

Titre: Comparaison des valeurs nutritives d'aliments pour ruminants

Division: Agriculture et affaires rurales

Situation: (En remplacement de la fiche technique du MAAO intitulée *L'alimentation du bétail avec des déchets organiques — Comparaison des valeurs nutritives (ruminants)*, commande n° 96-068)

Rédacteur: T. Wright - spécialiste de la Nutrition des bovins laitiers/MAAO; R. Lackey - spécialiste des ingrédients et des sous-produits dans l'alimentation du bétail/MAAO

Le coût est l'un des premiers facteurs qui intervient dans le choix d'un ingrédient ou la décision de remplacer un ingrédient de la ration par un autre. La valeur nutritive d'un aliment (denrée ou ingrédient) dépend de sa richesse en éléments nutritifs assimilables par l'animal. Pour déterminer avec précision la valeur d'un aliment, il faut savoir à quel grand groupe d'aliments il appartient. On peut ainsi mieux établir son profil nutritionnel et faire une comparaison fondée sur le coût.

Classification des aliments qui entrent couramment dans les rations

Classification générale de certaines denrées et ingrédients de remplacement pouvant être servis aux ruminants.

1. Sources d'énergie

- Grains (p. ex. maïs, avoine, orge)
- Grosse semoule de maïs, brisures de maïs
- Déchets de confiserie
- Déchets de boulangerie
- Fruits et légumes de rebut
- Mélasse

2. Sources de protéine

- Tourteaux d'oléagineux (p. ex. de soya, de canola, de coton, d'arachide, de tournesol)
- Farine de gluten de maïs
- Urée

3. Sources de fibre

- Enveloppes de graines d'oléagineux (p. ex. de soya, de coton)
- Pulpes de fruits et de légumes (p. ex. d'agrumes, de betteraves)
- Balle de grain (p. ex. d'avoine, d'orge)

4. Sources secondaires de protéine

- Gru blanc, gru rouge
- Farine de luzerne, bouchons de luzerne déshydratée

- Drèches de brasserie et de distillerie

5. Sources de plusieurs éléments

- Graines de coton (gras, fibre et protéine)
- Graines de soya torréfiées (gras, protéine digestible dans l'intestin)

6. Sources de gras

- Suif
- Gras spéciaux digestibles dans l'intestin
- Huiles et corps gras

7. Sources de protéine digestible dans l'intestin (PDI)

- Farine de gluten de maïs
- Farine de sang
- Farine de plumes
- Farine de poisson
- Farine de viande et d'os (tirée d'animaux autres que des ruminants)
- Drèches de distillerie

Énergie

Les aliments qui fournissent essentiellement de l'énergie, comme le maïs et la grosse semoule de maïs, sont classés parmi les sources d'énergie. Les déchets des industries de la confiserie et de la boulangerie (déchets de pains, de gâteaux, de biscuits, de chocolats, de bonbons) sont également très riches en énergie. Certains d'entre eux sont également très riches en gras, ce qui leur vaut d'être classés parmi les sources de plusieurs éléments.

Protéine

Les résidus (ou tourteaux) de la trituration des oléagineux sont essentiellement des sources de protéine. Certains ingrédients moins riches en protéine que les tourteaux d'oléagineux (30–50 % de protéine brute) et apportant autant ou moins d'énergie que le maïs (80 % d'unités nutritives totales (UNT)) sont rangés parmi les sources secondaires de protéine.

Fibre

Certains sous-produits peuvent être avantageux en alimentation des ruminants du fait de leur teneur en fibres. Dans le groupe des aliments qui sont des sources de fibres se trouvent des produits tels que les pellicules de soya, les écales d'avoine et la pulpe de betterave. Il faut toutefois garder à l'esprit que les sous-produits contenant beaucoup de fibre sont thermolabiles, c'est-à-dire que la chaleur les détériore et leur fait perdre de leur valeur nutritive. On peut se rendre compte qu'un produit a été détérioré par la chaleur quand il contient beaucoup d'azote insoluble au détergent acide (N-FDA).

