

LES QUATRE FACTEURS DE SUCCÈS DE L'ENSILAGE DE MAÏS

Alain Fournier, M.Sc., agronome¹

Coauteurs

Gaëtan Tremblay, Ph.D.²

Gilles Bélanger, D.Sc.²

et Guy Allard, Ph.D., agronome³

Lorsque Christophe Colomb découvrit l'Amérique en 1492, le maïs (*Zea mays* ssp. *mays*) était déjà cultivé du nord (rives du Saint-Laurent) au sud (Rio de la Plata en Argentine) des Amériques. L'ancêtre du maïs, le téosinte (*Zea mays* ssp. *parvigumis*), est une graminée sauvage qui aurait été domestiquée aux abords de la rivière Balsas, dans le sud du Mexique, il y a environ 9 000 ans (Wikipedia, 2009).

Bien que les premiers hybrides de maïs aient été introduits au Canada en 1937, la culture du maïs pour l'ensilage a véritablement pris son essor vers la fin des années soixante pour atteindre un sommet vers le milieu des années soixante-dix au Québec. Par la suite, une diminution constante des superficies a été enregistrée sur les fermes québécoises. Cette diminution a été occasionnée par plusieurs facteurs tels que l'opération luzerne qui a débuté en 1973, la plus grande disponibilité d'hybrides de maïs-grain adaptés au climat du Québec, les programmes d'aide à l'entreposage des grains à la ferme dans les années 1980, et l'accès à l'assurance stabilisation des revenus agricoles pour le maïs-grain. Cependant, la culture de ce fourrage revient en force depuis les deux dernières décennies (Figure 1). Cet accroissement est noté dans pratiquement toutes les régions agricoles du Québec (Figure 2). Une augmentation de la valeur des terres agricoles, la difficulté qu'a la luzerne à traverser les rigueurs de l'hiver, le rendement et la digestibilité élevés de l'ensilage de maïs, sa facilité à être ensilé et sa valeur alimentaire relativement constante expliquent ce regain d'intérêt. Cependant, si on le compare aux 382 000 hectares de maïs-grain récolté au Québec en 2006, l'ensilage de maïs, avec ses 58 000 hectares pour la même année, représente une petite fraction du maïs semé au Québec. Afin de profiter de la culture de l'ensilage de maïs, quatre facteurs de succès, qui sont essentiels à son succès, seront discutés dans ce document.

¹ Conseiller en productions laitière et bovine, MAPAQ, Direction régionale du Centre-du-Québec, Nicolet.

² Chercheur, Agriculture et agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Québec

³ Professeur, Faculté des sciences de l'agriculture de l'alimentation (FSAA), Université Laval, Québec

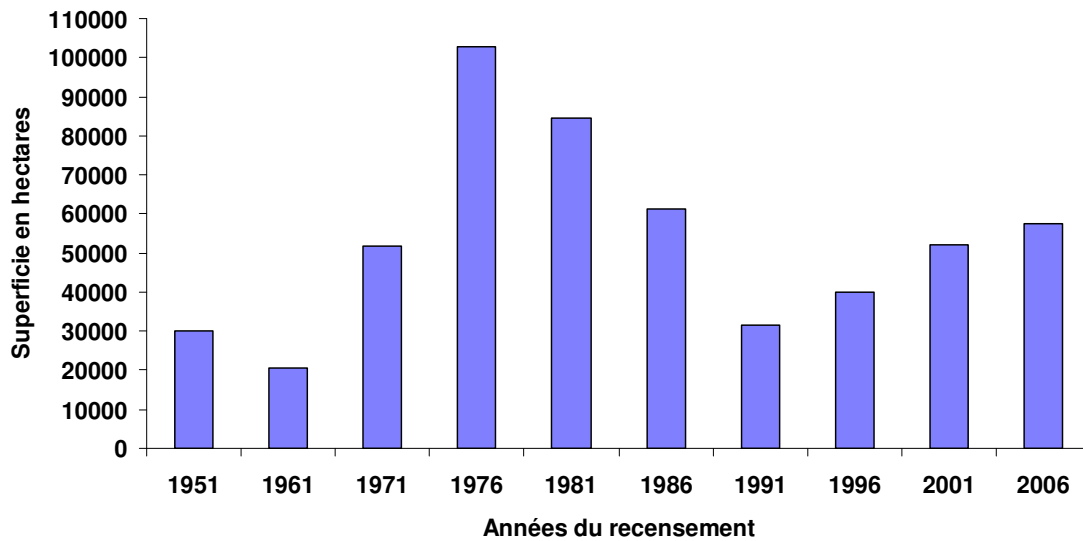


Figure 1. Superficie déclarée en ensilage de maïs pour le Québec de 1951 à 2006 (Recensement agricole de 1951 à 2006)

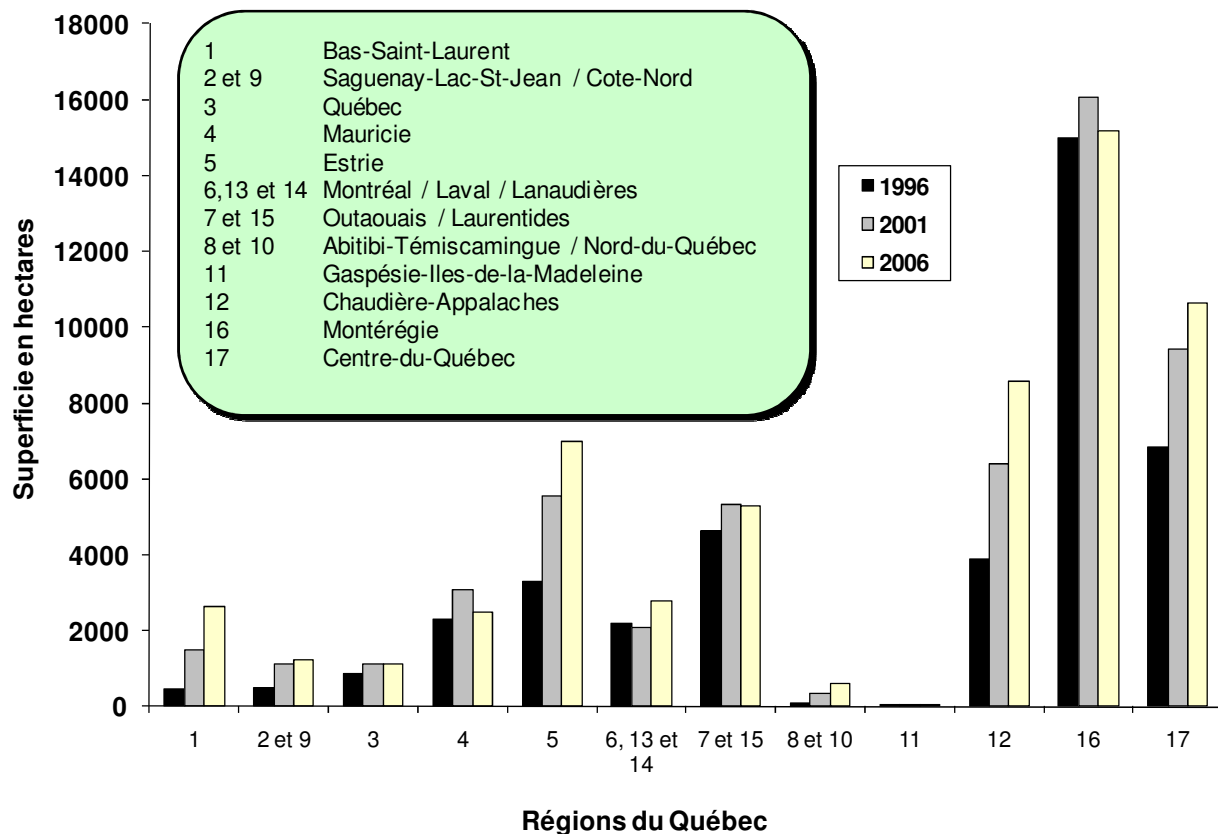


Figure 2. Superficie déclarée en ensilage de maïs par région du Québec pour les années 1996, 2001 et 2006 (Recensement agricole de 1996, 2001 et 2006)

Le choix de l'hybride

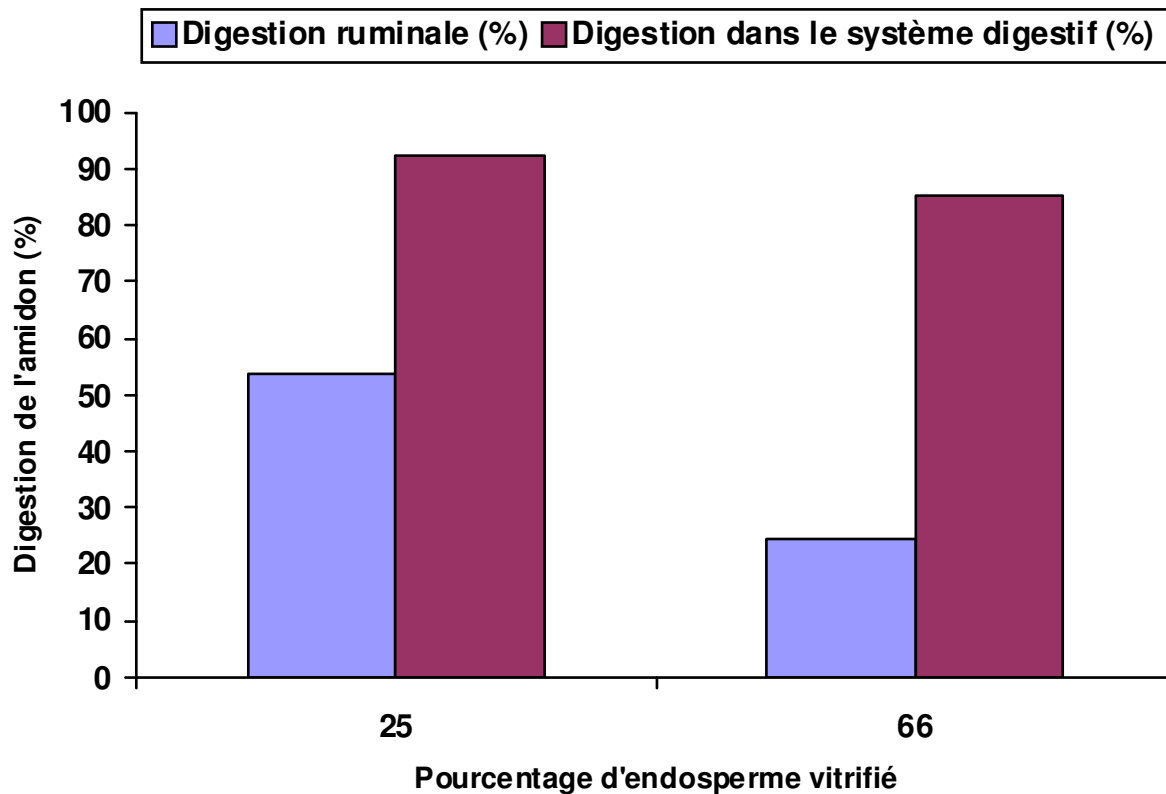
Depuis les années trente, des progrès fulgurants ont été réalisés dans la culture du maïs. La création d'hybrides capables de tolérer une grande population, possédant une résistance aux maladies accrue et la capacité à supporter des conditions environnementales difficiles a permis d'accroître considérablement les rendements. On a constaté que c'est la proportion de grains qui a eu le plus d'impact sur l'accroissement des rendements. L'amélioration de la résistance à la verse de ces nouveaux hybrides portant de plus gros épis a eu peu ou pas d'impact sur la digestibilité des tiges. Au Québec, le développement d'hybrides dont la croissance s'effectue sur une plus courte période a aidé à l'expansion de cette culture dans la presque totalité des régions. De plus, certaines caractéristiques technologiques sont disponibles dans la gamme des hybrides pour l'ensilage de maïs; les hybrides transgéniques qui ont des gènes leur permettant de tolérer certains herbicides (glyphosate) ou d'exprimer une toxine (Bt) nocive pour certains insectes, comme la pyrale du maïs ou la chrysomèle des racines, en sont des exemples. Lors de la présence de ces insectes en quantité dommageable, les plants d'hybrides Bt sont dans un meilleur état de santé en fin de saison, permettant ainsi de maintenir le rendement et la valeur alimentaire de l'ensilage, tout en réduisant la susceptibilité aux moisissures (Mahanna, 2005).

Il est possible de séparer les hybrides en deux grandes familles, ceux qui produisent des grains de type corné et ceux ayant des grains dentés. L'endosperme représente de 75 à 80 % du grain et il est une source essentielle d'énergie pour sa germination et le début de croissance, et ce, jusqu'à ce que la photosynthèse prenne la relève. L'endosperme est constitué d'une matrice d'amidon et de protéines qui lui donnent sa couleur et sa dureté. Il peut être divisé en deux types qui sont : l'endosperme farineux (blanc et opaque) et l'endosperme vitreux (jaune et vitreux). L'amidon de l'endosperme vitreux contient de la prolamine, qui est un complexe de protéines insolubles dans l'eau, ce qui lui confère ses propriétés de dureté et d'insolubilité. Les granules d'amidon sont encapsulés dans cette matrice de protéines insolubles pour l'endosperme vitreux (Bittman et Kowalenko, 2004). Les grains cornés contiennent plus d'endosperme vitreux que d'endosperme farineux comparativement aux grains dentés. Le grain de type corné, qui ressemble à un grain de maïs soufflé en raison de l'importance de sa couche vitreuse, reste bombé à maturité. Par ailleurs, la partie farineuse de l'albumen du grain denté se contracte à maturité, le dessus du grain se rétracte et prend la forme d'une dent. La fraction d'endosperme vitreux est plus difficile à digérer par les bovins de sorte que les grains cornés

sont en général moins digestibles au niveau du rumen et dans le système digestif de la vache que les grains dentés (Allen et coll., 2008) (Figure 3). Dans une étude réalisée par Correa et coll. (2002), les hybrides cornés du Brésil contenaient environ 73 % (64,2 à 80,0 %) d'endosperme vitreux alors que les hybrides américains en contenaient 48 % (34,9 à 62,3 %). Cette étude a démontré que le niveau d'endosperme des hybrides américains a tendance à augmenter légèrement avec l'avancement en maturité du grain, passant de 42,8 % d'endosperme vitrifié au stade ½ ligne d'amidon à 48,2 % au stade point noir (21 jours plus tard).

Au Québec, ce sont les variétés de type denté qui sont généralement utilisées pour la production d'hybrides de maïs pour l'ensilage. Puisque l'introduction de nouveaux hybrides sur le marché est régulière, l'éleveur laitier devrait revoir son choix d'hybrides à tous les ans afin de choisir l'hybride le mieux adapté à ses conditions spécifiques de croissance. La résistance à la verse de même qu'à certaines maladies est aussi un critère important à considérer.

Figure 3. Impact de la proportion d'endosperme vitrifié sur la digestion de l'amidon dans le rumen et le système digestif de la vache laitière (Allen et coll., 2008)



Hybrides à deux fins, hybrides BMR et hybrides « leafy »

Hybrides à deux fins

Plusieurs hybrides offerts sur le marché correspondent à cette catégorie. Il s'agit d'hybrides sélectionnés pour leur capacité à produire un haut rendement de matière sèche à l'hectare avec un niveau élevé d'amidon et de fibres digestibles. Puisque les deux qualités (aspect fourrager et grain) sont combinées dans un même hybride, l'éleveur peut décider de poursuivre la maturation du plant pour le récolter en grains en fin de saison ou le récolter comme prévu en ensilage de maïs. Cette flexibilité est parfois utile puisque les besoins peuvent changer en cours de saison selon les aléas du climat.

Hybride BMR ou « Brown midrib »

Cette mutation fut observée pour la première fois en 1924 (Eastridge, 1999). Cette qualification de nervure centrale brune (« brown midrib » ou BMR) lui a été attribuée en raison de la coloration rouge tirant sur le brun de la nervure centrale localisée sous les feuilles. Une baisse de la teneur en lignine du plant de maïs accompagne ce trait génétique. La première étude rapportant une baisse de la teneur en lignine de ce type d'hybride comparativement aux hybrides qui n'ont pas cette mutation date de 1931 (Cherney et coll., 1991). La lignine est un facteur limitant la digestibilité des parois des cellules; toutefois, la teneur en lignine n'est pas le seul facteur influençant la digestibilité des parois. La composition biochimique de cette lignine et la nature des acides phénoliques qui y sont liés interviennent aussi (Émile et coll., 1996).

