de la ration de drêche de distillerie par l'apport postruminal de lysine synthétique ou de farine de sang (Armentano, 1996). La réponse aux sources protidiques riches en lysine n'est pas toujours aussi évidente et l'on a établi avec une quasi-certitude qu'elle dépend de la disponibilité de la lysine dans la drêche de distillerie à la suite de dommages causés par la chaleur, de même que d'autres constituants du régime (French *et al.*, 2007).

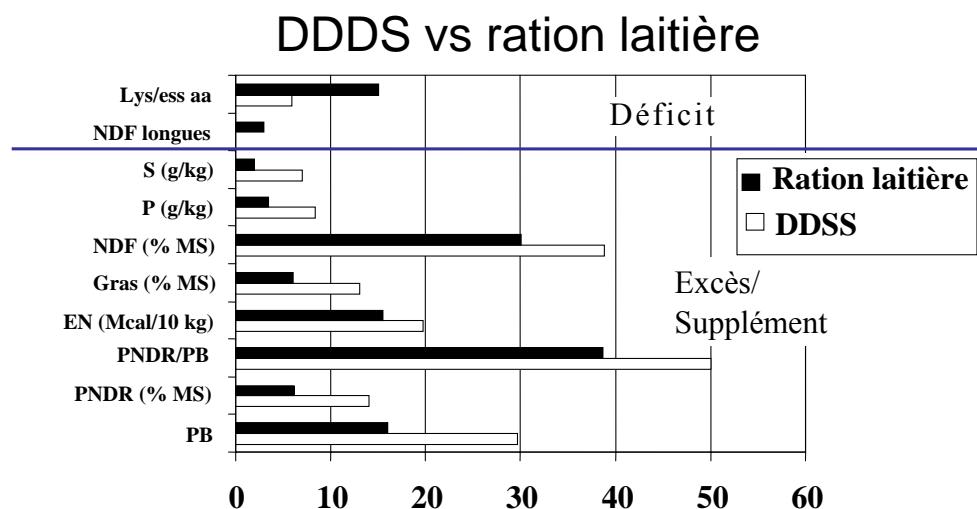


**Figure 6.** Rendement en matière grasse du lait. Rendement observé : + 0,01, - 0,01 et - 0,06 kg avec une teneur en DD élevée, moyenne et faible. En %, la MG du lait était de - 0,11, - 0,06 et - 0,02 % avec une teneur en DD élevée, moyenne et faible, un résultat de la dilution. Le rendement ne différait pas selon que la DD était humide ou sèche, mais le % de MG du lait s'est établi à + 0,02 avec la DD sèche, contre - 0,16 % avec la DD humide.

Le rendement en matière grasse du lait (MG) est illustré à la figure 6, en fonction de la présence de drêche de distillerie (exprimée en pourcentage de la matière sèche) et de l'utilisation de drêche sèche ou humide. Ces données ne montrent aucune réduction de la MG du lait résultant d'une consommation de drêche de distillerie humide plutôt que sèche. La méta-analyse n'a pas révélé une concentration moindre de la MG du lait associée à l'apport de drêche de distillerie humide, ce qui serait présumément dû à une augmentation du rendement laitier sans qu'il y ait une hausse correspondante du rendement en MG du lait. Une mise en garde importante s'impose cependant quant à la forme de drêche de distillerie utilisée : si les essais de recherche utilisent généralement des drêches uniformes et bien conservées, leur utilisation dans de grandes fermes laitières où l'approvisionnement est fréquemment renouvelé sans que la teneur en huile ne soit vérifiée pourrait induire un risque important de réduction véritable de la matière grasse du lait s'il advenait que la teneur de la drêche en huile libre excède les limites établies.

## Drêche de distillerie chez les vaches en lactation

La figure 7 présente les défis posés par un apport élevé de drêche de distillerie dans l'alimentation des vaches. Elle illustre les motifs pour lesquels la drêche est utilisée en petite quantité pour accroître la teneur des rations laitières en gras, en protéines non dégradées dans le rumen (PNDR), en protéines brutes (PB) et en équivalent niacine (EN). La drêche de distillerie s'avère aussi une source utile de minéraux, mais non de NDF « physiquement efficace ». En petites quantités, la drêche de distillerie est valorisée par sa teneur en phosphore (P) et en soufre (S). Par contre, si la proportion de la drêche dans l'alimentation est élevée, cette supplémentation peut se révéler excessive au regard de la performance des animaux (gras, S) et de la protection de l'environnement (PB, P, S). De plus, l'apport limité d'amidon ou de PB dégradables pourrait aussi poser problème.