Gras

On donne des aliments gras aux animaux qui ont de grands besoins en énergie, par exemple les laitières fortes productrices en pic de lactation et les jeunes bovins à viande en période de croissance rapide. Il faut respecter des limites bien établies concernant la quantité et le type de gras qui peut être incorporé sans inconvénient dans les rations animales. Un excès de gras cause des troubles digestifs chez les ruminants, entraînant une baisse de la prise alimentaire et de l'indice de conversion.

Protéine digestible dans l'intestin (PDI)

D'autres ingrédients présentent des caractéristiques particulières quant à la dégradabilité ou digestibilité de leur protéine quand ils sont donnés aux ruminants. On classe parmi les sources de protéine digestible dans l'intestin (protéine soustraite à la dégradation dans le rumen) les ingrédients d'origine végétale ou animale dont la teneur en protéine brute est supérieure à 20 %, et dont au moins 50 % de cette protéine

échappe à la dégradation dans le rumen. Pour la plupart, ces produits ont subi un traitement spécial par la chaleur ou une déshydratation. Ils sont tout indiqués dans le régime des vaches laitières fortes productrices en début de lactation ou des jeunes bovins à viande en période de croissance rapide. Les sources de protéine digestible dans l'intestin reviennent souvent très cher par unité de protéine brute. La composition de la protéine (profil des acides aminés ou aminogramme) et les niveaux de ses différentes fractions — protéine dégradable, protéine non dégradable et protéine soluble — sont particulièrement importants.

Évaluation des ingrédients

Quand on compare entre eux des ingrédients d'une même catégorie, on peut examiner le coût par kilo d'élément nutritif. Par exemple, pour choisir entre le tourteau de soya à 48 % et le tourteau de soya à 44 %, on calcule à combien revient l'unité de protéine brute (PB) dans chaque cas et on choisit l'aliment qui fournit la protéine au moindre coût. Supposons que le tourteau de soya à 48 % coûte 380 \$ la tonne. Le coût par unité de protéine sera de 0,79 \$ le kilo (380 \$/480). De la même façon, si le tourteau de soya à 44 % coûte 360 \$ la tonne, la protéine coûtera 0,82 \$ le kilo (360 \$/440). Le même calcul peut être appliqué aux aliments qui sont des sources d'énergie, cette fois en utilisant les unités nutritives totales (UNT) ou l'énergie nette (ÉN).

Les équations de Petersen ont été élaborées pour comparer la valeur de divers aliments en tant que sources de protéine et d'énergie, par comparaison avec le maïs-grain et le tourteau de maïs. Elles permettent une comparaison rapide et facile du coût des aliments de remplacement. On peut se procurer une version interactive des équations de Petersen au site Web du MAAO à : www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/herd/food/equation.html.

Le tableau 3, *Évaluation des sous-produits à l'aide des équations de Petersen*, indique la valeur des aliments de remplacement calculée à l'aide des équations de Petersen, en fonction de leurs teneurs en protéine et en énergie, comparativement au coût et à la valeur nutritive et du maïs et du tourteau de soya.

On calcule comme suit les coefficients A et B utilisés dans les équations de Petersen (valeurs de l'aliment en l'état) :

$$A = [(UNT \text{ maïs} \times PB \text{ aliment considéré}) - (PB \text{ maïs} \times UNT \text{ aliment considéré})] / [(UNT \text{ du maïs} \times PB \text{ du TOSO}) - (PB \text{ du maïs} \times UNT \text{ du TOSO})]$$

$$B = [PB \text{ de l'aliment considéré} - (PB \text{ du TOSO} \times A)] / (PB \text{ du maïs})$$

où **TOSO** = tourteau de soya

Les équations de Petersen servent à calculer la valeur comparative d'un aliment de la manière suivante :

Valeur (\$) par tonne (t) de l'aliment considéré =

$$(A \times \text{Prix} (\$) \text{ à la tonne du tourteau de soya}) + (B \times \text{Prix} (\$) \text{ à la tonne du maïs})$$

Les équations de Petersen utilisent habituellement le maïs (source d'énergie) et le tourteau de soya à 48 % (source de protéine) comme aliments de référence. Toutefois, n'importe quel autre aliment énergétique ou protéique peut leur être substitué. La valeur de l'aliment auquel on s'intéresse dépend de ses taux d'UNT et de PB par comparaison avec les coûts et la valeur nutritive des aliments de référence, dans ce cas, le maïs et le tourteau de soya.