Le maïs BMR n'a pas que des avantages puisque les rendements sont généralement plus faibles (environ 10 % de moins) et le prix de la semence est presque 60 % plus élevé que celui des hybrides conventionnels. Il serait aussi sensible aux conditions environnementales très sèches, de même qu'à la verse, si la récolte est retardée pour diverses raisons (Eastridge, 1999).

Puisque ce type d'hybride possède une digestibilité plus élevée de ses fibres, il occasionne une hausse de la consommation par les vaches et de leur production laitière, si on le compare aux hybrides conventionnels. Weiss (2001) indique que le remplacement kg pour kg d'un hybride conventionnel par un hybride BMR produit une hausse moyenne de consommation de matière sèche d'environ 1,4 kg/jour avec une production laitière accrue variant entre 1,4 et 1,8 kg/jour. Stone (2008) a aussi démontré que l'augmentation de la digestibilité des fibres de la ration avec

l'utilisation d'un hybride de type BMR comparativement à un hybride conventionnel pouvait être bénéfique en termes de consommation et de production laitière pour les vaches laitières en début de lactation.

Le tableau 1 présente un exemple de la différence qui existe entre la composition nutritive d'un un hybride BMR et celle d'un hybride conventionnel de la même compagnie. L'expérience a été réalisée dans l'État du Michigan. Les valeurs obtenues sont spécifiques aux deux hybrides utilisés dans cette expérience et ne peuvent être généralisées à l'ensemble des hybrides BMR et conventionnels, puisqu'il existe une grande variabilité de réponses entre ces deux catégories d'hybrides. Cependant, Eastridge (1999) mentionne que le gène BMR a peu d'influence sur la concentration en protéine brute, minéraux, fibres ADF et fibres NDF de l'ensilage. Cependant, la concentration en lignine est habituellement réduite (- 34 %) et la digestibilité des fibres NDF est améliorée de tout près de 20 % (18,7 %) pour ce type d'hybride comparativement aux hybrides standards.

Tableau 1. Effets de la présence du gène BMR sur la composition nutritive du maïs fourrager (Taylor et coll., 2005)

	Hybride BMR	Hybride conventionnel
Matière sèche (%)	31,5 ^a	30,5 ^b
Fibres NDF (% MS)	38,9 ^a	41,2 ^b
Digestibilité des fibres NDF* (% du NDF)	66,6 ^a	54,0 ^b
Lignine (% MS)	1,22 ^a	2,25 ^b
Amidon (% MS)	26,6 ^a	25,8 ^a
Protéine brute (% MS)	8,30 ^a	7,70 ^a

^{a,b} Pour un critère donné, les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent à un seuil de $P < 0,05$.

*Digestibilité évaluée avec un temps d'incubation de 30 heures.

Hybrides « leafy »

Parmi les hybrides de maïs commercialisés au Québec, il y a ceux que l'on appelle maïs feuillu (« *leafy* ») et qui sont de plus en plus présents sur le marché. Ces hybrides possèdent un gène qui permet une plus grande production de feuilles au-dessus de l'épi, ce qui les distingue facilement des autres hybrides. L'enveloppe de la tige de même que celle des grains seraient plus fines, ce qui causerait une amélioration de digestibilité de ces hybrides. Ils sont aussi exclusivement destinés à la production d'ensilage de maïs. Toutefois, les études publiées

jusqu'à présent n'ont pas été concluantes. Bien que deux publications réalisées dans les États de New York et du Wisconsin rapportent une hausse de la production laitière associée à leur utilisation comparativement aux hybrides ne possédant pas le gène feuillu (Thomas et coll., 2001; Clarck et coll., 2002), plusieurs autres expériences ne rapportent pas de hausse significative de production (Bal et coll., 2000; Ballard et coll., 2001; Weiss, 2001; Nennich et coll., 2003). Bien que ces hybrides possèdent généralement plus de feuilles en pourcentage du plant entier sur une base de matière sèche que les hybrides conventionnels, cet accroissement n'est toujours pas suffisant pour assurer une hausse de la production laitière (Thomas, 2000; Weiss, 2001).

Les résultats de l'expérience de Kuehn (1999) démontrent bien cette conclusion. Le tableau 2 révèle que la proportion de feuilles pour l'hybride feuillu est numériquement légèrement plus élevée que pour l'hybride à grains. Cependant, il y a seulement la digestibilité de la matière sèche qui est plus élevée pour l'hybride feuillu comparativement à l'hybride à grains, mais cette amélioration n'a pas permis d'accroître la productivité des vaches. La composition du lait n'a pas été altérée par le choix de l'hybride.

Tableau 2. Comparaison d'un hybride feuillu et d'un hybride à grains pour la composition de la plante, sa valeur alimentaire et les résultats de performance laitière (Kuehn et coll., 1999)

	Hybride feuillu	Hybride à grains
Composition de la plante		
Feuilles (% de la plante sèche)	13,0 ^a	11,9 ^a
Grains (% de la plante sèche)	41,0 ^a	43,7 ^a
Composition nutritive		
Matière sèche (%)	34,7 ^a	36,8 ^a
Fibres NDF (% MS)	45,6 ^a	43,6 ^a
Digestibilité de la matière sèche (% MS)	69,2 ^a	66,8 ^b
Digestibilité des fibres NDF* (% NDF)	38,0 ^a	34,6 ^a
Protéine brute (% MS)	6,9 ^a	7,0 ^a
Résultats de production laitière		
Lait corrigé à 3,5 % de MG (kg/jour)	43,5 ^a	43,9 ^a
Matière grasse du lait (%)	4,06 ^a	4,08 ^a
Protéines du lait (%)	3,21 ^a	3,26 ^a

^{a,b} Pour un critère donné, les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent à un seuil de $P < 0,05$.

*Digestibilité évaluée avec un temps d'incubation de 48 heures.

Le bon choix avec « Milk 2006 »

Il est difficile d'évaluer objectivement la valeur alimentaire d'un hybride de maïs en tenant compte simultanément de plusieurs caractéristiques. Une méthode a été développée par une équipe de recherche de l'Université du Wisconsin pour évaluer le potentiel d'un hybride et cette méthode a été améliorée au cours des années. Le chercheur Dan Undersander de l'Université du Wisconsin a initialement développé un indicateur pour estimer la quantité de lait produite par tonne de matière sèche d'ensilage de maïs (Undersander et coll., 1993). Ce paramètre était calculé à partir du contenu en énergie de l'ensilage de maïs et de la consommation du fourrage estimée en utilisant sa teneur en fibres NDF. L'énergie de l'ensilage est maintenant évaluée en utilisant une version modifiée de l'équation sommative publiée dans la dernière édition du « Nutrient Requirement of Dairy Cattle » (NRC, 2001). Cette énergie est exprimée en unités nutritives totales (UNT_{1x}) pour un niveau de consommation permettant de combler l'énergie d'entretien d'une vache non productive et non gestante. À partir des résultats de l'analyse chimique de la matière sèche, de la protéine brute, des fibres NDF, de la digestibilité des fibres NDF, de l'amidon, des cendres et de la matière grasse, la feuille de calcul Excel « Milk2006 » permet de calculer le nombre de kg de lait produit par tonne de matière sèche d'ensilage de même que la quantité de lait en kg produit par hectare de fourrage. Ces deux indices sont utilisés pour comparer les hybrides entre eux. Le modèle « Milk2006 » a été validé en utilisant les données de dix articles scientifiques récents et celui-ci prédit relativement bien la quantité de lait produite par tonne de matière sèche d'ensilage de ces expériences (Shaver, 2006). On peut se procurer gratuitement la feuille Excel pour effectuer ces calculs à l'adresse suivante :

www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/milk2006cornsilagev.xls

Quoiqu'il soit recommandé d'utiliser un temps d'incubation de 48 heures pour évaluer la digestibilité des fibres NDF, la feuille de calcul « Milk2006 » permet d'avoir recours à des temps d'incubation différents (24 et 30 heures). Plusieurs laboratoires utilisent ces deux derniers temps d'incubation, car ils se rapprochent davantage des temps de séjour des aliments dans le rumen d'une vache laitière. Bien que les valeurs obtenues avec ces différents temps d'incubation soient corrélées, c'est-à-dire qu'elles vont dans le même sens, elles ne doivent pas être comparées entre elles. De plus, lors de l'utilisation de la feuille de calcul « Milk2006 », des valeurs moyennes de 4,3 % pour les cendres et de 3,4 % pour la matière grasse (extractif étheré) peuvent être utilisées dans l'équation si les résultats de ces analyses chimiques ne sont

pas disponibles. Une constante de 1,3 % sert aussi à estimer la protéine liée aux fibres NDF (NDF_{PB}). La valeur d' UNT_{1x} est par la suite transformée en énergie nette de lactation en utilisant le système d'équations du NRC (2001). Pour plus de détails sur la méthode de calcul des différents paramètres de ce système, le lecteur est invité à se référer à l'annexe 1 (Schwab et coll., 2003; Shaver, 2006).

Plusieurs universités américaines offrent aujourd'hui la possibilité d'évaluer objectivement, en utilisant cette méthode, les hybrides commercialisés dans l'État desservi par l'institution. Les données sont publiées annuellement en fin d'automne et elles sont accessibles à tous. Lorsque vient le temps de sélectionner le ou les hybrides de maïs qui seront utilisés dans sa rotation de culture, l'éleveur dispose ainsi de données objectives lui permettant de faire un choix plus judicieux. Les hybrides sont évalués dans leur zone de maturité (unité thermique maïs, UTM) et dans plusieurs localités, ce qui permet de choisir des hybrides bien adaptés aux conditions environnementales de l'entreprise laitière. Parce que le Québec est situé plus au nord, il aurait avantage à initier un tel service qui bénéficierait autant aux producteurs qu'aux chercheurs et aux entreprises de semences implantées dans la province. De plus, puisque la zone de maturité est évaluée à l'extérieur du Québec, certains hybrides sont parfois mal classifiés et ont de la difficulté à atteindre le taux de matière sèche adéquat pour la récolte en ensilage sous nos conditions. Un processus de testage québécois indépendant permettrait de classifier les hybrides dans leur zone de maturité avec beaucoup plus de précision.

Le tableau 3 présente un exemple réel de cette évaluation effectuée à l'Université du Wisconsin en 2008 dans la zone centrale du nord du Wisconsin. Les résultats de quelques hybrides pour cette zone y sont présentés.

Afin de démarquer facilement les hybrides, un graphique de l'indice de la production de lait par hectare (aspect rendement de l'ensilage) en fonction de l'indice de la production de lait par tonne de matière sèche d'ensilage (aspect digestibilité de l'ensilage de maïs) de chaque hybride est tracé. Les hybrides les plus intéressants se situent dans la partie C (rendement et digestibilité élevés) de la figure 4. Le cercle au milieu du graphique représente un intervalle de confiance pour le lait produit par hectare sur l'axe vertical (y) et pour le lait produit par tonne de matière sèche d'ensilage sur l'axe horizontal (x). Les barres horizontale et verticale localisées dans ce graphique représentent ces deux intervalles de confiance qui permettent de différencier statistiquement les hybrides. En déplaçant ces barres, il est possible de comparer deux

hybrides. Si les deux hybrides se situent dans l'intervalle de cette barre, ils ne sont pas différents statistiquement. Les hybrides localisés dans la partie A possèdent un rendement élevé mais une digestibilité faible. À l'opposé, les hybrides situés dans la partie B sont très digestibles, mais possèdent un faible rendement. L'hybride numéro 5 encerclé est un hybride BMR dont la digestibilité des fibres est élevée, mais qui se positionne dans la partie B en raison de son plus faible rendement par rapport aux autres hybrides. À l'opposé, l'hybride numéro 6 encerclé est un hybride possédant un excellent rendement, un niveau d'amidon élevé, donc une digestibilité plus élevée, et qui se positionne dans le quadrant C.

Tableau 3. Évaluation de la performance de certains hybrides de maïs recommandés par les compagnies de semences pour la zone centrale du nord du Wisconsin (Lauer et coll., 2008)

Hybrides	Rendement (t MS/ha)	Kg de lait par ¹		Humidité (%)	PB ² (% MS)	NDF (% MS)	NDFD (% NDF)	Amidon (% MS)
		Tonne MS	hectare					
1	15,9	1 536	24 329	63,6	6,6	48	56	28
2	16,6	1 511	25 114	64,0	6,9	47	53	29
3	16,1	1 511	24 666	64,2	6,5	50	57	25
4	16,8	1 471	24 666	67,5	6,4	49	56	23
5	14,3	1 581	22 760	68,5	7,3	49	66	21
6	16,4	1 551	25 002	62,5	7,1	44	55	31

¹ Estimé avec « Milk2006 ».

² PB : protéine brute; NDF : fibres insolubles dans un détergent neutre; NDFD : digestibilité des fibres NDF avec un temps d'incubation de 48 heures.

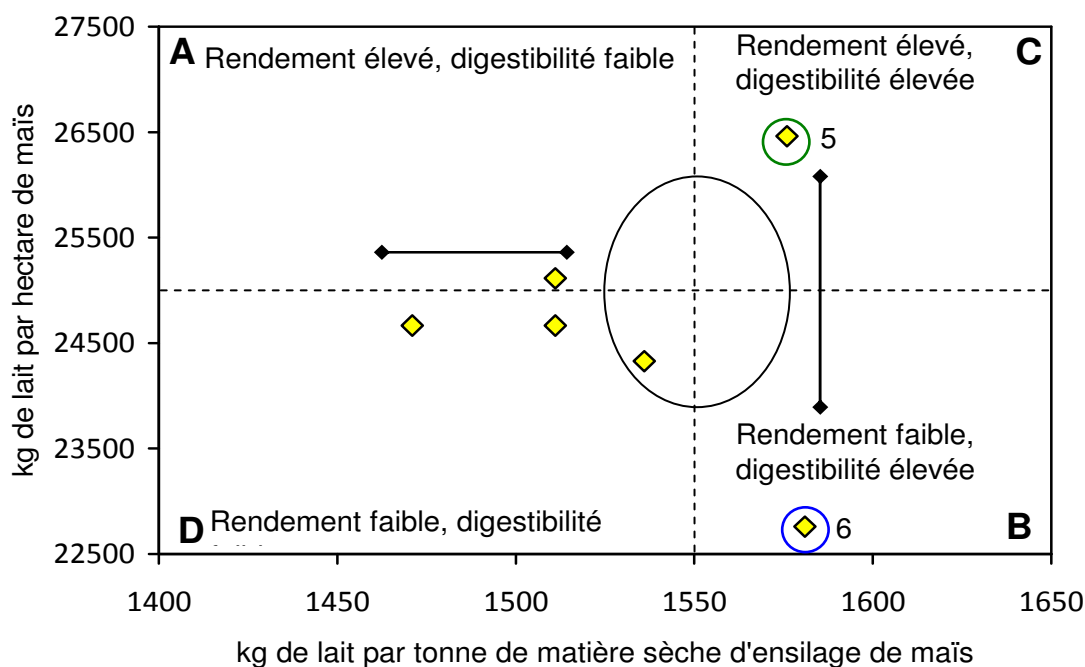


Figure 4. Lait produit par hectare (notion de rendement) et lait produit par tonne de matière sèche (notion de digestibilité) pour différents hybrides de maïs recommandés pour la zone centrale du nord du Wisconsin (Lauer et coll., 2008).

Finalement, les hybrides à deux fins, qui représentent la plus grande part du marché pour l'ensilage de maïs, sont là pour demeurer au Québec. Ils représentent une valeur sûre et ils ont de plus une certaine flexibilité quant à leur finalité (ensilage ou grain). On remarque cependant que le nombre d'hybrides feuillus, spécifiquement développés pour l'ensilage de maïs, gagnent en importance année après année avec de plus en plus d'hybrides de ce type offerts sur le marché. Bien que nous soyons au tout début de l'utilisation des hybrides BMR, ceux-ci commencent à trouver preneur chez certains éleveurs laitiers qui mettent l'aspect de la digestibilité des fibres (kilogramme de lait par tonne de matière sèche d'ensilage) au premier plan dans leur programme de sélection d'hybrides pour l'ensilage.

L'utilisation d'un programme d'évaluation indépendant, supervisé par des chercheurs avec la collaboration des différents joueurs de l'industrie des semences, s'avère une nécessité. Le système d'évaluation proposé dans ce document permet de comparer les hybrides entre eux pour une même zone de maturité, sous des conditions de culture et environnementales identiques, permettant de faire ressortir les différences entre les hybrides testés et offerts aux

éleveurs du Québec. Le choix de l'hybride approprié par l'éleveur en est ainsi facilité. Les hybrides qui présentent des résultats supérieurs à la moyenne sur plus d'une année pour un même site devraient être considérés en premier, puisqu'ils ont été évalués dans plusieurs conditions environnementales différentes selon Bill Cox et Jerry Cherney de l'Université Cornell.