**Figure 7.** Comparaison de la valeur nutritive de la drêche de distillerie et des exigences nutritionnelles des vaches laitières.

Le tableau 3 montre les résultats d'un essai (Leonardi *et al.*, 2005) qui a consisté à comparer une ration à 15 % de DDSS à une ration témoin faible en gras ou à une ration isolipidique. Cet essai met en lumière deux points importants. D'abord, si l'ajout de drêche se traduit par l'ajout de gras, il est possible que le rendement en gras du lait demeure constant tandis que le pourcentage de gras du lait diminue en raison de l'effet de dilution causé par l'accroissement de la quantité de lait. Le rendement laitier accru associé à la drêche, dans ce cas, pourrait clairement être attribuable à sa teneur en gras, tout simplement. Ensuite, bien que l'ajout de gras sous forme d'huile libre ou de drêche n'ait pas modifié le rendement total en gras du lait, il importe de noter que le rendement laitier en acides gras à courte chaîne a été réduit alors qu'on a observé une hausse des acides gras C18. Selon toute probabilité, cela est dû à une chute de la synthèse d'acides gras par la glande mammaire imputable aux produits de l'hydrogénéation partielle de l'huile dans le rumen, ainsi qu'à un apport accru simultané de C18 alimentaire dans la glande mammaire. Si l'on ajoute à la ration l'huile fournie par la drêche de distillerie pour remplacer des gras

non dégradés dans le rumen et digestibles dans l'intestin, la diminution des acides gras à courte chaîne qui n'est pas compensée par une absorption accrue d'acides gras C18 se traduirait vraisemblablement par une réduction véritable du rendement en matière grasse. Cet effet de l'huile fournie par la drêche de distillerie est très important parce que la teneur en huile de la drêche est très variable, même entre les lots provenant d'une même usine. La teneur en gras peut également varier d'une source à l'autre à cause des différences de procédés mentionnées précédemment. Différentes techniques d'analyse des acides gras (par extraction vs hydrolyse acide vs acides gras) ou des analyses similaires exécutées dans différents laboratoires peuvent aussi produire des résultats divergents. En outre, le rapport d'analyse des gras consiste en une teneur minimale garantie et s'avère donc d'une utilité limitée à titre de protection contre un apport excessif d'huile.

**Tableau 3.** Résultats d'un essai comparant une ration à 15 % de DDSS à une ration témoin faible en gras ou à une ration isolipidique.

	Témoin	15 % DDSS	Témoin + gras
AG alimentaire, %	3,8	4,8	5,0
Lait*, kg/jour	44,6	46,2	47,2
Rend. en gras, kg/jour	1,49	1,49	1,53
Gras du lait, %*	3,38	3,24	3,28
AG C<16/C18	1,19	0,94	0,93
AG C<16, g/jour	673	614	628
C18, g/jour	564	657	677

Source : Leonardi *et al.*, 2005.

### Impact sur le coût de l'alimentation des vaches

La maximisation des bénéfices par une alimentation optimale des vaches exige un équilibrage complexe. Il faut sélectionner un ensemble d'aliments qui réponde aux besoins nutritionnels de l'animal au coût le plus bas possible. C'est ce que font les logiciels d'équilibrage des rations au moindre coût, mais la plupart des producteurs font en sorte que ceux-ci ne puissent mener l'objectif à bien. Comment s'y prend-on pour miner l'efficacité d'un logiciel d'équilibrage des rations au moindre coût?

1. On empêche complètement l'accès à certains aliments en ne les incluant pas comme aliments possibles dans la ration.
2. On limite la quantité d'un aliment pouvant être utilisée en plafonnant la quantité de cet aliment dans la ration.
3. On force l'utilisation de certains aliments (particulièrement les fourrages et autres aliments cultivés à la ferme) dans une proportion précise (élevée) en fonction de leur disponibilité plutôt que de leur imputer leur coût réel. Ceci a pour effet de limiter la composition du reste du régime alimentaire, de sorte que l'on obtient des suppléments au moindre coût, mais non une ration au moindre coût.