Marche à suivre pour déterminer la valeur d'un autre aliment que le maïs ou le tourteau de soya à l'aide des coefficients :

- Multiplier le prix du tourteau de soya par le coefficient A (soya).
- Multiplier le prix du maïs par le coefficient B (maïs).
- Additionner ou soustraire ces deux résultats comme il est indiqué.
- Le résultat est le prix maximal auquel il faut acheter l'aliment en question en tant que source d'énergie et de protéine.

Exemple : supposons que le prix du maïs soit de 120 \$ la tonne et le prix du tourteau de soya à 48 % de

320 \$ la tonne; le prix maximum auquel on doit acheter une tonne de déchets de boulangerie sera de $(0,0507 \times 320 \$) + (0,9852 \times 120 \$) = 134,23 \$$. Autrement dit, il est avantageux d'utiliser des déchets de boulangerie seulement quand ceux-ci se vendent moins de 134 \$ la tonne à une période où le maïs coûte 120 \$ la tonne et le tourteau de soya 320 \$ la tonne. Toute variation du prix du maïs ou du tourteau de soya se répercute sur la valeur économique des déchets de boulangerie. Quand les prix des aliments fluctuent rapidement, les équations de Petersen doivent être régulièrement mises à jour pour déterminer s'il est plus avantageux d'utiliser tel ou tel autre aliment. Le tableau 1, *Prix auxquels les aliments de remplacement sont avantageux, selon le prix du maïs et du tourteau de soya*, indique comment les valeurs de différentes denrées changent, en tant qu'aliment de remplacement, quand le prix du maïs et du tourteau de soya varie.

Tableau 1. Prix auxquels les aliments de remplacement sont avantageux, selon le prix du maïs et du tourteau de soya									
	Prix à la tonne								
Maïs-grain	120 \$			150 \$			180 \$		
Tourteau de soya à 48 %	300 \$	320 \$	340 \$	300 \$	320 \$	340 \$	300 \$	320 \$	340 \$
	Valeur à la tonne								
Aliment de gluten de maïs	86 \$	90 \$	93 \$	93 \$	97 \$	101 \$	101 \$	105 \$	108 \$
Carottes	16 \$	16 \$	17 \$	20 \$	20 \$	20 \$	24 \$	24 \$	24 \$
Déchets de boulangerie	133 \$	134 \$	135 \$	163 \$	164 \$	165 \$	193 \$	194 \$	195 \$
Drèches de brasserie humides	45 \$	47 \$	49 \$	48 \$	50 \$	52 \$	51 \$	53 \$	56 \$
Drèches de brasserie sèches	172 \$	180 \$	188 \$	184 \$	193 \$	201 \$	197 \$	205 \$	213 \$
Drèches de distillerie humides	68 \$	71 \$	74 \$	73 \$	76 \$	79 \$	79 \$	82 \$	85 \$
Drèches de distillerie sèches	208 \$	217 \$	226 \$	224 \$	234 \$	243 \$	241 \$	250 \$	260 \$
Farine de gluten de maïs à 60 %	364 \$	390 \$	417 \$	356 \$	382 \$	408 \$	348 \$	374 \$	400 \$
Grosse semoule de maïs	141 \$	141 \$	142 \$	172 \$	173 \$	174 \$	204 \$	205 \$	206 \$
Pulpe de betterave	111 \$	111 \$	111 \$	139 \$	139 \$	139 \$	168 \$	168 \$	167 \$

Dans le tableau 3 les aliments sont comparés à partir de leurs teneurs en UNT et en PB, mais on peut aussi utiliser les équations pour comparer des aliments en fonction d'autres paramètres, p. ex. l'énergie métabolisable (EM), l'énergie digestible (ED) ou l'énergie nette (EN) comme unités d'énergie. On peut ainsi utiliser d'autres paramètres relatifs à la protéine comme la protéine digestible dans l'intestin ou la teneur en lysine. Il suffit de substituer les paramètres relatifs à l'énergie ou à la protéine à chacune des valeurs d'UNT ou de PB du maïs, du tourteau de soya et de l'aliment considéré. À condition d'utiliser les mêmes

les coefficients A et B de l'équation de Petersen seront bonnes.