Sa culture

Date de semis

Le rendement est optimum lorsque le maïs est semé vers la fin d'avril jusqu'à la mi-mai, selon les régions. Il peut ainsi profiter d'une saison de croissance complète pour effectuer son développement et atteindre le stade idéal de récolte avant les premières gelées. Le sol devrait atteindre une température minimale de 10 °C pour que la germination et l'émergence soient optimales. Cependant, Joe Lauer de l'Université du Wisconsin mentionne que l'éleveur doit plutôt porter son attention sur la condition du lit de semence et la date du calendrier plutôt que sur la température du sol afin de décider de semer son maïs, car un semis trop tardif affecte considérablement le rendement (Lauer, 2007). Plus le semis est tardif, plus la concentration en amidon dans l'ensilage de maïs diminue (Figure 5), mais la date de semis n'affecte pas la digestibilité des fibres NDF de l'ensilage. Un semis trop hâtif rend la plantule plus sensible aux maladies, aux insectes et à des problèmes d'émergence s'il y a formation de croûte occasionnée par la pluie du printemps, de même qu'à un plus grand risque de gel printanier. Bien que les travaux de Lauer aient été réalisés au Wisconsin, les dates de semis au Québec pour le maïs demeurent sensiblement les mêmes que celles de cet État américain.

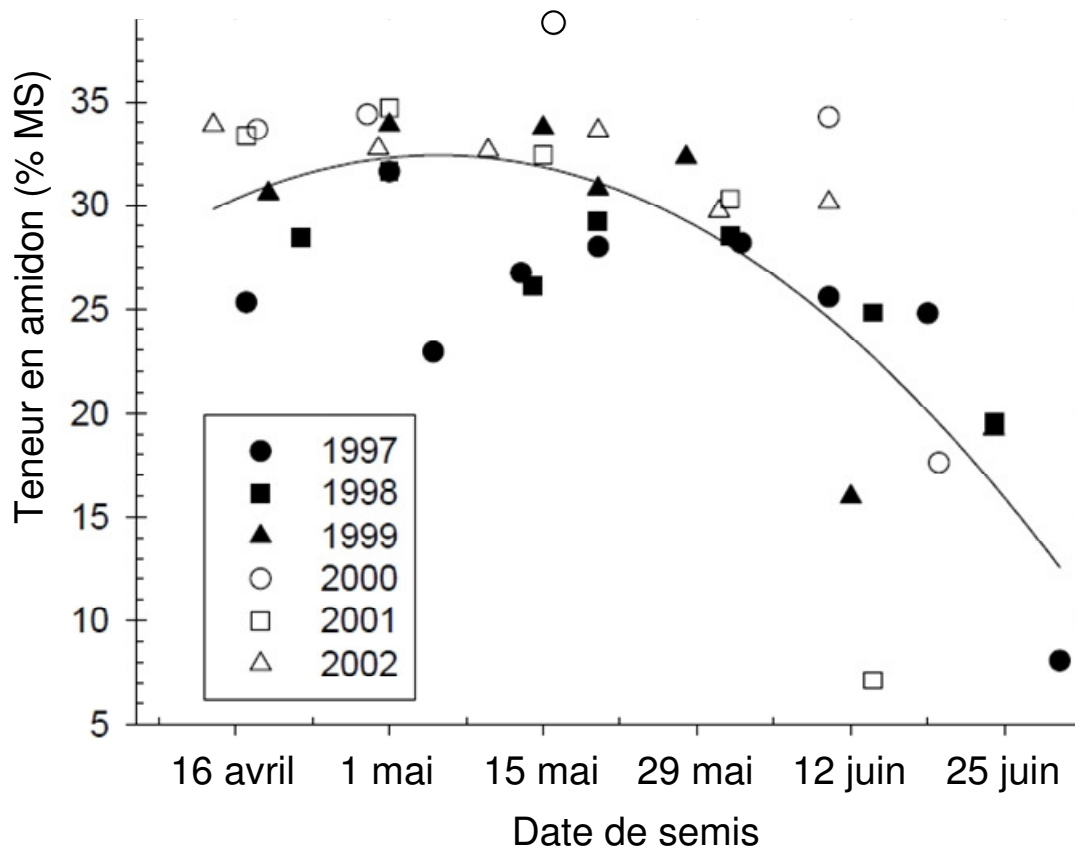


Figure 5. Influence de la date de semis sur la teneur en amidon de l'ensilage de maïs cultivé au Wisconsin (Lauer, 2007)

Densité de semis et espacement entre les rangs

Le maïs-grain est généralement semé à une dose permettant d'obtenir de 64 000 à 74 000 plants par hectare (26 000 à 30 000 plants/acre). On recommande d'augmenter la dose de 10 % pour l'ensilage de maïs, soit de 70 000 à 81 000 plants par hectare (29 000 à 33 000 plants/acre). Puisque le taux de germination n'est jamais de 100 %, il faut généralement augmenter la dose de 10 % si le maïs est semé tôt en saison lorsque le sol est frais et de 5 % s'il est semé dans des conditions idéales de température de sol (OMAFRA, 2009).

Des expériences récentes ont été réalisées par des chercheurs du Centre de recherche de Lacombe dans le centre-nord de l'Alberta et de celui de Lethbridge au sud de cette même province. L'étude réalisée en région à courte saison de végétation (2 000 UTM), sur une période de quatre ans, démontre qu'il est intéressant d'accroître la dose de semis pour obtenir plus de rendement (+13 %) en zone d'UTM faible (Figure 6). Concernant l'effet de l'espacement entre les rangs, une augmentation globale du rendement de seulement 4 % est obtenue pour un

espacement étroit de 38 cm (15 po) comparativement à une largeur plus standard entre les rangs de 76 cm (30 po) (Figure 6). La digestibilité des fibres n'a pas été modifiée par l'accroissement de la dose de semis ou par la diminution de l'espacement entre les rangs.

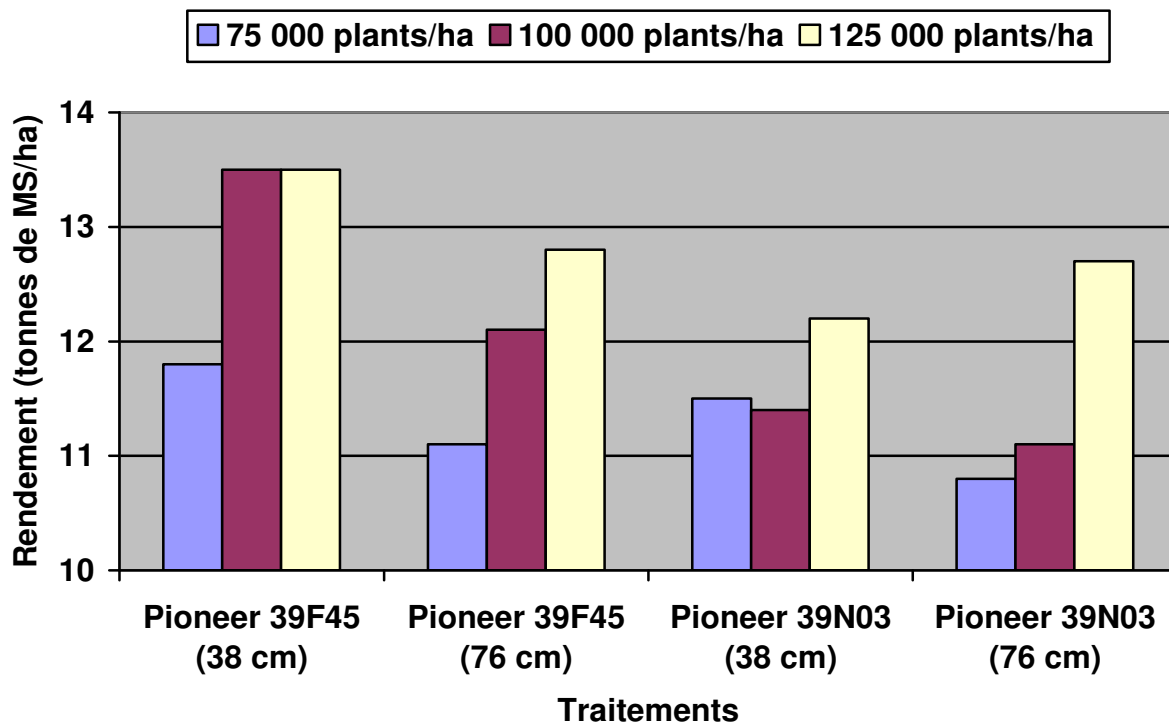


Figure 6. Influence de la dose de semis (75 000, 100 000 ou 125 000 plants/ha), de l'écartement des rangs (38 ou 76 cm) et de l'hybride (Pioneer 39F45 ou Pioneer 39N03) sur le rendement du maïs fourrager cultivé dans une zone de 2 000 UTM en Alberta (Baron et coll., 2006)

L'étude réalisée par Beres et coll. (2008) en climat plus chaud a été menée dans trois localités (2 200 à 2 400 UTM) près de Lethbridge. Un hybride commercial a été semé pour obtenir cinq niveaux de populations (55 000, 64 000, 71 000, 79 000 et 90 000 plants/ha) en rangs étroits (38 cm ou 15 po) ou conventionnels (75 cm ou 30 po). Le rendement obtenu pour cet hybride avec le peuplement le plus faible (55 000 plants/ha ou 22 000 plants/acre) a été significativement plus faible qu'avec les quatre autres populations (Figure 7). On ne note pas de hausse de rendement pour les semis permettant d'obtenir de 64 000 plants/ha (26 000 plants/acre) à 90 000 plants/ha (36 000 plants/acre). Il n'y a pas eu de différence de rendement observée pour un espacement différent entre les rangs. L'espacement entre les rangs n'a pas eu d'effet significatif sur la digestibilité des fibres NDF de l'ensilage. La valeur alimentaire n'a pas été influencée par la dose de semis de cet hybride.

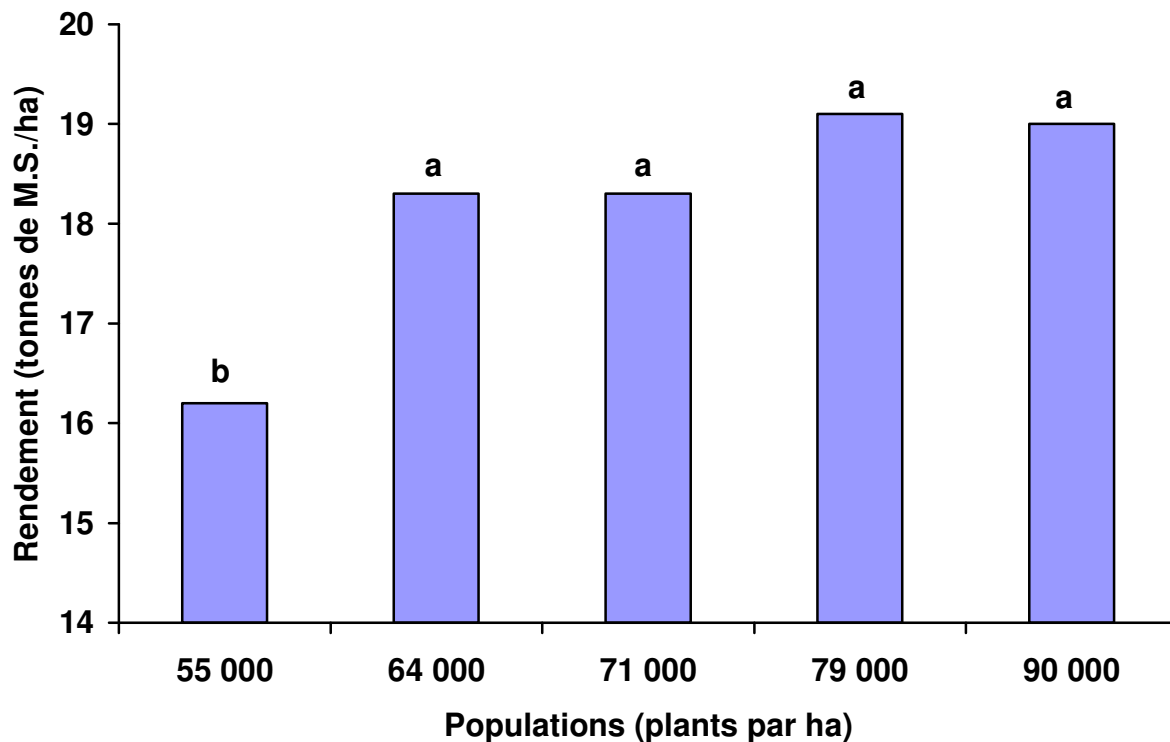


Figure 7. Influence de la densité de population du maïs fourrager cultivé dans une zone de 2 200 à 2 400 UTM (Beres et coll., 2006). Les valeurs moyennes associées à une lettre différente sont significativement différentes à $P < 0,05$.

La conclusion d'une étude réalisée plus au sud, dans l'État du Wisconsin, soit sous un climat qui ressemble davantage à celui du sud du Québec, suggère de viser une densité de population variant entre 75 000 et 85 000 plants par hectare (30 000 à 34 000 plants/acre), ce qui ressemble aux recommandations de l'Ontario. Dans cette étude, la digestibilité de l'ensilage avait tendance à diminuer lorsque le nombre de plantules par hectare augmentait (Cusicanqui et Lauer, 1999). L'étude de Cox et coll. (2001) effectuée à des niveaux de population variant entre 66 000 et 84 000 plants par hectare dans l'État de New York démontre que les rendements sont accrus deux années sur trois par un accroissement du nombre de plantules par hectare. La digestibilité totale de la matière sèche est légèrement plus faible avec la dose de semis plus élevée, deux années sur trois, mais la digestibilité des fibres NDF n'est pas affectée par l'accroissement de la dose de semis. Les hybrides utilisés dans cette expérience étaient de type à deux fins, transgéniques, BMR et feuillus. Dans une autre étude réalisée au Wisconsin par Bal et coll. (2000), la densité de population (59 000 ou 79 000 plants par ha) n'a

pas eu d'effet sur la production de lait corrigé à 4 % de matière grasse pour les deux hybrides (feuillu et à deux fins) utilisés dans cette expérience. Les données de ces cinq études ainsi que celle de Cox et Cherney (2001) permettent de confirmer que les recommandations de l'Ontario (OMAFRA, 2009) quant au nombre de plantules par hectare ciblé sont adéquates. Par contre, il serait intéressant de vérifier l'impact de la dose de semis sur les rendements et la valeur nutritive de l'ensilage de maïs dans diverses conditions climatiques du Québec.

Fertilisation

La fertilisation azotée recommandée par le CRAAQ (2003) est de 120 à 170 kg d'azote par hectare, dont 20 à 50 kg devant être appliqués au printemps. Ces recommandations sont basées sur des résultats obtenus avec la culture du maïs-grain, car il existe très peu de recherches au Québec sur la fertilisation du maïs ensilage. Il ne faudrait pas passer sous silence dans cette section le contrôle des mauvaises herbes, car celui-ci a une influence considérable sur le rendement de la plante. Plus le contrôle est effectué tardivement, plus la quantité d'azote utilisée par les mauvaises herbes est importante, et plus le rendement en maïs fourrager est affecté.

Une étude a été effectuée (Lawrence et coll., 2008) sur 13 fermes laitières et trois stations de recherche de l'État de New York pour vérifier l'impact d'un épandage d'azote au printemps sur le rendement et la qualité de l'ensilage de maïs. L'étude rapporte que l'ajout d'un engrais de démarrage (34 kg d'azote par ha) est suffisant au printemps pour une culture d'ensilage de maïs qui suit un labour d'automne d'une prairie de légumineuses et de graminées. L'application d'azote additionnelle n'a pas permis d'accroître les rendements ou la digestibilité de l'ensilage de maïs. La protéine brute de l'ensilage était respectivement de 7,1 et 7,8 % MS à la suite de l'application de 0 et 156 kg d'azote/ha. La cause d'une si faible augmentation de la concentration en protéine de l'ensilage est un lessivage important de l'azote appliqué, puisque seulement 15 % de cet azote s'est retrouvé incorporé dans la plante. L'azote fourni par la culture précédente était suffisant pour combler les besoins du plant de maïs de l'année en cours.