Le premier problème en est un de taille. Pour envisager tous les aliments possibles, il faut fournir un prix et des renseignements nutritionnels à jour pour un grand nombre d'aliments chaque fois que l'on équilibre une ration et que l'on commande un nouvel aliment. Il faut pour ce faire connaître la composition exacte et le prix de l'aliment envisagé avant de l'acheter. Ceci est difficilement réalisable à l'échelle d'une seule exploitation, bien qu'un conseiller en alimentation desservant une région donnée aura généralement une très bonne idée des aliments standards que l'on devrait inclure, de même que des nouveaux aliments qu'il serait judicieux d'inclure parce que leur prix constitue présentement une aubaine.

Les logiciels tels que FeedVal et Sesame ne sont pas des logiciels d'équilibrage des rations au moindre coût; ils assignent plutôt une « valeur neutre » à un grand nombre d'aliments. Ils utilisent pour ce faire un éventail standard d'aliments (restreint pour FeedVal, plus vaste dans le cas de Sesame) assortis de leur prix et de leur composition nutritive pour déterminer la valeur d'éléments nutritionnels précis, puis partent de la composition nutritive d'autres aliments pour déterminer leur valeur monétaire. C'est une excellente façon d'évaluer les aliments pour savoir s'il est judicieux de les inclure dans la formulation d'une ration au moindre coût. Les aliments vendus à un prix inférieur à leur « valeur neutre » devraient de toute évidence être inclus dans un logiciel d'équilibrage des rations au moindre coût. Il faut cependant noter que ce type de logiciel tient pour acquis que la vache a besoin de tous les nutriments.

Par exemple, dans FeedVal4, on attribue une valeur au phosphore. Pour un producteur qui doit régulièrement acheter du phosphate bicalcique ou du phosphate naturel, il est logique d'inclure la valeur du phosphore dans l'évaluation des aliments potentiels. Par contre, si les vaches consomment une grande quantité d'un aliment tel que la drêche de distillerie et que l'on excède ainsi leurs besoins en phosphore, on se trouve en fait à surestimer le prix « neutre » de la drêche. Si on ignore la valeur du phosphore contenu dans la drêche de distillerie, on pourrait alors sous-estimer son prix « neutre » parce qu'il est probable qu'elle permet d'éviter le coût de sources de phosphore achetées séparément. Il n'y a pas vraiment moyen de contourner ce problème, mais on doit se souvenir que si l'on utilise de tels programmes dans le but de sélectionner les aliments qui composeront une ration au moindre coût, le logiciel cessera automatiquement d'accorder une valeur au phosphore une fois le besoin nutritionnel comblé.

De toute évidence, l'utilisation d'un logiciel tel que Sesame, qui fait appel à un large éventail d'aliments standards pour déterminer la valeur des éléments nutritifs, exige la même somme de travail que la mise à jour de tous les aliments inclus dans un logiciel d'équilibrage des rations au moindre coût, de sorte qu'il y a une limite quant au nombre d'aliments qu'on y inclut si l'on souhaite tirer quelque bénéfice de ce processus de sélection. Le recours au raccourci consistant à n'accorder de la valeur qu'à un seul nutriment (par exemple, le moindre coût par livre de protéine) ignore les autres éléments nutritifs de l'aliment et cette approche a pour effet de toujours surestimer la valeur des sources concentrées du nutriment choisi. Autrement dit, lorsque la farine de gluten de maïs (60 % de PB) et la

DDSS (30 % de PB) coûtent le même prix par livre de protéine, la DDSS constitue un aliment beaucoup plus économique parce qu'elle fournit gratuitement 30 % de PB supplémentaires!

Il faut aussi se rappeler que le nutritionniste augmente la valeur des différents aliments en les mélangeant à des aliments complémentaires. L'élimination d'un aliment A de la ration (ou le plafonnement de son taux d'inclusion) ne fait pas qu'empêcher de tirer profit du faible coût de l'aliment A, mais pourrait aussi restreindre l'inclusion d'un aliment B qui complète l'aliment A.