Les équations de Petersen ne permettent pas une évaluation exacte des valeurs des denrées qui fournissent principalement des fibres, de la protéine digestible dans l'intestin ou du gras. Les denrées qui sont des sources de gras sont d'un intérêt économique plus élevé dans le cas des animaux qui ont de gros besoins en énergie comme les laitières fortes productrices ou les jeunes bovins à viande en croissance rapide. Il faut porter une attention particulière à ces types de denrées, par exemple les déchets de boulangerie ou le suif. Les denrées qui sont des sources de plusieurs éléments nutritifs, comme les graines de coton entières ou le soya torréfié, valent à la tonne de 25 à 60 \$ de plus que ne l'indiquent leurs seules valeurs énergétiques et protéiques.

Évaluation de la protéine digestible dans l'intestin

Il faut aussi porter une attention particulière aux aliments qui sont une source importante de protéine digestible dans l'intestin (PDI) puisque celle-ci coûte de 25 à 30 % plus cher que la protéine brute. Étant donné que la PDI est plus coûteuse que la protéine brute et qu'elle peut être le seul élément nutritif limitant dans une ration donnée, il peut être utile de comparer entre elles les sources de PDI d'après le coût de l'unité de protéine. Les valeurs comparatives de la protéine digestible dans l'intestin de certains aliments (voir le tableau 2, intitulé *Évaluation des sources de protéine digestible dans l'intestin (PDI)*), s'obtiennent à l'aide de la formule suivante :

Prix au kg (\$) de la PDI = (Prix (\$) de l'unité d'aliment) / (unité d'aliment (kg) X PB (%) X PIND (%))

où PB (%) = teneur en protéine brute de l'aliment en l'état (tel qu'il est servi aux animaux).

PIND (%) = teneur de l'aliment en protéine ingérée non dégradable, exprimée en % de la PB.

Par exemple, quand le tourteau de soya à 48 % contenant 35 % de PIND coûte 370 \$ la tonne, le coût du kilo de protéine digestible dans l'intestin est de :

$(370 \text{ \$/tonne}) / [(1000 \text{ kg/tonne}) \times 0,48 \times 0,35] = 2,20 \text{ \$ le kg de PDI}$

Cette méthode peut aussi servir à comparer les valeurs d'autres denrées qui fournissent un seul élément nutritif, comme le suif et les corps gras.

À noter qu'avec les valeurs utilisées dans le tableau 2, la farine de sang et les drèches de distillerie sèches sont les sources de PDI les moins chères.

Aliment	Prix/T (\$)	PB en % de l'aliment servi	PIND en % de la PB	Coût/kg PIND
Drèches de distillerie sèches	234	27,1	62	1,39 \$
Farine de gluten de maïs	550	61,2	55	1,63 \$
Farine de poisson	850	60,3	72	1,96 \$
Farine de sang	900	79,1	82	1,39 \$
Tourteau de soya	372	48,0	35	2,21 \$

Formulation de rations au coût le plus bas

Les équations de Petersen et les évaluations des éléments en fonction d'un seul paramètre sont simples et faciles à utiliser. Toutefois, elles sont limitées par le petit nombre de paramètres qu'elles peuvent intégrer.

Des méthodes plus évoluées ont été mises au point pour déterminer la valeur économique des sous-produits de l'industrie agroalimentaire. Depuis de nombreuses années, l'industrie des aliments du bétail et les grandes fermes d'élevage ont recours à des logiciels pour formuler les rations les plus économiques. Ce sont des logiciels qui utilisent l'algèbre matricielle ou des programmes linéaires pour déterminer les aliments qui apporteront à l'animal concerné les besoins en éléments nutritifs. De nombreux éléments nutritifs peuvent être évalués simultanément.