Lorsque l'ensilage de maïs est cultivé sur un retour de céréales, l'application des normes de fertilisation du CRAAQ (2003) est suffisante. Cox et Cherney (2001) ainsi que Sheaffer et coll. (2006) ont démontré que ces normes étaient adéquates et qu'il n'était pas avantageux de les dépasser. L'accroissement de la quantité d'azote appliquée n'a pas eu d'influence sur la

digestibilité des fibres NDF dans l'expérience de Cox et Cherney (2001). Puisque la réponse à l'azote varie beaucoup en fonction du sol et des conditions environnementales, il serait essentiel de valider cette information pour avoir des normes plus précises et mieux adaptées aux conditions de sol et d'environnement du Québec.

Sa récolte et sa conservation

Stade de récolte

Lorsque le stade pâteux mou du grain de maïs est atteint, la plante entière a une teneur moyenne en matière sèche d'environ 25 %. Il est encore beaucoup trop tôt pour récolter l'ensilage de maïs (Undersander et Carter, 1992). La ligne d'amidon est le point de séparation entre la partie solide du grain qui est amylacée et celle qui est laiteuse. Elle apparaît au début du stade denté, au sommet du grain puis elle descend avec l'avancement en maturité. Le stade idéal de récolte se situe entre $\frac{1}{4}$ à $\frac{2}{3}$ de la ligne d'amidon du grain de maïs (Tableau 4). Une expérience effectuée à Ottawa par Ma et coll. (2001) avec l'utilisation de cinq hybrides différents récoltés sur quatre années consécutives démontre que 85 % du rendement total était atteint lorsque la plante avait une teneur moyenne en matière sèche d'environ 35 %.

La ligne d'amidon n'est pas un indicateur très précis de l'humidité du plant de maïs, mais elle peut toutefois être utilisée comme guide de référence pour commencer la vérification de l'humidité des plants de maïs d'un champ en particulier (Tableau 4). Ainsi, le plant de maïs contient environ 30 à 32 % de matière sèche lorsque la ligne d'amidon est au quart supérieur du grain. À ce stade, c'est habituellement le temps de commencer l'échantillonnage au champ pour vérifier la teneur en humidité des plants si on prévoit entreposer son ensilage dans un silo conventionnel (Tableau 5). Pour plus de détails sur la technique d'échantillonnage, le lecteur peut se référer au feuillet sur l'ensilage de maïs inclus dans le guide *Les bovins laitiers* publié par le CRAAQ (2008).

Tableau 4. Composition et performance laitière pour un hybride de maïs récolté à quatre stades différents du développement du grain (Bal et coll., 1997)

STADE DE MATURITÉ	ENSILAGE DE MAÏS*				RATION COMPLÈTE		
	M.S. (%)	PROTÉINE (% MS)	NDF (% MS)	AMIDON (% MS)	DIGESTIBILITÉ (%)		LAIT (kg/j)
					ADF	AMIDON	
Début denté	30,1	7,5	52,0	18,2	45,7 ^a	94,1 ^a	32,4 ^b
¼ ligne d'amidon	32,4	7,3	44,4	28,7	38,3 ^b	92,9 ^{ab}	32,6 ^{ab}
⅔ ligne d'amidon	35,1	7,1	40,5	37,2	33,6 ^c	92,2 ^b	33,4 ^a
Point noir	42,0	7,0	41,3	37,4	29,4 ^d	87,7 ^c	32,7 ^{ab}

^{a,b,c,d} Dans une même colonne, les moyennes suivies d'une lettre différente (a, b, c ou d) sont significativement différentes à P < 0,05.

* Il n'y a pas eu d'analyses statistiques réalisées sur la composition de l'ensilage de maïs.

Le début du stade denté du grain de maïs apparaît entre 35 et 42 jours après le début de la sortie des soies. Tel que le démontre la figure 8, la récolte devrait débuter aux alentours de 42 jours après l'apparition des soies lorsque l'ensilage est entreposé en silo couloir (à 65-70 % d'humidité) et se terminer aux environs de 65 jours lorsqu'il est entreposé en silos à atmosphère contrôlée (à 55-60 % d'humidité) (Figure 8, Tableau 5). Il est donc important de noter la date d'apparition des soies afin d'anticiper la date de la future récolte.

Un plant récolté trop tôt occasionne des pertes par écoulement qui endommagent la structure d'entreposage et polluent l'environnement. De plus, un ensilage trop humide (< 30 % MS) fermente intensément et devient très acide, ce qui entraîne une réduction de la consommation des animaux. En revanche, un ensilage trop sec (> 40 % MS) est plus difficile à hacher uniformément et à compacter, et contient moins de sucres solubles qu'un ensilage plus humide. Tous ces facteurs font qu'il fermente plus difficilement, ce qui peut favoriser la prolifération des moisissures et levures. Ce type d'ensilage est généralement moins digestible, peut contenir des mycotoxines et est moins bien consommé qu'un ensilage récolté à une humidité adéquate. Le plant de maïs, comme celui de luzerne et de fléole des prés, diminue en digestibilité et en protéines avec l'avancement de la maturité (Tableau 4).

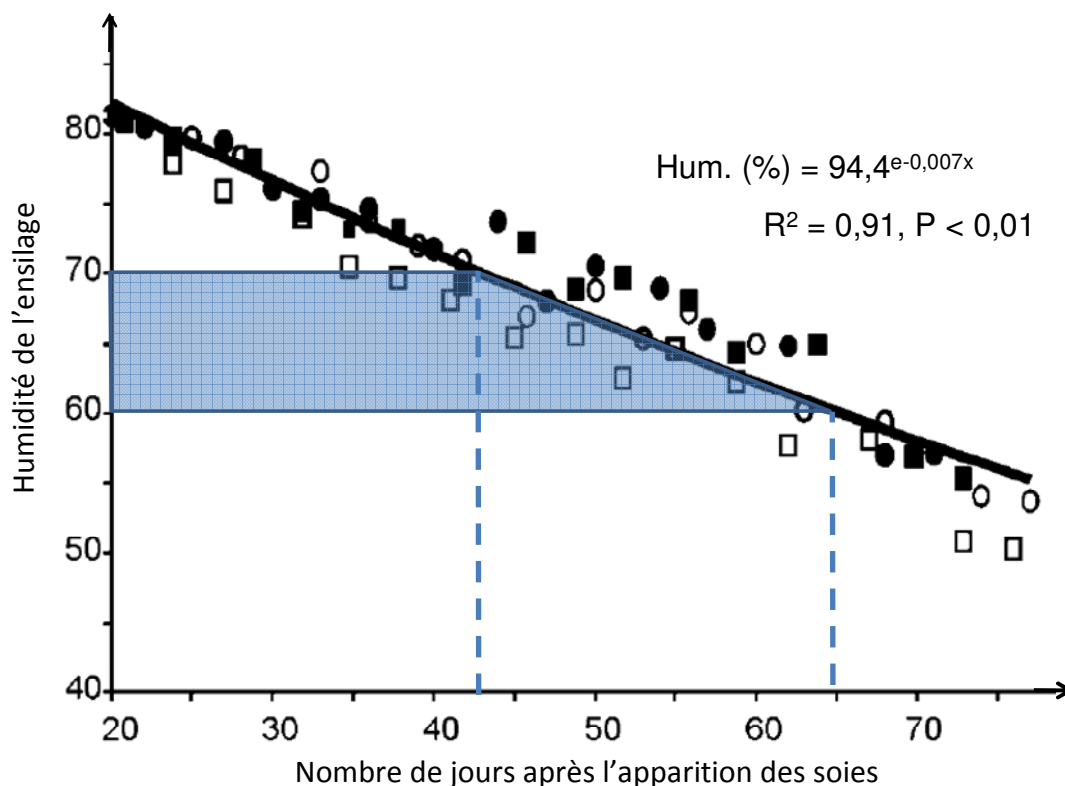


Figure 8. Évolution de la teneur en humidité de l'ensilage de maïs (%) en fonction du nombre de jours après l'apparition des soies chez quatre hybrides différents (■ TMF94 □ Pioneer 37M81 ○ N.K. Enerfeast ● Maizex Leafy 4) cultivés à Ottawa en 2001 (Ma et coll., 2006)

Basé sur les résultats de trois études, le tableau 5 présente les teneurs en matière sèche recommandées à la récolte du maïs en fonction de la structure d'entreposage utilisée. Il est préférable de se rapprocher de la limite supérieure pour les silos tours élevés et de grand diamètre pour éviter les pertes par écoulement (Holmes, 2005).

Il est important de choisir des hybrides adaptés à la localité de production afin qu'ils atteignent le stade optimal de récolte avant les premières gelées automnales. Un délai dans la récolte du maïs fourrager au-delà du premier gel cause généralement une diminution du rendement et de la valeur nutritive du fourrage qui se traduirait, dans une région du Québec à moins de 2 300 UTM, par une baisse de la production laitière estimée à environ 2,3 kg de lait par tonne de matière sèche d'ensilage de maïs par jour de retard (Drapeau et coll., 2002). Cela représente une perte de tout près de 2 300 kg de lait pour un silo d'ensilage de maïs à 35 % de matière

sèche de 5,5 m (18 pi) de largeur sur 24,4 m (80 pi) de hauteur pour un retard de récolte de 7 jours après un premier gel.

Tableau 5. Teneur en matière sèche visée à la récolte du maïs en fonction de la structure d'entreposage utilisée. L'évolution de la ligne d'amidon du grain peut être utilisée pour estimer le moment où on doit commencer l'échantillonnage pour mesurer la teneur en matière sèche du plant (Jones et coll., 2004; Bittman et Kowalenko, 2004; Holmes, 2005)

Structure d'entreposage	Matière sèche visée (%)	Ligne d'amidon pour débuter l'échantillonnage
Silo couloir	30 à 35	Début ligne d'amidon
Silo tube	30 à 40	¼ ligne d'amidon
Silo tour	33 à 40	¼ ligne d'amidon
Silo à atmosphère contrôlée	40 à 45	½ ligne d'amidon

Hauteur de coupe, longueur de hachage et roulage du maïs fourrager

La longueur de hachage du maïs fourrager affecte sa fermentation et sa conservation. Cette longueur de hachage doit aussi être suffisante pour maintenir le bon fonctionnement du rumen de la vache.

La longueur de hachage théorique (LHT) recherchée avec l'utilisation d'une fourragère conventionnelle est d'environ 10 mm (3/8 po) (Tableau 6). Il est très important que les couteaux de la fourragère soient très bien aiguisés pour ne pas déchiqueter le fourrage. Une LHT plus courte que 6 mm (¼ po) est préférable lorsque le plant de maïs est plus sec (38 % de matière sèche et plus) afin d'améliorer la compaction de l'ensilage pour en chasser l'air en plus d'éviter la présence importante de grains ronds ou de bouts de rafle dans l'ensilage.

Pour les fourragères possédant des rouleaux craqueurs, une LHT variant entre 13 et 19 mm (½ à ¾ po) est préférable pour assurer suffisamment de fibres efficaces dans la ration des vaches laitières. Plus le matériel est sec, plus la longueur de hachage devrait se rapprocher de 13 mm (½ po) et plus il est humide, plus elle devrait s'approcher de 19 mm (¾ po). La distance entre les rouleaux devrait osciller entre 1 et 3 mm (1/16 et 1/8 po) pour effectuer un bon

conditionnement du fourrage. Pour plus de sécurité, il convient de se rapporter aux normes du fabricant de la fourragère. Plus le fourrage est sec et mature, plus les rouleaux doivent être rapprochés. Une étude réalisée dans l'État de Géorgie par Cooke et Bernard (2005) démontre qu'un écartement trop élevé entre les rouleaux (8 mm versus 2 mm) réduit la digestibilité de l'ensilage de maïs. Cette étude révèle aussi que plus la LTH est élevée, plus l'espacement entre les rouleaux doit être réduit, sinon la production laitière des vaches diminue. Une bonne règle du pouce pour s'assurer d'un conditionnement adéquat est de vérifier qu'il y a plus de 90 à 95 % des grains endommagés ou écrasés par les rouleaux et qu'il n'y a pas de roulettes entières de rafle dans l'ensilage (Kung, 2008b). L'utilisation d'un tamis de type « Penn State Forage Particle Separator » après avoir récolté une boîte d'ensilage permet de vérifier si le degré de conditionnement des grains et des rafles, de même que la longueur des particules de fourrage sont adéquats (Heinrichs et Kononoff, 2002). Si l'ensilage de maïs est l'unique fourrage de la ration, par exemple, il doit avoir un minimum de 8 % de particules de plus de 19 mm ($\frac{3}{4}$ po) dans le tamis du haut de cet appareil (Heinrichs et Kononoff, 2002).

Tableau 6. Longueur de hachage théorique (LHT) recommandée en fonction du conditionnement et du stade de maturité à la récolte du maïs fourrager (Holmes, 2005)

Présence de rouleaux craqueurs sur la fourragère	Stade de maturité	LHT mm (po)
Sans	$\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ ligne d'amidon	10 ($\frac{3}{8}$)
Avec	$\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ ligne d'amidon	13 à 19 ($\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$)
Sans	$\frac{1}{2}$ ligne d'amidon au point noir	6 ($\frac{1}{4}$)
Avec	$\frac{1}{2}$ ligne d'amidon au point noir	13 à 19 ($\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$)

L'utilisation d'une fourragère munie de rouleaux craqueurs pour conditionner le fourrage de maïs permet d'améliorer la digestibilité de l'ensilage, et ce, surtout lorsqu'il est récolté à un stade de maturité avancé (Figure 9). La diminution de l'humidité du grain, l'augmentation de la proportion d'endosperme vitreux par l'encapsulation des granules d'amidon dans une matrice de protéines insolubles au cours du processus de maturation jusqu'à l'atteinte du stade point noir causent une diminution de la digestibilité du grain de maïs (Weiss et Firkins, 2007). Le conditionnement de l'ensilage désorganise cette dense matrice d'endosperme vitrifiée et rend l'amidon disponible pour être digéré par les enzymes des microbes du rumen. Lorsque le maïs fourrager est récolté à un stade de maturité plus avancé ($\frac{2}{3}$ et plus de la ligne d'amidon), sa

digestibilité totale et donc sa teneur en énergie nette de lactation diminuent moins rapidement si l'ensilage est conditionné avec des rouleaux craqueurs en raison d'une augmentation de 5 à 10% de la digestibilité de l'amidon du grain de maïs occasionnée par ce traitement. Ce n'est pas le cas si on utilise une fourragère sans rouleau craqueur (Figure 9). L'ensilage de maïs conditionné se compacte plus facilement, réduisant les pertes de matière sèche lors de la fermentation et augmentant la capacité d'entreposage du silo (Bittman et Kowalenko, 2004).

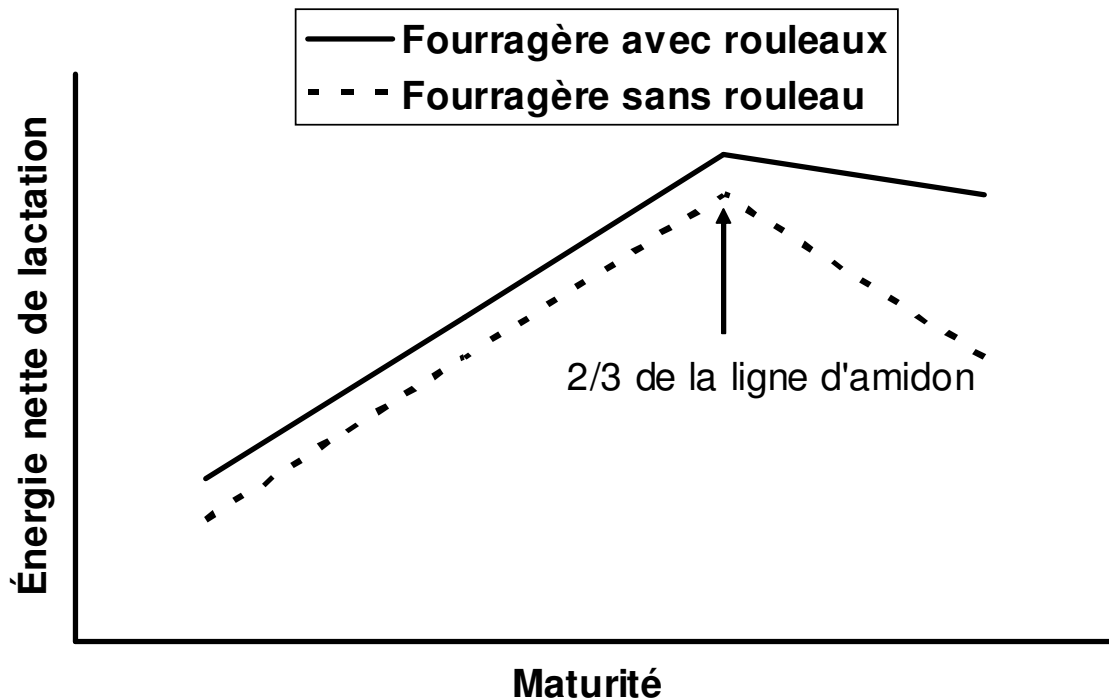


Figure 9 Relation entre la maturité du grain de maïs et l'énergie de l'ensilage de maïs récolté à l'aide d'une fourragère munie ou non de rouleaux craqueurs (Bittman et Kowalenko, 2004)

Dans l'étude réalisée par Ebling et Kung (2004) dans l'État du Delaware, le conditionnement de l'hybride BMR a amélioré la digestibilité de l'amidon de l'ensilage comparativement à l'hybride BMR non conditionné. Les chercheurs ont aussi noté une tendance à l'amélioration de la production de lait lorsque l'hybride BMR était conditionné comparativement au BMR non conditionné, tout en n'affectant pas les composants du lait. Dans une autre étude réalisée par Schwab et coll. (2002) au Wisconsin, la production de lait n'a pas été améliorée par le conditionnement de l'ensilage de type BMR comparativement au même ensilage non conditionné. La matière grasse du lait ainsi que la digestion des fibres de la ration ont même diminué lorsque l'ensilage était conditionné comparativement à celui qui ne l'était pas. L'auteur

mentionne que la digestibilité accrue de l'amidon de la ration contenant l'hybride BMR conditionné a perturbé l'environnement du rumen occasionnant cette baisse du taux de gras du lait. Lors de l'équilibre de la ration en fibres efficaces et en amidon, il faut donc être prudent avec les hybrides de type BMR conditionnés.