La productivité accrue que l'on s'attend à obtenir lorsque l'on comble un besoin nutritionnel constitue un autre aspect important. D'un point de vue strictement économique, il est logique d'ajouter un nutriment jusqu'au point où le gain de productivité obtenu égale le coût supplémentaire occasionné par l'ajout de ce nutriment. Par définition, ceci se produira en deçà de la quantité du nutriment qui génère une productivité maximale. Les besoins nutritionnels sont établis en fonction de l'obtention d'une incidence maximale sur la production (en fait, l'incidence maximale décelable) et dans la pratique, ces besoins sont fixés un peu au-dessus du seuil d'incidence maximale réellement mesuré. En outre, nos connaissances sur les vaches étant imparfaites de manière générale et le fait que chaque situation individuelle est différente font en sorte qu'il existe un facteur de risque applicable aux besoins nutritionnels. Or, les rations au moindre coût ne tiennent aucunement compte de cet aspect.

Ceci étant dit, pourquoi certains plafonnent-ils l'inclusion de certains aliments? Cela s'explique par deux raisons. Tout d'abord, si l'on ne décrit pas de façon adéquate le large éventail d'éléments nutritionnels dont les vaches ont besoin, on peut obtenir de curieuses rations. Prenons un cas où les fourrages seraient relativement chers et où les sous-produits à haute teneur en fibre seraient bon marché. Si l'on inscrit simplement un besoin de NDF, on obtiendra un régime alimentaire composé de très peu de fourrage et d'énormes quantités de sous-produit riche en fibre. Dans un cas comme celui-là, l'intervention typique consiste à imposer une limite maximale au sous-produit riche en fibre. Il ne faudrait pas s'étonner de devoir ensuite plafonner la quantité du prochain sous-produit riche en fibre, puis de la somme des sous-produits, etc. Il serait plus indiqué de définir un nutriment comme « NDF fourragères » ou « NDF efficace physiquement » et d'ajouter cette définition comme besoin nutritionnel, sans plafonner aucun des sous-produits. Un autre exemple consisterait à plafonner la teneur du régime en huile libre plutôt que d'intervenir pour tous les aliments contenant de l'huile libre en plafonnant la quantité de chacun. La deuxième raison qui explique le plafonnement de certains aliments est beaucoup plus valable. Rappelons qu'une ration au moindre coût est la ration la moins chère qui comble les besoins nutritionnels. La deuxième ration la moins chère pourrait être très différente quant aux aliments qui la composent, tout en étant à peine plus chère. Si la deuxième ration se rapproche beaucoup plus de ce qu'on a l'habitude d'utiliser, elle présente l'avantage d'être éprouvée et reconnue. Cette réduction du risque vaut certainement un petit investissement.

La meilleure façon d'utiliser les logiciels d'équilibrage des rations au moindre coût tout en tenant compte de tels facteurs consiste à établir plusieurs régimes alimentaires, avec et sans plafonnements imposés, et de déterminer le prix global de chaque ration.

Lorsque la composition d'un aliment est très incertaine, sa valeur diminue. Cela s'explique par le fait que l'exigence minimale doit être augmentée pour s'assurer d'obtenir une productivité maximale (ou quasi maximale) chez les vaches. Bien qu'il existe des méthodes mathématiques plus sophistiquées pour régler ce type de problème, c'est là la méthode la plus couramment utilisée. Donc, un aliment qui est fourni de concert avec de bons renseignements quant à son contenu réel en éléments nutritifs a plus de valeur si l'on peut se fier à ces renseignements. D'ailleurs, certains éléments utiles (comme l'huile et le phosphore contenus dans la DDSS) peuvent être présents en quantité excessive. Ainsi, si l'on fixe à la fois un taux minimal de gras et un taux maximal d'huile libre, il se pourrait que l'on élimine totalement la possibilité d'utiliser un aliment dont la variabilité de la teneur en gras risque de faire en sorte qu'il dépasse la limite lorsque cette teneur est élevée et ne comble pas les besoins lorsqu'elle est faible.