Les programmes linéaires permettent aussi de déterminer le prix maximal d'un aliment que l'on envisage d'utiliser à la place d'un autre dans une ration donnée et de savoir ce que coûterait le changement de ration. Le producteur peut donc savoir à quel niveau de prix il est avantageux d'opter pour un aliment de remplacement, surtout dans les périodes où les prix des aliments changent rapidement. Ce sont les programmes linéaires qui donnent l'estimation la plus exacte de la valeur d'un ingrédient. Ils peuvent aussi tenir compte de limites préétablies quant à la quantité de certains ingrédients dans la ration en fonction de leur qualité nutritive et de leur appétibilité.

La plupart des fournisseurs de logiciels peuvent vous fournir à prix modique un programme de calcul des formules d'aliments les plus économiques. Adressez-vous au centre d'information agricole au 1 877 424-1300 ou à ag.info@omaf.gov.on.ca pour obtenir la liste des logiciels agricoles permettant de calculer les rations les plus économiques, ou des rations basées sur d'autres critères, et que l'on peut se procurer au Canada et aux États-Unis.

Autres facteurs entrant en jeu

Le coût des éléments nutritifs n'est pas le seul aspect à considérer quand on évalue des aliments de remplacement. D'autres facteurs entrent aussi en jeu : les coûts de transport, d'entreposage spécial, de locaux, de manutention et de transformation; le surcroît de main-d'oeuvre impliqué par la manutention et la transformation. Il faut aussi tenir compte des risques de détérioration, car la plupart des déchets organiques ont une teneur en eau élevée et ne se conservent pas longtemps. Les contaminants, tels que le plastique, peuvent être un problème; le tri et l'élimination de ces contaminants occasionnent des frais supplémentaires. La qualité de l'ingrédient et notamment son appétibilité et sa composition nutritive ne sont pas non plus à négliger. Pour toutes ces raisons, les denrées figurant dans les tableaux ne peuvent remplacer qu'une partie des ingrédients les plus traditionnels des rations.

Autres fiches techniques du MAAO sur l'alimentation du bétail

Comparaison des valeurs nutritives d'aliments pour les porcs, commande n° 03-004

Analyse de la valeur nutritive, commande n° 03-008

Terminologie de la nutrition du bétail, commande n° 92-047

Nous remercions le Secrétariat d'État pour sa contribution financière à la réalisation de la présente fiche technique.

Cette fiche a été revue par **Tom Wright**, spécialiste de la nutrition des bovins laitiers par intérim, MAAO, Guelph, et par **Ron Lackey**, spécialiste des ingrédients et des sous-produits dans l'alimentation du bétail, MAAO, Stratford. La fiche d'origine avait été rédigée par **Ellie Cavanagh**, agronome ruraliste, MAAO, Vineland.

Tableau 3. Évaluation des sous-produits à l'aide des équations de Petersen

Aliment	% de	% d'UNT	% PB	% d'UNT	% PB	Coefficient A (soya)	Coefficient B (maïs)	Prix de l'aliment
	MS	(rapporté à la MS)	(de l'aliment en l'état)					
Maïs-grain	85,0	89,0	9,6	75,7	8,2	0,0000	1,0000	140,00 \$
Tourteau de soya à 48 %	89,0	84,0	53,9	74,8	48,0	1,0<000	0,0000	320,00 \$