Dans la dernière édition du « Nutrient Requirement of Dairy Cattle » (NRC, 2001), un facteur d'ajustement de la digestibilité des hydrates de carbone non structuraux a été proposé pour mesurer l'effet lié au conditionnement des aliments contenant une bonne proportion d'amidon, comme l'ensilage de maïs. Par contre, puisqu'il n'existe pas de moyen de mesurer ce facteur, il n'est pas vraiment utilisé lors de la formulation des rations des bovins. Pour pallier cette situation, les chercheurs du « US Dairy Forage Research Center » (Madison, WI) ont développé une méthode de laboratoire appelée « Kernel Processing Score (KPS) » et qui peut être utilisée pour évaluer la qualité du conditionnement du grain dans l'ensilage de maïs (Shaver, 2006). Les chercheurs de l'Université du Wisconsin ont aussi développé une méthode enzymatique appelée « Degree of Starch Access (DSA) ». Cette procédure aurait un bon niveau de précision pour évaluer la digestibilité de l'amidon contenu dans l'ensilage de maïs lorsque la grosseur des particules ou l'humidité de l'ensilage varient, ainsi que son contenu en amidon vitrifié (Blasel et coll., 2006). Dans la dernière version de « Milk2006 », ces deux méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la digestibilité de la fraction amidon de l'ensilage de maïs ainsi que les méthodes de digestibilité *in situ* ou *in vitro* (IS-IV) utilisées par certains laboratoires. Ces méthodes permettent d'évaluer avec plus de précision la digestibilité de l'ensilage de maïs. Dans l'éventualité de l'implantation d'un programme de testage d'hybrides au Québec, il serait intéressant de vérifier l'intérêt d'utiliser ces méthodes pour les producteurs laitiers du Québec.

Lors de la fauche du maïs, il peut s'avérer intéressant de couper à 47,5 cm (18,7 po) de hauteur, plutôt qu'à 17,5 cm (6,9 po), afin de récolter moins de tiges et un fourrage contenant ainsi plus d'énergie. Wu et Roth (2005) de l'Université de Pennsylvanie ont regroupé les données de 11 études et les résultats sont résumés au tableau 7. Une fauche haute prive le producteur d'environ 7 % de rendement (base matière sèche). Cependant, la matière sèche récoltée est plus digestible en raison de la présence de plus d'amidon (+ 6 %) et d'une digestibilité accrue de la partie fibreuse de ce fourrage (+ 5 %). Des études ont démontré que la production laitière et les composants du lait étaient similaires chez des vaches alimentées avec le maïs ensilage fauché bas ou haut lorsque les rations étaient équilibrées pour contenir un même niveau de fibres NDF. Dans ces expériences, on a ajouté plus de grains à la ration totale

contenant du maïs fourrager fauché bas comparativement à celle contenant du maïs fourrager fauché haut. Il est donc bénéfique d'utiliser cette pratique pour autant qu'on utilise une alimentation plus riche en fourrage avec le maïs fauché haut. La fauche haute peut aussi être intéressante lors d'années de sécheresse afin d'éviter de récolter la partie de la plante où s'accumulent les nitrates en période de stress et d'éviter ainsi l'entreposage d'un ensilage de maïs problématique. Cette pratique permet aussi de pallier la baisse d'énergie de l'ensilage de maïs lors d'années pluvieuses.

Dans une étude publiée en 2008 et effectuée dans l'État du Delaware, Kung et coll. ont comparé un hybride BMR avec un hybride feuillu de la même compagnie qui était soit coupé à une hauteur standard se situant entre 10 et 15 cm (4 et 6 po), soit coupé à une hauteur variant entre 45 et 50 cm (18 et 20 po). La production quotidienne de lait a été en moyenne de 48,8 kg chez les vaches nourries avec l'hybride BMR, de 46,8 kg pour l'hybride feuillu coupé court et de 47,7 kg pour l'hybride feuillu coupé plus haut. L'étude a démontré qu'il n'était pas possible d'obtenir une production de lait similaire à l'hybride BMR, même en coupant plus haut l'hybride feuillu de cette expérience.

Tableau 7. Teneur moyenne en nutriments de l'ensilage de maïs dont la tige a été fauchée à 17,5 cm (6,9 po) ou 47,5 cm (18,7 po) du sol (résumé de 11 études; Wu et Roth, 2005)

Paramètre	Fauche basse (17,5 cm)	Fauche haute (47,5 cm)
Matière sèche (%)	38,1	40,3
Protéine brute (% MS)	7,0	7,1
Fibres NDF (% MS)	41,6	38,6
Amidon (% MS)	30,6	32,4
Digestibilité des fibres NDF (% de NDF)	50,6	54,0
Rendement (tonnes de MS/ha)	18,2	16,8
Énergie nette de lactation (Mcal/kg MS)	1,56	1,63

Inoculant et conservateur

Des additifs peuvent être ajoutés au fourrage lors de la récolte, de concert avec une bonne gestion du processus de récolte et d'entreposage. Ceux-ci peuvent améliorer la qualité de conservation, aider à préserver l'intégrité des nutriments, augmenter le contenu en azote dans le cas de l'urée ou de l'ammoniaque, diminuer les pertes de matière sèche du fourrage et parfois même accroître la performance des animaux.

Lors de la récolte du maïs fourrager, la surface de la plante est recouverte d'une grande variété de micro-organismes. Cependant, seule une petite fraction de ces organismes produit surtout de l'acide lactique (les bactéries homofermentaires). Ces bactéries sont les plus efficaces pour abaisser rapidement le pH de l'ensilage, atteindre le pH de stabilité, préserver une partie des sucres et réduire la dégradation des protéines du fourrage. En ajoutant ce type de bactéries au fourrage lors de la récolte, la fermentation est activée rapidement, ce qui contribue à réduire considérablement la croissance de plusieurs espèces de microbes indésirables. Il faut cependant retenir que l'acide lactique n'a pas de propriétés antifongiques (Kung, 2008a). Il est donc nécessaire de s'assurer de l'étanchéité du silo en plus de prélever correctement et suffisamment d'ensilage chaque jour afin d'éviter sa détérioration (Tableau 9).

Il existe aussi d'autres souches de bactéries lactiques, dites hétérolactiques ou hétérofermentaires, qui produisent, en plus de l'acide lactique, de l'acide acétique et d'autres produits pouvant aider à maintenir la stabilité de l'ensilage exposé à l'air dans le silo et lors de son séjour dans la mangeoire. *Lactobacillus buchneri* est une de ces espèces; elle effectue ce type de fermentation et on la retrouve dans plusieurs produits commerciaux. Ces bactéries convertissent une partie de l'acide lactique produit lors de la fermentation en acide acétique qui est un puissant inhibiteur des levures et moisissures, lesquelles détériorent l'ensilage lorsqu'il est exposé à l'air ambiant. Sur le marché, il est possible de trouver des produits combinant des bactéries homolactiques et hétérolactiques dans un même produit. L'utilisation de ce type d'inoculant est recommandée pour les ensilages servis au cours de l'été et qui ont tendance à chauffer plus facilement en raison de la température ambiante élevée, de même que pour les ensilages dont la quantité quotidienne prélevée n'est pas tout à fait suffisante pour empêcher sa détérioration (Kung, 2006). Cependant, cette bactérie nécessite un à deux mois après la mise en silo pour produire une quantité d'acide acétique suffisante pour inhiber les microbes indésirables (Feedstuff, 2004). Pour contrer cet inconvénient, il est donc souhaitable d'utiliser

un autre additif dans les premiers mètres du silo, tel que l'acide propionique tamponné qui convient parfaitement pour stabiliser l'ensilage de maïs.

Pour assurer une inoculation efficace du fourrage, il est suggéré d'appliquer une quantité adéquate de *Lactobacillus buchneri* (Tableau 8; Kleinschmit et Kung, 2006). Pour réaliser les bénéfices associés à ces technologies, les normes d'étiquetage du fabricant doivent être respectées. Lorsque le fourrage est entreposé en silo couloir, l'application de l'inoculant doit se faire à la fourragère afin d'assurer une distribution plus homogène du produit. Pour les silos tours, l'application au souffleur est acceptable, sauf si la distance entre le chantier de récolte et le silo est grande. Plus les bactéries inoculées sont activées rapidement, plus il y a accroissement de leur potentiel de compétition avec les autres bactéries néfastes déjà présentes dans le fourrage.

Tableau 8. Impact de la dose appliquée de *Lactobacillus buchneri* sur différents paramètres de fermentation et de conservation de l'ensilage de maïs (Kleinschmit et Kung, 2006).

Paramètres mesurés	Sans inoculant	<i>Lactobacillus buchneri</i> (UFC/g)*	
		≤100 000	>100 000
Matière sèche (%)	30,7 ^a	30,7 ^a	30,7 ^a
pH	3,70 ^a	3,75 ^b	3,88 ^c
Acide lactique (% MS)	6,59 ^a	5,87 ^b	4,79 ^c
Acide acétique (% MS)	2,18 ^a	2,63 ^b	3,89 ^c
Matière sèche récupérée (%)	95,5 ^a	95,5 ^a	94,5 ^b
Levure (log UFC/g)	4,18 ^a	3,10 ^b	1,88 ^c
Stabilité aérobie (heures)	25 ^a	35 ^b	503 ^c

^{a,b,c} Pour un critère donné, les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent à un seuil de P < 0,05.

* UFC : Unités formatrices de colonie

L'addition d'azote non protéique (ammoniacque ou urée) à l'ensilage de maïs peut aussi s'avérer intéressante. Puisque ces produits ont généralement une forme chimique qui se rapproche de l'ammoniacque (NH₃), la flore du rumen les utilise efficacement comme source d'azote pour produire de la protéine microbienne. L'utilisation de ces produits convient parfaitement à l'ensilage de maïs en raison de sa faible teneur en protéines et de sa richesse en glucides

rapidement fermentescibles (sucres). Il faut cependant être prudent avec le maïs fourrager ayant subi une sécheresse ou ayant été fortement fertilisé à l'azote. Le maïs cultivé dans ces conditions peut en effet contenir des teneurs élevées en nitrates, lesquels peuvent nuire à la santé de la vache. L'addition d'azote non protéique à ce type de maïs fourrager ne ferait qu'envenimer la situation.

Au moment de la mise en silo, le fourrage de maïs a un pH d'environ 5,9. L'addition d'ammoniaque ou d'urée au fourrage de maïs entraîne un accroissement du pH; après un traitement à l'ammoniaque par exemple, le pH du fourrage se situe à des niveaux de 8,5 à 9,0. La présence d'ammoniaque, associée à un pH élevé en début de fermentation, est toxique pour les levures, moisissures et plusieurs bactéries présentes sur la plante au moment de la récolte. L'ajout d'ammoniaque a donc un effet non négligeable sur la stabilité de l'ensilage durant l'entreposage. Cependant, elle tend à perdre son effet de conservation avec le temps, surtout si l'ensilage est exposé de façon prolongée à l'air ambiant et que le prélèvement quotidien est insuffisant. L'ammoniaque ne réduit cependant pas les mycotoxines déjà présentes sur la plante ensilée; d'autres mesures peuvent être prises afin d'éviter les toxines dans l'ensilage (Tremblay et coll., 2005b). L'ajout d'urée entraîne une hausse de pH moins subite et il est moins efficace que l'ajout d'ammoniaque pour réduire les organismes responsables de la détérioration de l'ensilage (moins bonne stabilité durant l'entreposage).

L'ammoniaque, tout comme l'urée, est aussi connue pour occasionner le bris des liens entre l'hémicellulose et d'autres composantes des parois cellulaires, améliorant ainsi la digestibilité des fibres. L'ammoniaque inactive les enzymes protéolytiques présentes dans la plante fraîchement coupée ou diminue l'activité de ces mêmes enzymes via l'augmentation du pH causée en début de fermentation. Ceci aurait pour effet de préserver intacte une partie des protéines de l'ensilage de maïs. L'ensilage de maïs traité à l'ammoniaque a, après fermentation, un pH final de 0,1 à 0,2 unité plus élevé qu'un ensilage sans ammoniaque et il contient moins de sucres solubles, car plus de sucres ont dû être utilisés pour réduire le pH de cet ensilage (Muck et Kung, 1997).

L'ammoniaque aqueuse est plus sécuritaire à utiliser que la forme gazeuse (anhydre). Cependant, peu importe la forme d'ammoniaque, des précautions s'imposent au moment de son utilisation. Ces produits constituent un danger potentiel pour l'utilisateur qui les manipule de

même que pour les animaux qui peuvent être incommodés par les vapeurs d'ammoniaque qui se dégagent de la chute du silo.

Recouvrement et prélèvement

En plus de récolter le fourrage au bon stade de maturité, à une teneur en matière sèche adéquate, et de le hacher correctement, trois autres points-clés permettent de réussir un ensilage de qualité :

1. La compaction rapide et intensive du fourrage en silo couloir, ou la distribution uniforme du fourrage dans le silo vertical et le silo tube pour assurer l'exclusion de l'air et la fermentation rapide de l'ensilage.
2. Le recouvrement étanche et rapide du fourrage, effectué à l'aide d'un plastique appliqué la journée de la récolte, est essentiel pour amorcer rapidement la fermentation dans le silo couloir, le silo tube ou le silo tour.
3. Il est important de prévenir le contact prolongé de l'ensilage avec l'air en prélevant suffisamment d'ensilage chaque jour (Tableau 9). On recommande aussi de faire une tournée régulière pour réparer les trous dans les plastiques du silo couloir et du silo tube.

De plus, le prélèvement de l'ensilage dans un silo couloir ou un silo tube doit être réalisé adéquatement afin de ne pas perturber une trop grande surface de prélèvement et ainsi éviter la pénétration en profondeur de l'oxygène dans l'ensilage. Des pneus ou des sacs de gravier facilement manipulables doivent être disposés en abondance sur le plastique recouvrant le silo. Ceci permet d'éviter les infiltrations d'air et de prévenir la détérioration de l'ensilage.

Tableau 9. Épaisseur minimale d'ensilage à prélever quotidiennement selon le type d'entreposage et la température extérieure (Jones et coll., 2004)

Type de silo	Température ambiante inférieure à 4 °C	Température ambiante supérieure à 4 °C
Silo tour	7,5 cm (3 po)	10 cm (4 po)
Silo couloir	10 cm (4 po)	15 cm (6 po)
Silo tube	10 cm (4 po)	15 cm (6 po)

Un nouveau type de plastique transparent de 0,045 mm (2 mil) d'épaisseur ayant un très faible taux de pénétration à l'oxygène, soit un vingtième des plastiques standards de 0,15 et 0,20 mm

(6 ou 8 mil) d'épaisseur, a fait son apparition dernièrement sur le marché nord-américain. Plusieurs études européennes et américaines ont démontré que ce plastique diminuait les pertes dans les 30 premiers cm (1 pi) d'ensilage. La qualité du fourrage localisé tout près des murs du silo couloir est particulièrement améliorée avec ce type de plastique (Muck, 2008). Des chercheurs italiens (Borreani et coll., 2007; Borreani et Tabacco, 2008) ont démontré que ce plastique pouvait prévenir l'infiltration d'air en périphérie du silo couloir et réduire le développement de bactéries productrices d'acide butyrique, et ce, même lorsque le fourrage était traité avec du *Lactobacillus buchneri*.