Il faut aussi considérer, à l'opposé du plafonnement, le taux d'inclusion minimal. Les taux d'inclusion minimaux ou fixes s'appliquent presque toujours aux fourrages, de manière à gérer les stocks de fourrage existants et à assurer un rythme d'utilisation adéquat des aliments ensilés pour en maintenir la qualité. C'est là une chose parfaitement logique dans la perspective d'un cycle de gestion annuelle de la ferme. Toutefois, l'inclusion « forcée » de fourrages à des taux précis dans une ration au moindre coût nous semble être une erreur fréquente. Un nutritionniste nouvellement arrivé sur une ferme n'a pas vraiment d'autre choix que d'utiliser les stocks de fourrage existants. Par contre, le producteur se doit de consulter ses conseillers en nutrition et en agronomie pour établir un plan d'assolement à long terme pour ses cultures, et le coût de production des fourrages produits à la ferme devrait être évalué le plus précisément possible. Ceci est d'autant plus important lorsque l'on considère les aliments à haute teneur en fibre issus de la production de l'éthanol, puisque ceux-ci peuvent réduire la quantité de fourrage requise (et possiblement la quantité tolérée) dans le régime pour satisfaire aux besoins en fibre de la vache. De surcroît, si l'on compte acheter des aliments qui présentent une teneur en amidon moindre, le fourrage de graminées et de légumineuses pourrait, en toute logique, être remplacé par de l'ensilage de maïs dans les régions où celui-ci constitue une culture rentable.

Ainsi, on en revient toujours au fait que l'on ne peut prendre de décisions éclairées sur une ration au moindre coût sans connaître le coût véritable de tous les aliments intégrés au régime. Ceci doit obligatoirement inclure les aliments produits à la ferme, que l'on ne saurait considérer comme gratuits. Il est important, au sein d'une même exploitation, de séparer les activités culturales des activités d'élevage. Même si l'on prévoit utiliser des fourrages dans des proportions fixes, il est bon d'utiliser un logiciel d'équilibrage des rations au moindre coût dans lequel un coût réaliste est attribué aux fourrages et de laisser varier la quantité de fourrage. Si le programme inclut moins de fourrage que ce qu'impose le

producteur, celui-ci devrait en tirer des conclusions quant au coût réel des aliments qu'il produit, par comparaison au coût des aliments achetés. De plus, il ne faut pas oublier d'inclure la dégradation et les pertes subies pendant la conservation des aliments humides ou ensilés et des aliments entreposés dans des installations sub-optimales.

Par ailleurs, la diversité des aliments offerts constitue aussi un élément très bénéfique. En ce qui a trait aux aliments cultivés à la ferme, cet aspect peut s'ajouter à des facteurs agronomiques tels que la rotation optimale des cultures et les risques associés à la monoculture. Dans la perspective d'aliments achetés, l'utilisation de nombreux aliments réduit les répercussions que pourraient avoir des données nutritionnelles erronées au sujet d'un aliment, quel qu'il soit. La meilleure façon d'intégrer ce concept consiste à plafonner la quantité de chaque aliment utilisé. Lorsque l'on utilise cette approche, il serait judicieux de refaire ensuite l'exercice sans établir de limites pour savoir ce que coûtent les plafonnements.

Il est également sage, en règle générale, d'éviter les proportions fixes telles que les rapports entre deux éléments nutritifs pour équilibrer le régime alimentaire. L'expression des protéines non dégradées dans le rumen (PNDR) en % des PB et l'expression des NDF fourragères en % des NDF de la ration en sont deux bons exemples. On pourrait penser que l'expression des besoins en PB comme étant 17 % de BP, dont 35 % sous forme de PNDR, revient au même que de dire que la matière sèche de la ration doit être constituée de 6 % de PNDR et 11 % de protéines facilement dégradables (PFD), mais ce n'est pas le cas et le dernier énoncé constitue une bien meilleure option. Pourquoi? Imaginons un fourrage contenant 25 % de BP dont 20 % sous forme de PNDR, et un concentré contenant 9 % de PB dont 85 % sous forme de PNDR. Si la ration était constituée à 60 % de ce fourrage, la RTM contiendrait 6,1 % de PNDR et 12,5 % de PFD, ce qui signifie que la ration comblerait les besoins en PNDR et fournirait un surplus de PFD. Toutefois, exprimées en % des PB, les PNDR comptent pour moins de 33 %. Si on donne au logiciel d'équilibrage des rations au moindre coût une instruction selon laquelle les PNDR devraient constituer 35 % des PB, il ne permettra pas de formuler cette ration, même si l'apport de 6,1 % de PNDR et de 12,5 % de PFD suffit à combler les besoins réels de l'animal (bien que cela suscite un gaspillage d'azote par l'inclusion d'une quantité excessive de PFD et de PB).