Sous-produits de mouture et de transformation								
Avoine — Aliment composé	90,0	60,0	14,0	54,0	12,6	0,1698	0,5<460	130,77 \$
Déchets de boulangerie	88,0	89,0	11,9	78,3	10,5	0,0507	0,9852	154,15 \$
Drèches de brasserie — humides	24,0	67,0	25,0	16,1	6,0	0,1069	0,1069	49,17 \$
Drèches de brasserie — sèches	92,0	67,0	25,0	61,6	23,0	0,4097	0,4099	188,50 \$
Drèches de distillerie — humides	30,0	84,0	29,5	25,2	8,9	0,1537	0,1813	74,55 \$
Drèches de distillerie — sèches	92,0	83,7	29,5	77,0	27,1	0,4710	0,5524	228,05 \$
Drèches de seigle — humides	30,0	84,0	29,0	25,2	8,7	0,1499	0,1850	73,86 \$
Écale d'avoine	93,0	35,0	3,8	32,6	3,5	0,0006	0,4297	60,34 \$
Farine de gluten (40 %)	91,0	86,0	43,9	78,3	39,9	0,7895	0,2543	288,24 \$
Farine de gluten (60 %)	91,0	86,0	67,2	78,3	61,2	1,3208	-0,2708	384,76 \$
Farine de gluten de maïs	40,0	82,0	27,5	32,8	11,0	0,1870	0,2488	94,67 \$
Farines basses de riz	88,0	66,9	15,6	58,9	13,7	0,1849	0,5955	142,53 \$
Grosse semoule de maïs	91,0	92,0	11,8	83,7	10,7	0,0428	1,0644	162,71 \$
Lactosérum	7,0	78,0	14,0	5,5	1,0	0,0098	0,0625	11,88 \$
Marc de pommes	20,0	70,0	5,0	14,0	1,0	-0,0128	0,1977	23,59 \$
Pulpe d'agrumes	18,3	82,5	6,6	15,1	1,2	-0,0105	0,2100	26,02 \$
Pulpe de betterave	91,0	78,0	8,0	71,0	7,3	-0,0094	0,9476	129,64 \$
Rafles de maïs	90,0	47,0	2,8	42,3	2,5	-0,0512	0,6097	68,98 \$
Son de blé	89,0	70,0	18,0	62,3	16,0	0,2330	0,5932	157,63 \$
Soya torréfié	92,0	93,5	41,3	86,0	38,0	0,7198	0,4255	289,90 \$
Sous-produits d'équarrissage								
Farine de plumes	93,0	67,7	91,4	63,0	85,0	1,9597	-1,1038	472,56 \$

Farine de poisson	90,0	70,0	67,0	63,0	60,3	1,3407	-0,4922	360,13 \$
Farine de sang	92,0	65,0	86,0	59,8	79,1	1,8210	-1,0091	441,44 \$
Farine de viande et d'os	93,0	73,1	53,8	68,0	50,0	1,0691	-0,1577	320,04 \$
Gras animal	95,0	200,0		190,0	0,0	-0,5136	3,0191	258,33 \$
Fruits et légumes								
Bananes	24,3	84,1	4,5	20,4	1,1	-0,0278	0,2977	32,76 \$
Betteraves	13,0	80,3	12,6	10,4	1,6	0,0128	0,1253	21,65 \$
Brocoli	11,0	70,0	33,0	7,7	3,6	0,0701	0,0325	26,99 \$
Carottes	12,0	84,0	9,9	10,1	1,2	0,0025	0,1308	19,11 \$
Céleri	6,0	62,0	15,3	3,7	0,9	0,0129	0,0364	9,24 \$
Choux	9,5	85,3	25,3	8,1	2,4	0,0383	0,0692	21,96 \$
Laitue	5,0	51,0	22,0	2,6	1,1	0,0207	0,0133	8,47 \$
Oignons	9,0	57,6	12,6	5,2	1,1	0,0144	0,0543	12,21 \$
Pain	63,0	89,0	13,3	56,1	8,4	0,0584	0,6835	114,37 \$
Pommes	17,0	70,0	2,8	11,9	0,5	-0,0202	0,1773	18,35 \$
Pommes de terre	23,0	81,0	9,5	18,6	2,2	0,0044	0,2419	35,28 \$
Tomates	6,0	69,0	16,4	4,1	1,0	0,0135	0,0414	10,11 \$

Par exemple : Pour déterminer la valeur des drèches de distillerie humides quand le maïs vaut 140 \$ la tonne et le tourteau de soya 320 \$ la tonne : $(0,1537 \times 320 \$) + (0,1813 \times 140 \$) = 74,56 \$$