Le niveau idéal dans la ration

Aspect performance

Bien que l'ensilage de maïs soit reconnu pour sa constance en éléments nutritifs, on observe une certaine variation dans les résultats d'analyses de laboratoire d'un échantillon à un autre. Plusieurs facteurs influencent la valeur nutritive de l'ensilage de maïs. Parmi les plus influents, on note : la maturité du plant à la récolte, l'hybride utilisé, les conditions d'entreposage et de reprise, le type de sol, la fertilisation et les conditions climatiques au cours de la saison de végétation et lors de la récolte (gel, pluie, neige, vent). Les données du tableau 10 indiquent la variation dans la teneur en éléments nutritifs de l'ensilage de maïs et peuvent servir à apprécier une analyse de laboratoire d'ensilage de maïs. L'ensilage de maïs a un contenu élevé en amidon (entre 45 et 50 % de grains sur une base de matière sèche) se situant entre 25 et 30 % (Lauer et coll., 2008). Cet aliment possède aussi un faible contenu en protéines et en minéraux et un niveau de fibres NDF équivalent à celui d'une jeune luzerne.

Tableau 10. Analyse moyenne des ensilages de maïs contenus dans la banque de données de Valacta (Le producteur de lait québécois, 2008)

Paramètre (base MS)	Moyenne	Écart type
Humidité (%)	35,0	4,6
Protéine brute (%)	8,3	1,1
Fibres NDF (%)	44,8	4,6
Calcium (%)	0,21	0,05
Phosphore (%)	0,23	0,03
Magnésium (%)	0,16	0,03
Potassium (%)	1,04	0,17

Il peut s'avérer intéressant de servir une portion importante d'ensilage de maïs dans la ration des vaches laitières, soit plus de 50 % de la ration fourragère (base matière sèche). Les avantages de cette approche sont multiples :

- Meilleure uniformité au niveau des composantes nutritionnelles (protéines et énergie) des rations, ce qui favorise une fermentation dans le rumen plus stable;
- Bonne appétence des rations;
- Possibilité de produire plus d'énergie (Mcal) par hectare fourrager qu'avec la luzerne par exemple;
- Chantier de récolte plus rapide et plus facile à gérer que les coupes multiples de plantes fourragères pérennes et pas de variation de la composition botanique du champ occasionnée par le gel hivernal des légumineuses par exemple;
- Rendement en matière sèche supérieur à celui des plantes fourragères pérennes;
- Gestion plus facile des surplus de phosphore car le maïs utilise des quantités importantes de phosphore pour sa croissance.

Cependant, certaines règles doivent être respectées pour bénéficier de ces avantages :

- Être en mesure de négocier des prix avantageux pour les aliments protéiques, car l'ensilage de maïs possède une faible teneur en protéines;
- S'assurer d'un apport adéquat en lysine (acide aminé essentiel déficient dans le maïs) si une proportion importante de maïs et de sous-produits du maïs compose la ration. L'expérience de Kleinschmit et coll. (2007) démontre que l'ajout de foin de luzerne à une ration contenant une forte proportion de maïs (ensilage, grains et sous-produits) a été bénéfique pour la production laitière comparativement à une ration contenant uniquement de l'ensilage de maïs comme fourrage;
- Faire attention au type de gras ajouté à la ration si le maïs représente le principal grain de la ration. L'ensilage de maïs renferme environ 3 % de gras et le maïs-grain en contient 4 %. Une chute de la teneur en matières grasses du lait peut être anticipée si on ajoute trop de gras sous forme libre à la ration, surtout s'il est fortement insaturé (gras végétal);
- Fournir une quantité adéquate de fibres efficaces (quantité et grosseur des particules), sous forme de foin de graminée, de luzerne ou de paille, à la ration des vaches laitières. L'ensilage de maïs doit avoir un minimum de 8 % de particules de plus de 19 mm ($\frac{3}{4}$ de pouce) dans le tamis du haut du « Penn State Forage Particle Separator », s'il constitue

l'unique fourrage dans la ration (Heinrichs et Kononoff, 2002). Lorsque la ration contient une forte proportion d'ensilage de maïs, Kung (2008b) de l'Université du Delaware suggère que 15 à 20 % de la RTM devrait avoir une longueur de plus de 3,75 cm (1,5 po). La quantité minimale de fibres NDF apportée par la ration fourragère devrait être au minimum de 19 à 21 % pour une ration à forte proportion d'ensilage de maïs et de 23 à 24 % si on utilise un hybride de type BMR (Shaver, 2000);

- Selon Shaver (2000) du Wisconsin, il est important de respecter une teneur en glucides non structuraux (GNS) de 35 à 40 % et en amidon de 25 à 30 % MS dans la ration totale mélangée (RTM). Lorsque la disponibilité de l'amidon des aliments est élevée (hybride BMR, ensilage conditionné, maïs-grain humide moulu finement, orge), il faut cibler les valeurs les plus faibles de GNS et d'amidon, tout comme lorsqu'une quantité importante de fourrage est remplacée par des sous-produits.
- Équilibrer correctement la ration en énergie pour les vaches en fin de lactation, les génisses et les taures laitières, et ce, afin d'éviter l'engraissement excessif des animaux;
- Assurer un minimum d'un à deux mois de fermentation à l'ensilage de maïs avant de le servir aux animaux. L'ensilage est alors stable. De plus, la disponibilité de l'amidon s'accroît avec le temps, ce qui a pour impact d'accroître l'énergie de l'ensilage. Les protéines de l'endosperme (intérieur du grain) du maïs sont solubilisées avec le temps, facilitant la digestion de l'amidon par la vache (Newbold et coll., 2006).

L'utilisation d'une proportion importante d'ensilage de maïs dans la ration fourragère peut cependant occasionner une chute de la teneur en matière grasse du lait ainsi qu'une acidose du rumen si la concentration en fibres de la ration est inadéquate, car l'ensilage de maïs a une capacité acidogène plus élevée que l'ensilage de luzerne (Rustomo et coll., 2006).

Remplacer une portion d'ensilage de maïs par de l'ensilage de luzerne peut permettre d'éviter une chute drastique du taux de matière grasse du lait, surtout si des gras sont utilisés dans la ration (Figure 10). Dans l'étude de Ruppert et coll. (2003) de l'Illinois, les vaches recevaient soit une ration contenant 40 % d'ensilage de maïs et 10 % d'ensilage de luzerne, soit une ration contenant 10 % d'ensilage de maïs et 40 % d'ensilage de luzerne. L'augmentation du niveau de gras animal dans la ration a causé une augmentation linéaire de la concentration en acides gras trans C18:1 dans le lait des vaches. Cette augmentation a été cependant plus importante lorsque les vaches recevaient la ration contenant plus d'ensilage de maïs. Harvatine et Bauman (2007) mentionnent que lorsque la fermentation du rumen est perturbée, une voie alternative de

biohydrogénation des acides gras est empruntée, occasionnant une plus grande production d'acides gras trans C18:1. Il y a aussi plus d'acides gras trans intermédiaires qui sont produits lorsque cette voie alternative est empruntée; l'acide linoléique conjugué trans-10, cis-12, qui a été reconnu comme occasionnant des baisses du taux de matière grasse du lait, en est un exemple. Bien qu'il ne soit pas le seul acide gras impliqué dans ce processus, l'absorption de seulement 2 grammes par jour de cet acide gras au niveau de la glande mammaire est suffisant pour occasionner une réduction de 20 % du taux de matière grasse du lait (Lock et coll., 2008).

Dans l'essai de Ruppert et coll. (2003), les vaches recevant plus d'ensilage de maïs avaient un environnement du rumen perturbé puisqu'elles maintenaient un pH et un ratio acétate : propionate plus faible dans le liquide du rumen que les vaches recevant la ration contenant une forte proportion d'ensilage de luzerne. Il est important de noter que les rations de cette expérience contenaient un niveau adéquat de fibres NDF (> 32 %) et de glucides non structuraux (< 35 %). Par contre, le niveau d'amidon était plus élevé pour la ration contenant une forte proportion d'ensilage de maïs (30,9 %) comparativement à la ration contenant beaucoup d'ensilage de luzerne (26,5 %). Onetti et coll., (2004) ont obtenu des résultats similaires à Ruppert et coll. (2003) avec des rations dont 2 % de gras animal avait été ajouté à la RTM. Ils ont observé que l'ajout de 25 % d'ensilage de luzerne ou de foin de luzerne coupé court à cette RTM (base matière sèche) permettait de rétablir le taux de matière grasse du lait comparativement à la RTM contenant uniquement de l'ensilage de maïs. Le traitement qui contenait du foin de luzerne long n'a pas permis d'éviter la chute du taux de gras du lait occasionné par le gras animal contenu dans la RTM, puisque les vaches triaient cette ration et ne consommaient pas les particules longues (Onetti et coll., 2004).

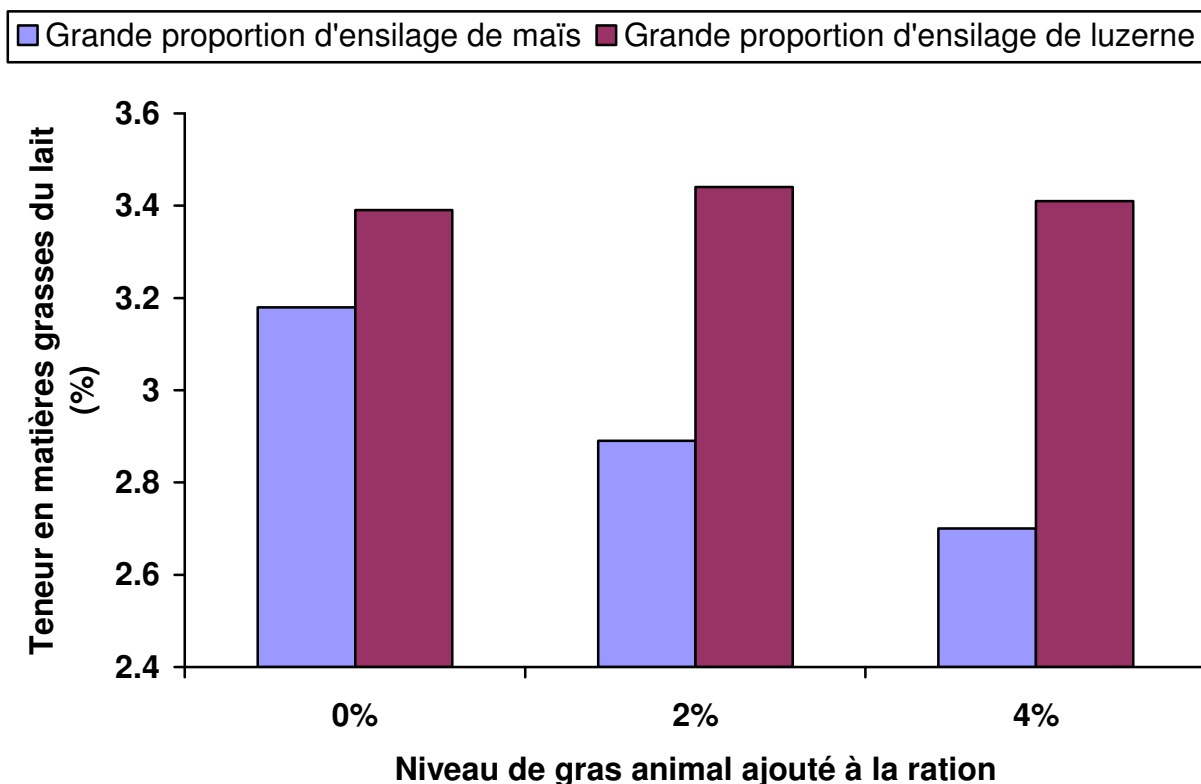


Figure 10. Effet de l'ajout de gras animal à la ration sur la teneur en matière grasse du lait des vaches recevant une ration contenant une grande proportion d'ensilage de maïs (40 % d'ensilage de maïs et 10 % d'ensilage de luzerne) ou une ration contenant une grande proportion d'ensilage de luzerne (10 % d'ensilage de maïs et 40 % d'ensilage de luzerne) (Ruppert et coll., 2003)

On peut observer ce phénomène de chute de la teneur en matière grasse du lait dans l'étude rapportée par Bal et coll. (2000) au tableau 11. La portion fourragère des deux rations expérimentales contenait 67 % d'ensilage de maïs et 33 % d'ensilage de luzerne sur une base de matière sèche. L'ensilage de maïs était conditionné avec une fourragère munie de rouleaux craqueurs et la longueur de hachage était de 1,25 cm ($\frac{1}{2}$ po). Une des rations contenait 60 % de fourrages sur une base de matière sèche (fourrages élevés) tandis que l'autre ration contenait 54 % de fourrages (fourrages faibles). La ration contenant moins de fourrages a permis de produire 1,8 kg de lait de plus par jour que la ration avec plus de fourrages. Cependant, on constate une chute de la teneur en matière grasse du lait avec cette ration moins fourragère qui contenait une concentration en fibres NDF inadéquate (27,2 %). Cette

dernière valeur devrait se situer à un minimum de 28 % de fibres NDF pour une ration contenant une bonne proportion d'ensilage de maïs et préférablement à 30 % pour s'assurer d'une certaine marge de manœuvre. Ainsi, le lait corrigé à 4 % de matière grasse n'était pas différent d'une ration à l'autre. La chute de gras peut indiquer un début potentiel d'acidose qui pourrait hypothéquer la santé des vaches à moyen terme. La ration contenant une plus forte proportion de fourrages serait donc à privilégier. Ces deux études démontrent l'importance de bien contrôler plusieurs paramètres de la ration (fibres NDF efficaces, GNS, vitesse de dégradation des GNS, amidon) lorsqu'une forte proportion d'ensilage de maïs compose la ration, surtout si du gras est ajouté à la ration.

Tableau 11. Effet de la teneur en fourrages de deux rations contenant une forte proportion d'ensilage de maïs sur la performance des vaches laitières (Bal et coll., 2000)

Paramètres	Fourrages élevés	Fourrages faibles
Rations	40 % ens. de maïs 20 % ens. de luzerne	36 % ens. de maïs 18 % ens. de luzerne
Composition alimentaire*		
Protéine brute (% MS)	17,5	18,2
Fibres NDF (% MS)	29,2	27,2
Amidon (%)	22,6	24,4
Proportion de fibres NDF provenant des fourrages (%)	81 ^a	77 ^b
Performance animale		
Consommation de MS (kg/jour)	26,6 ^a	27,7 ^b
Lait produit (kg/jour)	42,8 ^a	44,6 ^b
Lait corrigé à 4 % de MG (kg/jour)	40,1 ^a	40,9 ^a
Matières grasses du lait (%)	3,60 ^a	3,48 ^b
Protéines du lait (%)	3,09 ^a	3,14 ^b
Lactose (%)	4,77 ^a	4,80 ^b
Changement de poids (kg/jour)	0,34 ^a	0,25 ^a

^{a,b} Pour un critère donné, les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent à un seuil de $P < 0,05$.

* Les données de composition alimentaire n'ont pas été analysées statistiquement.

Aspect environnemental

Weiss et coll. (2007) ont colligé, au cours des dernières années, des données sur les déjections fécale et urinaire dans 15 expériences impliquant des vaches alimentées avec 70 rations

différentes (340 vaches). Les vaches consommaient en moyenne 22 kg de matière sèche, produisaient 33 kg de lait et 68 kg de fumier (45 kg de fèces et 23 kg d'urine). Ils ont remarqué que l'alimentation avait un impact important sur la production de fumier lorsque les vaches recevaient de l'ensilage de maïs. Chaque augmentation de 10 % de la proportion d'ensilage de maïs dans la ration fourragère (base matière sèche) se traduit par une diminution de 2 kg de fumier (Figure 11). C'est la diminution de production d'urine qui a le plus d'impact sur le fumier total produit, puisque la quantité de fèces produite ne change pratiquement pas avec l'accroissement de la proportion d'ensilage de maïs dans la ration. La concentration plus faible en potassium de l'ensilage de maïs comparativement à l'ensilage de luzerne permettrait d'expliquer en bonne partie cette situation. Cependant, les quantités totales d'azote et de phosphore excrétées par les vaches ne changeaient pas beaucoup avec l'accroissement d'ensilage de maïs dans la ration fourragère puisque le fumier avait tendance à être plus concentré en ces composantes.