Pour être en mesure de s'adapter à la fluctuation du prix des aliments, il faut prévoir une souplesse maximale en ce qui a trait à la composition de la ration. Dans le cas particulier de la drêche de distillerie, il convient d'imposer des limites pour la teneur en huile libre de la ration (une limite de 2 % nous paraît raisonnable) et pour l'extrait à l'éther total (5 à 6 %); on devrait également inclure une exigence ferme relative aux fibres au détergent neutre physiquement efficaces (peNDF) ou aux NDF fourragères (21 % de NDF sous forme de fourrage). En outre, la drêche de distillerie contient très peu d'amidon même si elle fournit des glucides non fibreux. Si l'on se fie à l'état actuel de la recherche, il est probablement plus justifié de fixer une proportion minimale de glucides non fibreux (30 % de la matière sèche, en l'occurrence) que d'établir un niveau minimal d'amidon, mais la question demeure

ouverte. Il faut savoir qu'une proportion minimale de glucides non fibreux et qu'une limite maximale de NDF ont à peu près le même effet, et que l'une ou l'autre solution doit être étroitement associée aux besoins énergétiques établis pour le régime alimentaire. Nous ignorons à l'heure actuelle comment intégrer efficacement l'équilibrage de la lysine dans une ration au moindre coût. L'évitement de drêche de distillerie dégradée par la chaleur, le plafonnement de la quantité de PB fournie par la drêche et l'inclusion forcée d'aliments à haute teneur en lysine, telle la farine de sang, sont autant de méthodes qui pourraient améliorer le rendement des vaches, mais elles auraient aussi pour effet de contrecarrer la composition d'une ration au moindre coût. Finalement, mentionnons que les régimes à haute teneur en fibre qui contiennent une moindre proportion de fourrage donnent souvent de bons résultats, mais au prix d'une consommation accrue de matière sèche. Si l'on souhaite tenir compte de la consommation, le coût véritable de la ration doit être évalué en \$/vache par jour, plutôt qu'un \$/kg de matière sèche de la ration.

## Références

- Alaseppala, H., P. Huhtanen et M. Nasi. 1988. *Silage Intake and Milk-Production in Cows Given Barley or Barley Fiber with or without Dried Distillers Solubles*. J. Agr. Sci. Finland. 60(7):723-733.
- Anderson, J.L., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur et A.R. Hippen. 2006. *Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows*. J. Dairy Sci. 89:3133-3142.
- Armentano, L.E. 1996. *Addition of lysine improves lactation performance in cows fed high levels of DDG's*. Proc. Distillers Feed Research Council, Orlando, FL. 51:11-15.
- Armentano, L.E. 1996. *Altered milk production due to changes in protein quality for diets based on distillers grains with solubles*. J. Dairy Sci. 77(Suppl 1):244.
- Birkelo, C.P., M.J. Brouk et D.J. Schingoethe. 2004. *The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows*. J. Dairy Sci. 87(6):1815-1819.
- Broderick, G.A., D.B. Ricker et L.S Driver. 1990. *Expeller Soybean-Meal and Corn by-Products Versus Solvent Soybean-Meal for Lactating Dairy-Cows Fed Alfalfa Silage as Sole Forage*. J. Dairy Sci. 73(2):453-462.
- Chiou, P.W.S., S.H. Chang, J.K. Chiang, B. Yu et C.R. Chen. 1999. *Studies on the Use of Wet Sorghum Distillers Grains in Lactating Cows*. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 12(6):895.
- Clark, P.W. et L.E. Armentano. 1993. *Effectiveness of Neutral Detergent Fiber in Whole Cottonseed and Dried Distillers Grains Compared with Alfalfa Haylage*. J. Dairy Sci. 76(9):2644-2650.
- DaCruz, C.R., M.J. Brouk et D.J. Schingoethe. 1996. *Responses of lactating cows fed condensed distillers solubles*. J. Anim. Sci. 74(suppl.1):88.