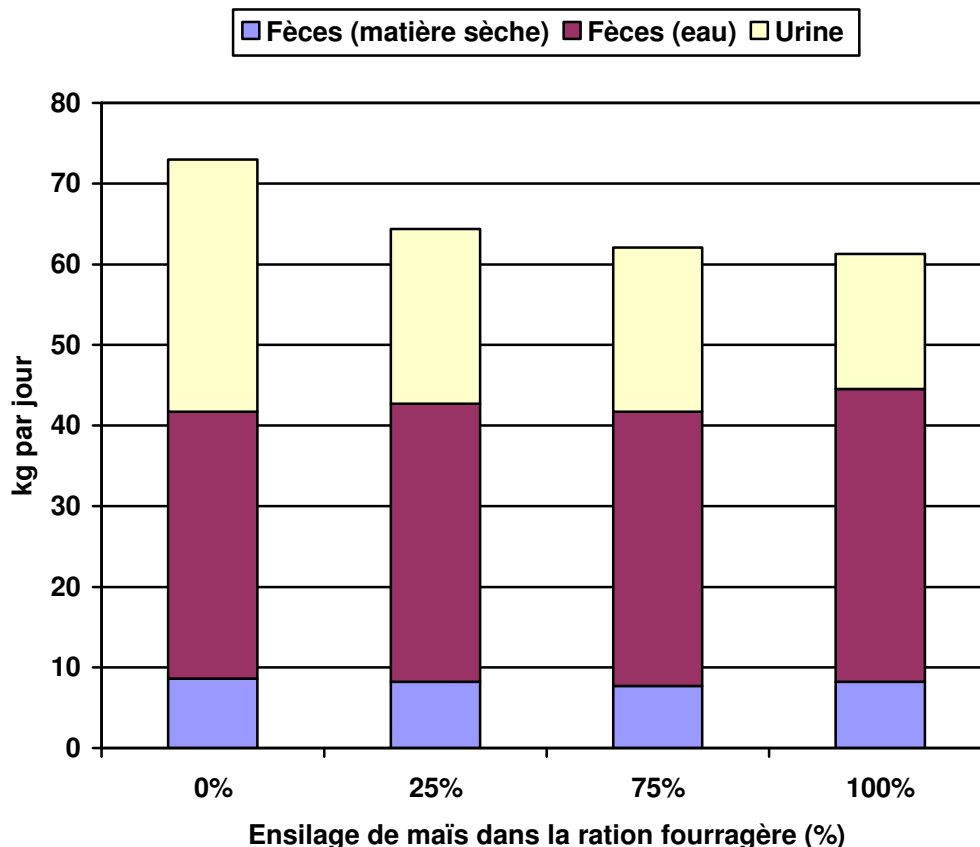


Figure 11. Impact du niveau d'ensilage de maïs dans la ration fourragère (base matière sèche) sur la production d'urine et de fèces (Weiss et coll., 2007)

L'ensilage de maïs, qui est pauvre en protéine et riche en énergie, se combine bien avec l'ensilage de luzerne qui est riche en protéine et en fibres efficaces. Lorsqu'il y a uniquement de l'ensilage de luzerne dans la ration fourragère, on observe fréquemment un excès de protéine pouvant entraîner un niveau d'urée élevé dans le sang des vaches, ce qui peut nuire à la reproduction. Ce type de ration produit une plus grande quantité d'urine et d'azote excrétée dans l'environnement (Dhiman et Satter, 1997).

Les producteurs ayant adopté l'ensilage de maïs posent souvent la question : « Existe-t-il un ratio d'ensilage de luzerne et d'ensilage de maïs idéal à servir aux vaches? ». Plusieurs expériences ont été publiées sur le sujet. Broderick (2007) a tenté d'y répondre dans un article récent paru dans la populaire revue américaine *Hoard's Dairyman*. Il conclut en disant que l'accroissement de la proportion d'ensilage de maïs de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de la ration fourragère en remplacement de l'ensilage de luzerne n'a pas vraiment modifié la production laitière, mais a amélioré l'efficacité d'utilisation de l'azote par les vaches. Pour une ration fourragère contenant plus de 50 % d'ensilage de maïs, il recommande la prudence et, surtout, de respecter un minimum de 28 % de fibres NDF dans la ration totale.

Un article publié par Groff et Wu (2005) présente la synthèse de quatre expériences utilisant quatre ratios différents d'ensilage de luzerne et d'ensilage de maïs (100:0, 75:25, 50:50 et 25:75) dans la ration fourragère. Les auteurs mentionnent qu'il est possible d'atteindre un niveau de production laitière fort acceptable avec une ration contenant 75 % d'ensilage de maïs et 25 % d'ensilage de luzerne, lorsque le niveau de fibres NDF est respecté dans la RTM. Dans cette série d'expériences, une meilleure efficacité de l'utilisation de l'azote a été observée lorsque l'ensilage de maïs faisait partie de la ration (Figure 12).

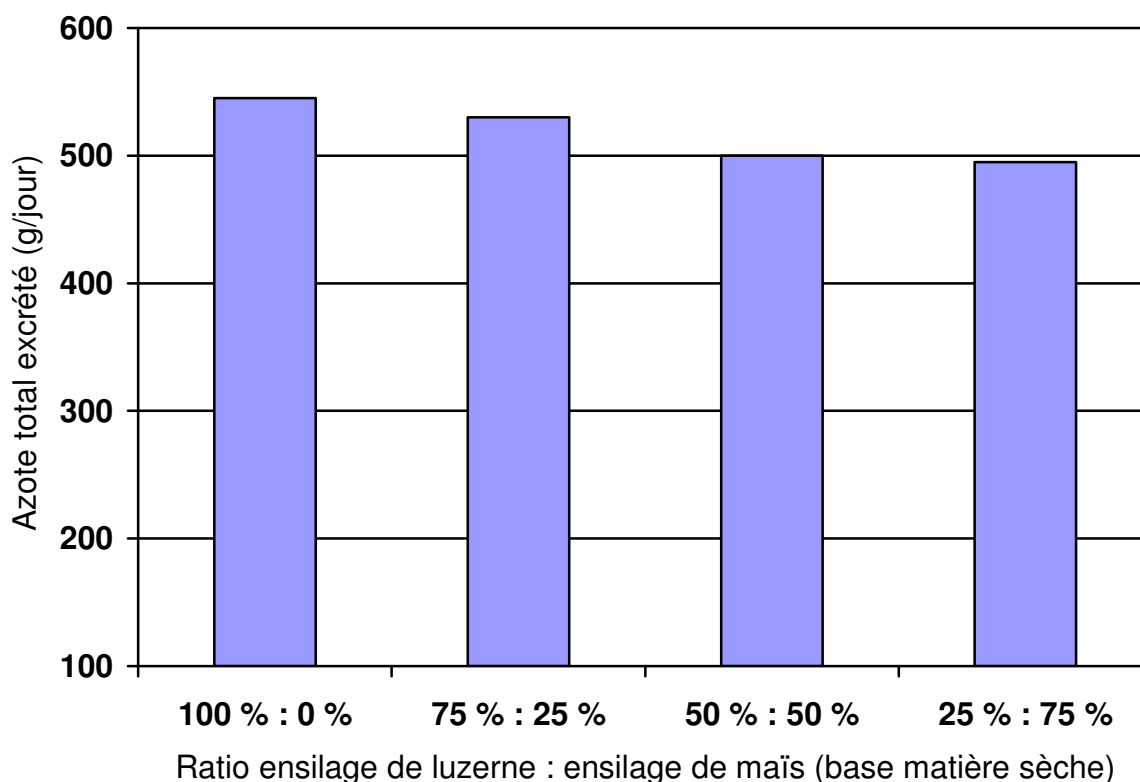


Figure 12. Excrétion totale d'azote chez des vaches nourries de rations ayant différents ratios d'ensilage de luzerne : ensilage de maïs (Groff et Wu, 2005; moyennes de quatre expériences)

Conclusions

Les quatre facteurs de succès permettant de profiter au maximum de la culture de l'ensilage de maïs sur une ferme laitière sont :

- 1) Le choix de l'hybride : Le choix méthodique d'un hybride de maïs fourrager performant (valeur nutritive et rendement) adapté aux conditions environnementales de la ferme demeure la pierre angulaire de cette culture.

De nouveaux hybrides apparaissent chaque année sur le très minuscule marché du Québec en raison du dynamisme et de la compétition entre les grands joueurs de l'industrie de la semence. Pour l'instant et contrairement à plusieurs États américains (New York, Wisconsin), il n'existe pas d'évaluation objective de ces hybrides sous les conditions agricoles québécoises. Le Québec bénéficierait grandement de l'implantation d'un réseau

d'évaluation d'hybrides pour l'ensilage de maïs en raison de ses conditions environnementales très différentes du reste de l'Amérique. Une équipe de recherche créée par la mise en place d'un tel réseau serait un avantage concurrentiel important par les retombées qu'il entraînerait dans son sillage pour l'industrie laitière québécoise. Actuellement, le producteur peut toujours mesurer le rendement des hybrides qu'il utilise sur sa ferme et faire analyser des échantillons de maïs fourrager afin d'obtenir les nutriments de base nécessaires pour calculer les deux indices de rendement et de digestibilité (lait/ha et lait par tonne d'ensilage) du logiciel Milk2006. En comparant les résultats du calcul des indices des hybrides cultivés sur l'entreprise, il est possible de déterminer le ou les hybrides qui se démarquent le plus. Les données de rendement d'ensilage de maïs provenant de La Financière agricole du Québec et publiées par le CRAAQ permettent aussi de déterminer si les rendements obtenus sur la ferme sont égaux ou supérieurs à la moyenne pour sa localité.

- 2) Sa culture : Un semis tôt, dans un sol prêt (bien égoutté et fertilisé) à recevoir la semence, suivi d'un désherbage méticuleusement planifié et d'une fertilisation en post-levée au bon moment représentent autant de facteurs qui permettent la pleine expression de l'hybride lors de la saison de croissance.
- 3) Sa récolte et conservation : Une récolte soigneusement programmée, un fourrage correctement conditionné, inoculé, entreposé et prélevé de façon à limiter au minimum la perte d'éléments nutritifs résulteront en un aliment appétent et d'excellente valeur nutritive pour les bonnes laitières du troupeau.
- 4) Le niveau idéal dans la ration : Il est possible de servir avec profit une proportion importante d'ensilage de maïs dans les rations des vaches et génisses laitières. Cependant, cela nécessite une alimentation de précision qui requiert le respect de certains paramètres nutritionnels favorisant une fermentation optimale dans le rumen, soit, par exemple, une teneur en fibres NDF se situant entre 28 à 32 % et une teneur en amidon de 25 à 30 % dans la RTM selon le type de ration.

Bibliographie

Allen, M.S., R.A. Longuski et Y. Ying. 2008. Endosperm type of dry ground corn grain affects ruminal and total tract digestion of starch in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86 (Suppl. 1) : 529. (Abstr.).

- Bal, M.A., J.G. Coors et R.D. Shaver. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *J. Dairy Sci.* 80 : 2497-2503.
- Bal, M.A., R.D. Shaver, H. Al-Jobeile, J.G. Coors et J.G. Lauer. 2000. Corn silage hybrid effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83 : 2849–2858.
- Ballard, C.S., E.D. Thomas, D.S. Tsang, P. Mandebvu, C.J. Sniffen, M.I. Endres et M.P. Carter. 2001. Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, in vitro digestion, intake by dairy heifers, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84 : 442–452.
- Baron, V.S., H.G. Najda et F.C. Stevenson. 2006. Influence of population density, row spacing and hybrid on forage corn yield and nutritive value in a cool-season environment. *Can. J. Plant Sci.* 86 : 1131–1138.
- Barrière Y., O. Argillier, J.-C. Emile, C. Giauffriet, Y. Hébert et B. Michalet-Doreau. 1996. Ideotype maïs-ensilage et variabilité génétique de la valeur alimentaire. Colloque maïs-ensilage, AGMP, Nantes, p. 293-308.
- Beres, B.L., E. Bremer et C. Van Dasselaar. 2008. Response of irrigated corn silage to seeding rate and row spacing in southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 88 : 713-716.
- Borreani, B., T. Tabacco et L. Cavallarin. 2007. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. *J. Dairy Sci.* 90 : 4701–4706.
- Borreani, B. et T. Tabacco. 2008. Low permeability to oxygen of a new barrier film prevents butyric acid bacteria spore formation in farm corn silage. *J. Dairy Sci.* 91 : 4272–4281.
- Bittman, S. et C.G. Kowalenko. 2004. Advanced silage management. Pacific field corn association, Agassiz, BC.
- Blasel, H.M, P.C. Hoffman et R.D. Shaver. 2006. Degree of starch access: An enzymatic method to determine starch degradation potential of corn grain and corn silage. *J. Anim. Feed Sci. Technol.* 128 : 96-107.
- Broderick, G.A. 2007. Is there a best mix of alfalfa silage and corn silage? *Hoard's Dairyman*. Septembre 10, p. 612-613.
- Cherney, J.H., D.J.R. Cherney, D.E. Akin et J.D. Axtell. 1991. Potentiel of Brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Adv. Agron.* 46 : 157.
- Clark, P.W., S. Kelm et M.I. Endres. 2002. Effect of feeding a corn hybrid selected for leafiness as silage or grain to lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85 : 607–612.
- Cooke, K.M. et J.K. Bernard. 2005. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88 : 310-316.
- Correa, C.E.S., R.D. Shaver, M.N. Pereira, J.G. Lauer et K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *J. Dairy Sci.* 85 : 3008-3012.
- Cox, W.J., et D.J.R. Cherney. 2001: Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agron. J.* 93 : 597-602.

CRAAQ. 2008. Les bovins laitiers. AB 001. L'ensilage de maïs : du champ à la vache.

CRAAQ. 2003. Guide de référence en fertilisation 1^{re} édition, p. 234-235.

Cusicanqui, J.A. et J.G. Lauer. 1999. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. Agron. J. 91 : 911–915.

Dhiman, T.R., et L.D. Satter. 1997. Yield response of dairy cows fed different proportions of alfalfa silage and corn silage. J. Dairy Sci. 80 : 2069-2082.

Drapeau, R., G.F. Tremblay, G. Bélanger et R. Michaud. 2002. Récoltes tardives du maïs fourrager en régions à faibles unités thermiques. Can. J. Plant Sci. 82 : 319-327.

Eastridge, M. L. 1999. Brown Midrib Corn Silage. Tri-state dairy nutrition conference, p. 178-191.

Ebling, T.L. et L. Kung. 2004. A comparison of processed conventional corn silage to unprocessed and processed brown midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. J. Dairy Sci. 87 : 2519-2526.

Feedstuff. 2004. FDA gives Lallemand functionality claim. Vol. 76, Number 11, March 15.

Groff, E.B. et Z. Wu. 2005. Milk production and nitrogen excretion of dairy cows fed different amounts of protein and varying proportions of alfalfa and corn silage. J. Dairy Sci. 88 : 3619-3632.

Holmes, B.J. 2005. Managing forage in tower silos. Hoard's Dairyman. August 10, p. 526.

Jones, C.M., A.J. Heinrich, G.W. Roth et V.A. Ishler. 2004. From harvest to feed : Understanding silage management. PennState, Agriculture Research and cooperative extension. p. 6. <http://pubs.cas.psu.edu/PubDept.asp?varDept=5&offset=15> (consulté le 25 août 2009).

Harvatiné, K.J. et D.E. Bauman. 2007. Recent advances in milk fat depression: 1. Time course of milk fat depression and 2. Adipose tissue lipogenesis during milk fat depression. Cornell nutrition conference for feed manufacturers.

Heinrichs, J. et P. Kononoff. 2002. Evaluating particle size of forages and TMRs using the new penn state forage particle separator. Dairy and Animal Science. The Pennsylvania State University. p. 2-3 <http://www.das.psu.edu/research-extension/dairy/nutrition/pdf/evaluating-particle-size-of-forages.pdf> (consulté le 25 août 2009).

Kleinschmit, D.H. et L. Kung. 2006. A meta-analysis of the effects of lactobacillus buchneri on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. J. Dairy Sci. 89 : 4005-4013.

Kleinschmit, D.H., D.J. Schingoethe, A.R. Hippen et K.F. Kalscheur. 2007. Dried distillers grains plus solubles with corn silage or alfalfa hay as the primary forage source in dairy cow diets. J. Dairy Sci. 90 : 5587–5599.

Kuehn, C.S., J.G. Linn, D.G. Johnson, H.G. Jung et M.I. Endres. 1999. Effect of feeding silages from corn hybrids selected for leafiness or grain to lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 82 : 2746–2755.

Kung, L. 2006. Consider silage inoculant choices carefully. *Hoard's dairyman*. March 25, p. 210.

Kung, L. 2008a. Strategies for Improving the Aerobic Stability of Silages. California animal nutrition conference, p. 69-76.

Kung, L. 2008b. Update on forage management. Proceedings of the 2008 Four-state dairy nutrition and management, p. 15-18.

Kung, L., B.M. Moulder, C.M. Mulrooney, R.S. Teller et R.J. Schmidt. 2008. The effect of silage cutting height on the nutritive value of a normal corn silage hybrid compared with brown midrib corn silage fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 91 : 1451–1457.

Laue, J. 2007. Producing High Quality Corn Silage for Dairy Cows. International meeting on systems of production of forages and milk. Oral presentation in Guadalajara, Mexico.

Lauer, J., K. Kohn et T. Diallo. 2008. Wisconsin corn hybrid performance trials grain and silage. p. 40 <http://corn.agronomy.wisc.edu/HT/2008/2008Text.aspx> (consulté le 25 août 2009).

Lauer. 2009. Key management practices for profitable corn silage production – Lessons learned selecting hybrids and harvest management. Second International meeting on systems of production of forages and milk. Oral presentation in Guadalajara, Mexico.

Lawrence, J.R., Q.M. Ketterings et J.H. Cherney. 2008. Effect of nitrogen application on yield and quality of silage corn after forage legume-grass. *Agron. J.* 100 : 73-79.

Le producteur de lait. 2008. Évolution de la production laitière québécoise 2008. Ajouter de la valeur à la ferme, p.52.

Lock, A.L., D.E. Bauman et T.C. Jenkins. 2008. Understanding the biology of milk fat depression: from basic concepts to practical application. Intermountain nutrition conference, p. 27-44.

Ma, B.L., K.D. Subedi, D.W. Stewart et L.M. Dwyer. 2006. Dry matter accumulation and silage moisture changes after silking in leafy and dual-purpose corn hybrids. *Agron. J.* 98 : 922-929.

Mahanna, B. 2005. Managing corn silage from seed to feed. Proceedings of the 7th Western dairy management conference, p. 83-96.

Muck, R.E. et K. Kung. 1997. Effects of silage additives on ensiling. *Silage: Field to feedbunk*. NRAES-99, p. 187-199.

Muck, R.E. 2008. Improving alfalfa silage quality with inoculants and silo management. Cornell nutrition conference for feed manufacturers.

National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cows. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

Nennich, T.D., J.G. Linn, D.G. Johnson, M.I. Endres et H.G. Jung. 2003. Comparison of feeding corn silages from leafy or conventional corn hybrids to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86 : 2932–2939.

Newbold, J.R., E.A. Lewis, J. Lavrijssen, H.J. Brand, H. Vedder et J. Bakker. 2006. Effect of storage time on ruminal starch degradability in corn silage. ADSA/ASAS Annual Meeting abstracts *J. Dairy Sci.* 89(Suppl. 1) : 190. Abstract T94.

Oba, M. et M. Allen. 2005. In vitro digestibility of forages. Pages 81-91 in *Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf.* Ft. Wayne, IN.

OMAFRA, 2009. Corn: Planting. Pub.811 Agronomy Guide for Field Crops : Chapter 1. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub811/1planting.htm> (consulté le 25 août 2009).

Onetti, S.G., S. M. Reynal et R.R. Grummer . 2004. Effect of alfalfa forage preservation method and particle length on performance of dairy cows fed corn silage-based diets and tallow. *J. Dairy Sci.* 87 : 652-664.

Ruppert, L.D., J.K. Drackley, D.R. Bremmer, et J.H. Clark. 2003. Effects of tallow in diets based on corn silage or alfalfa silage on digestion and nutrient use by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86 : 593-609.

Rustomo B., J.P. Cant, M.Z. Fan, T.F. Duffield, N.E. Odongo et B.W. McBride. 2006. Acidogenic value of feeds. I. The relationship between the acidogenic value of feeds and in vitro ruminal pH changes. *Can. J. Anim. Sci.* 86 : 109-117.

Schwab, E.C., R.D. Shaver, K.J. Shinnors, J.G. Lauer et J.G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85 : 613-623.

Schwab, E.C., R.D. Shaver. J.G. Lauer et J.G. Coors. 2003. Estimating silage energy value and milk yield to rank corn hybrids. *J. Anim. Feed Sci. Technol.* 109 :1-18.

Shaver, R. 2006. Corn silage evaluation: The MILK2006 update Pacific northwest animal nutrition conference proceedings, p. 67-76.

Shaver, R. 2000. Supplementation of high corn silage diets for dairy cows. University of Wisconsin – Madison. <http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/cssupp.pdf> (consulté le 28 août 2009).

Sheaffer, C.C., J.L. Halgerson et H.G. Jung. 2006. Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *J. Agronomy & Crop Science* 192 : 278-283.

Statistique Canada. Recensement agricole de 1951 à 2006. Division de l'agriculture.

Stone, W.C., L.E. Chase, T.R. Overton, J.L. Lukas et K.E. Nestor. 2008. Brown midrib corn silage for transition cows. Cornell nutrition conference for feed manufacturers.

Taylor, C.C. et M.S. Allen. 2005. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: Site of digestion and ruminal digestion kinetics in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 88 : 1413–1424.

- Thomas, E.D. 2000. Is there a place for silage-only corn? Hoard's Dairyman, p. 753.
- Thomas, E.D., P. Mandevu, C.S. Ballard, C.J. Sniffen, M.P. Carter et J. Beck. 2001. Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, in vitro digestibility, and milk yield by dairy cows. J. Dairy Sci. 84 : 2217-2226.
- Tremblay, G., H. Petit, R. Berthiaume et A. Fournier. 2005. La gestion des fourrages pour l'alimentation des ruminants, p. 191-200 dans G. Bélanger, L. Couture et G. Tremblay (éditeurs), Les plantes fourragères. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).
- Undersander, D. et P. Carter. 1992. Harvesting frost-damaged corn for silage. Hoard's Dairyman. Sept. 10, p. 636.
- Undersander, D.J., W.T. Howard et R.D. Shaver. 1993. Milk per acre spreadsheet for combining yield and quality into a single term. J. Prod. Ag. 6 : 231-235.
- Weiss, W.P. 2001. Assessing the merits of different corn hybrids for silage. Tri-State dairy nutrition conference, p. 93-102.
- Weiss, W.P. et J. Firkins. 2007. Silage as starch sources for cows. Mid-south ruminant nutrition conference.
- Weiss, B., N. St-Pierre et L. Willett. 2008. Cows fed more corn silage made less manure. Hoard's dairyman. June 10, p. 433.
- Wikipedia. 2009. [http://en.wikipedia.org/wiki/Corn_\(Maize\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Corn_(Maize)) (consulté le 25 août 2009).
- Wu, Z. et G.W. Rotz. 2005. Can you afford to cut corn silage higher? Hoard's dairyman. August 10, p. 522-523.

ANNEXE 1. MÉTHODE POUR CALCULER LES DEUX INDICES DE MILK2006

Équation pour estimer les unités nutritives totales d'un ensilage de maïs roulé craqué :

$$UNT_{-1x} = PB_{dv} + (AG_{dv} \times 2,25) + NDF_{dv} + Amidon_{dv} + {}_{dv}GNF - 7$$

$$UNT_{-1x} = 7,44 + (2,13 \times 2,25) + 24,91 + 24,50 + 14,7 - 7 = 69,34 \%$$

$$PB_{dv} = PB \times 0,93$$

$$\text{Ex. : } 8,0 \times 0,93 = 7,44 \% \text{ MS}$$

$$AG_{dv} = 0,97 \times (EE - 1)$$

$$\text{Ex. : } 0,97 \times (3,2 - 1) = 2,13 \% \text{ MS}$$

$$NDF_{dv} = (NDF - NDF_{PB}) \times (NDFD_{48h} / 100)$$

$$\text{Ex. : } (45 - 1,3) \times (57 / 100) = 24,91 \% \text{ MS}$$

$$Amidon_{dv} = Amidon \times ({}_{da}Amidon \times 1,08) / 100;$$

Si l'ensilage est roulé et craqué, le min/max est de 86 et 98% pour ${}_{da}Amidon \times 1,08$

Si l'ensilage n'est pas roulé et craqué, le min/max est de 76 et 98% pour ${}_{da}Amidon \times 1,08$

$${}_{da}Amidon_{roulécraqué} = 121,59 - (0,8755 \times MS); \text{ min/max de 80\% et 95\% MS}$$

$${}_{da}Amidon_{nonroulécraqué} = 144,8 - (1,67 \times MS); \text{ min/max de 70\% et 95\% MS}$$

$$\text{Ex. : } {}_{da}Amidon_{roulécraqué} = 121,6 - (0,88 \times 35) = 90,8 \% \text{ MS}$$

$$\text{Ex. : } Amidon_{dv} = 25 \times (90,8 \times 1,08) / 100 = 24,50 \% \text{ MS}$$

$$GNS = \text{Glucides non structuraux} = 100 - (NDF - NDF_{PB} + PB + EE + Cendres)$$

$$\text{Ex. : } 100 - (45 - 1,3 + 8,0 + 3,2 + 4,3) = 40,8 \% \text{ MS}$$

$$GNF_{NA} = (GNS - Amidon) \text{ si } GNF_{NA} > 15 \text{ alors } GNF_{NA} = 15$$

$$\text{Ex. : } 40,8 - 25 = 15,8 \text{ donc } GNF_{NA} = 15 \% \text{ MS}$$

$${}_{dv}GNF_{NA} = 0,98 \times GNS_{NA}$$

$$\text{Ex. : } 0,98 \times 15 = 14,7 \% \text{ MS}$$

Définitions des termes utilisés dans l'équation :

UNT_{1x} = unités nutritives totales à un niveau de consommation qui correspond à l'entretien de l'animal exprimé en pourcentage

$_{dv}$ = digestibilité vraie

$_{da}$ = digestibilité apparente dans le tractus digestif

PB = protéine brute, valeur par défaut = 8,0 % MS

AG = acides gras

EE = extractifs étherés, valeur par défaut = 3,2 % MS

NDF = fibres insolubles au détergent neutre, valeur par défaut = 45 % MS

$NDFD_{48h}$ = digestibilité *in vitro* des fibres NDF avec un temps d'incubation de 48 heures exprimé en pourcentage de fibres NDF, valeur par défaut = 57 % MS

NDF_{PB} = protéine brute liée aux fibres NDF est une constante évaluée à 1,3 % de la MS?

Amidon = contenu en amidon de l'ensilage, valeur par défaut = 25 % MS

Amidon_{roulécraqué} = équation permettant d'estimer la digestibilité de l'amidon selon la teneur en matière sèche d'un ensilage de maïs qui a été roulé et craqué.

Amidon_{nonroulécraqué} = équation permettant d'estimer la digestibilité de l'amidon selon la teneur en matière sèche d'un ensilage de maïs qui n'a été roulé et craqué.

MS = matière sèche de l'ensilage

Cendres = cendres, valeur par défaut = 4,3 % MS

GNS = glucides non structuraux = 40,8 % MS

GNS_{NA} = glucides non structuraux ne contenant pas d'amidon = 15 % MS

Transformation de l'énergie digestible (UNT_{-1x}) en énergie nette de lactation (EN_{L3x})

Note : l'équation de MILK2006 est utilisée pour effectuer cette transformation en considérant l'impact de la digestibilité des fibres NDF sur l'ingestion des vaches.

$$EN_{L3x_ENSMAIS} = (((((UNT_{1x} - ((NDF - 1,3) \times (NDFD_{48h} / 100)) + (((((59 - NDFD_{48h}) \times 0,26) \times 1,83) + NDFD_{48h}) / 100) \times (NDF - 1,3))) \times 0,041) + 0,207) \times 0,6741) - 0,5656)$$

$$\text{Ex. : } = (((((69,34 - ((45 - 1,3) \times (57 / 100)) + (((((59 - 57) \times 0,26) \times 1,83) + 57) / 100) \times (45 - 1,3))) \times 0,041) + 0,207) \times 0,6741) - 0,5656) = 1,50 \text{ Mcal/kg}$$

Définition des termes utilisés dans les équations :

EN_{L3x_ENSMAIS} = énergie nette de lactation de l'ensilage de maïs à un niveau de consommation correspondant à trois fois le niveau d'entretien.

Estimé de la consommation et de la proportion d'ensilage de maïs dans la ration selon son contenu en énergie et en fibres NDF

$$EM_{INGÉRÉ} : (NDF_{INGÉRÉ} \times Poids \times NDF_{INGÉRÉENSMAIS}) / NDF_{ENSMAIS}$$

$$\text{Ex. : } (1,15 \times 614 \text{ kg} \times 75 / 100) / 45 = 11,77 \text{ kg MS}$$

$$CORRECTION_{IMSNDFD} : (NDFD_{ENSMAIS} - NDFD_{MOYEN}) \times 0,26$$

$$\text{Ex. : } (57 \% - 59 \%) \times 0,12 \text{ kg d'ingestion de MS par unité de digestibilité} = -0,24 \text{ kg de MS}$$

$$IMS_{TOTALESMAIS} : 11,77 \text{ kg} - 0,24 \text{ kg} = 11,53 \text{ kg de MS}$$

$$PROP_{ENSMAIS} : IMS_{TOTALESMAIS} / (NDF_{INGÉRÉ} \times Poids / NDF_{RATION})$$

$$\text{Ex. : } 11,53 \text{ kg} / (1,15 \times 614 \text{ kg} / 30) \times 100 = 49,0 \%$$

Définition des termes utilisés dans les équations :

$EM_{\text{INGÉRÉ}}$ = kg de matière sèche d'ensilage de maïs ingéré par la vache

$NDF_{\text{INGÉRÉ}}$ = NDF total ingéré par la vache en pourcentage du poids vif Ex. : 1,15 %

Poids = poids vif de la vache type qui est de 614 kg ou 1 350 lb

$NDF_{\text{INGÉRÉENSMAÏS}}$ = pourcentage de NDF ingéré sous forme de fourrage qui est de 75 %

$CORRECTION_{\text{IMSNDFFD}}$ = correction de la consommation selon la digestibilité de l'ensilage de maïs

$NDF_{\text{ENSMAÏS}}$ = digestibilité des fibres NDF de l'ensilage de maïs Ex. : 57 %

NDF_{moyen} = digestibilité des fibres NDF de la moyenne des hybrides évalués Ex. : 59 %

$IMS_{\text{TOTALESMAÏS}}$ = ingestion de matière sèche totale de l'ensilage de maïs

$PROP_{\text{ENSMAÏS}}$ = proportion d'ensilage de maïs dans la ration

Calcul de la quantité de lait produit en kilogrammes par tonne de matière sèche d'ensilage de maïs et par hectare pour l'hybride évalué

$LAIT_{\text{ENSMAÏS}}$: $(EN_{\text{L3x_ENSMAÏS}} \times IMS_{\text{TOTALESMAÏS}}) - (EN_{\text{EVACHE}} \times PROP_{\text{ENSMAÏS}}) / EN_{\text{L3,5\%MG}}$

Ex. : $((1,50 \text{ Mcal/kg} \times 11,53 \text{ kg}) - (0,08 \times 614^{0,75} \times 49,0 / 100)) / 0,68 = 18,32 \text{ kg de lait}$

$LAIT/TONNE$: $LAIT_{\text{ENSMAÏS}} / IMS_{\text{TOTALESMAÏS}} \times 1000 \text{ kg/tonne}$

Ex. : $18,32 \text{ kg de lait} / 11,53 \text{ kg de MS} \times 1000 \text{ kg/tonne} = 1\,589 \text{ kg de lait par tonne de MS d'ensilage de maïs}$

$LAIT/HA = \text{REND}_{\text{ENSMAÏS}} \times LAIT/TONNE$

Ex. : $16,1 \text{ tonnes/ha} \times 1\,589 \text{ kg de lait} = 25\,583 \text{ kg de lait par hectare}$

Définition des termes utilisés dans les équations :

$LAIT_{\text{ENSMAÏS}}$ = lait produit par la consommation de l'ensilage de maïs

EN_{EVACHE} = énergie nette d'entretien de la vache $(0,08 \times \text{poids}^{0,75})$

$EN_{\text{L3,5\%MG}}$ = énergie nette pour chaque kg de lait à 3,5 % de matière grasse ou 0,68 Mcal

$LAIT/TONNE$ = lait produit en kg par tonne de matière sèche d'ensilage de maïs

$LAIT/HA$ = lait produit en kg par hectare d'ensilage de maïs