- Edionwe, A.O. et F.G.Owen. 1989. *Relation of Intake to Digestibility of Diets Containing Soyhulls and Distillers Dried Grains*. J. of Dairy Sci. 72(7):1786-1792.
- French, E.A., M. He et L.E. Armentano. 2007. *Using high-lysine proteins to supplement diets based on Distillers Dried Grains with solubles did not improve lactation performance*. J. Dairy Sci. 90(Suppl 1):348.
- Grings, E.E., R.E. Roffler et D.P. Deitelhoff. 1992. *Responses of Dairy-Cows to Additions of Distillers Dried Grains with solubles in Alfalfa-Based Diets*. J. Dairy Sci. 75(7):1946-1953.
- Hippen, A.R., K.N. Linke, K.F. Kalscheur, D.J. Schingoethe et A.D. Garcia. 2003. *Uncreased concentrations of wet corn distillers grains in dairy cow diets*. J. Dairy Sci. 86(Suppl 1):340.
- Huang, H.J., P.W.S. Chiou, C.R. Chen, J.K. Chiang et B. Yu. 1999. *Effects of dried rice distillers' and grain supplementation on the performance of lactating cows*. A. Feed Sci. Tech. 77(3-4):303-315.
- Huhtanen, P. et H. Miettinen. 1992. *Milk-Production and Concentrations of Blood Metabolites as Influenced by the Level of Wet Distillers Solubles in Dairy-Cows Receiving Grass Silage-Based Diet*. Agr. Sci. Finland. 1(3):279-290.
- Kalscheur, K.F., A.L. Justin, A.R. Hippen et D.J. Schingoethe. 2004. *Increasing wet distillers grains in the diets of dairy cows on milk production and nutrient utilization*. J. Dairy Sci. 87(Suppl 1):465.
- Kleinschmit, D.H., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur et A.R. Hippen. 2006. *Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle*. J. Dairy Sci. 89(12):4784-4794.
- Leonardi, C., S. Bertics et L.E. Armentano. 2005. *Effect of increasing oil from distillers grains or corn oil on lactation performance*. J. Dairy Sci. 88:2820-2827.
- Liu, C., D.J. Schingoethe et G.A. Stegeman. 2000. Corn distillers grains versus a blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. J. Dairy Sci. 83(9):2075-2084.
- Mcguffey, R.K., H.B. Green et R.P. Basson. 1990. *Lactation Response of Dairy-Cows Receiving BST and Fed Rations Varying in Crude Protein and Undegradable Intake Protein*. J. Dairy Sci. 73:2437-2443.
- Murphy, J.J., J.F. Connolly et G.P. Mcneill. 1995. *Effects on Milk-Fat Composition and Cow Performance of Feeding Concentrates Containing Full-Fat Rapeseed and Maize Distillers Grains on Grass-Silage Based Diets*. Livestock Prod Sci. 44(1):1-11.
- Nichols, J.R., D.J. Schingoethe, H.A. Maiga, M.J. Brouk et M.S. Piepenbrink. 1998. *Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows*. J. Dairy Sci. 81(2):482-491.

- Owen, F.G. et L.L. Larson. 1991. Corn *Distillers Dried Grains Versus Soybean-Meal in Lactation Diets*. J. Dairy Sci. 74(3):972-979.
- Palmquist, D.L. et H.R. Conrad. 1982. *Utilization of Distillers Dried Grains Plus Solubles by Dairy-Cows in Early Lactation*. J. Dairy Sci. 65(9):1729-1733.
- Powers, W.J., H.H. Vanhorn, B. Harris et C.J. Wilcox. 1995. *Effects of Variable Sources of Distillers Dried Grains Plus Solubles on Milk-Yield and Composition*. J. Dairy Sci. 78(2):388-396.
- Schingoethe, D.J., M.J. Brouk et C.P. Birkelo. 1999. *Milk Production and Composition from Cows Fed Wet Corn Distillers Grains*. J. Dairy Sci. 82:574-580.
- Van Horn, H.H., O. Blanco, B. Harris Jr et D.K. Beede. 1985. *Interaction of protein percent with caloric density and protein source for lactating cows*. J. Dairy Sci. 68(7):1682-1695.
- Voss, V.L., D. Stehr, L.D. Satter et G.A. Broderick. 1988. *Feeding Lactating Dairy-Cows Proteins Resistant to Ruminal Degradation*. J. Dairy Sci. 71(9):2428-2439.
- Zhu, J.S., S.R. Stokes et M.R. Murphy. 1997. *Substitution of neutral detergent fiber from forage with neutral detergent fiber from by-products in the diets of lactating cows*. J. Dairy Sci. 80:2901-2906.