

LE MAÏS-ENSILAGE, UN ATOUT

CONFÉRENCIERS

Régent Leduc et Alain Fournier

COLLABORATEURS

Sylvain Payant et Clément Blais

INTRODUCTION

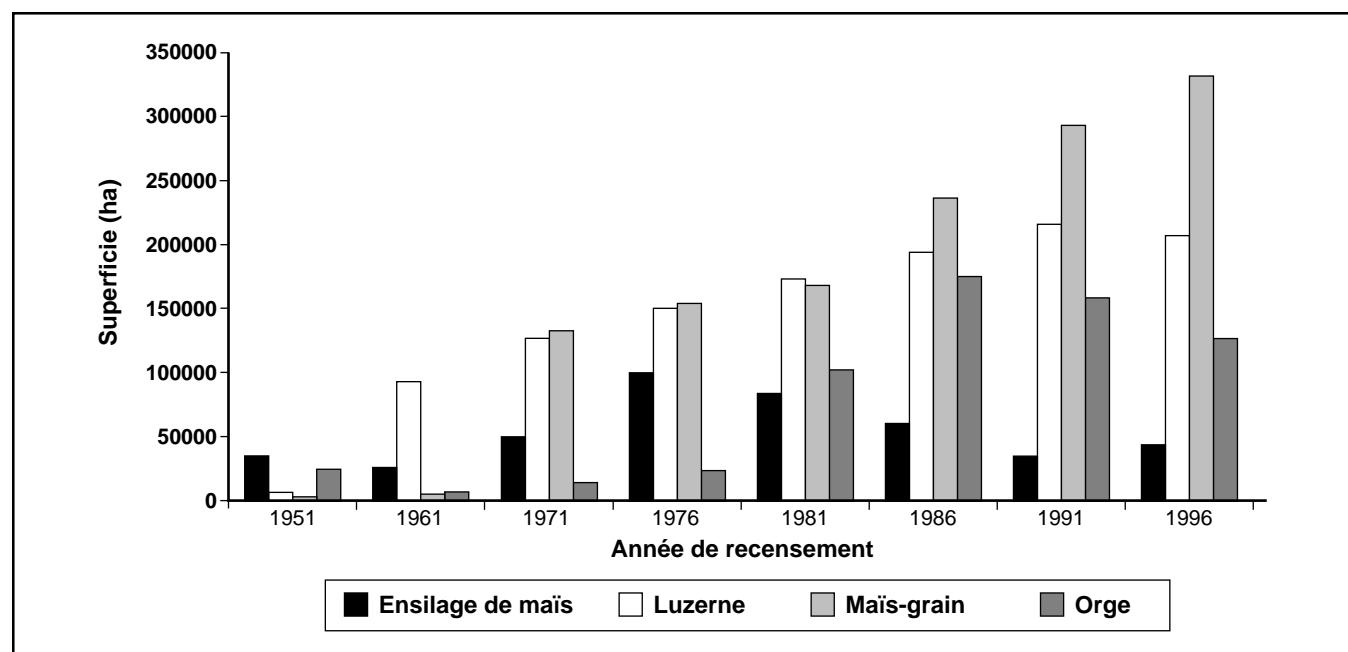
Des peintures témoignent que l'ensilage de maïs était déjà utilisé dans la vallée du Nil de 1000 à 1500 ans av. J.-C. De plus, le maïs a été une culture dominante en Amérique chez les Mayas, les Aztèques et les Incas ainsi que chez certaines peuplades du sud-ouest des États-Unis (Anasazi, Hopi, Pueblo). Au Québec, la culture du maïs-grain s'est implantée vers les années 1960 et n'a jamais cessé de croître depuis. Pour sa part, la production d'ensilage de maïs a atteint un sommet vers le milieu des années 1970. Par la suite, une diminution constante des superficies a été enregistrée sur les fermes québécoises. Cette diminution résulte de plusieurs facteurs, tels que l'Opération luzerne qui a débuté dans les années 1960, les programmes d'aide à l'entreposage des grains à la ferme et l'utilisation des grains humides ou secs dans les années 1980, l'accès à l'assurance-stabilisation des revenus agricoles pour le maïs-grain, etc. Notons qu'actuellement, l'ensilage de maïs revient en force chez plusieurs producteurs du Québec. Cette situation n'est pas particulière au Québec car nos voisins des États-Unis semblent vivre le même engouement pour l'ensilage de maïs. Le comité du Symposium sur les bovins laitiers a donc décidé de faire le point sur cet aliment aux nombreux atouts en présentant deux conférences sur le sujet. Nous avons décidé de regrouper les deux conférences dans un même document et de vous présenter un texte le plus complet possible sur ce sujet.

Ce document traitera de l'évolution de la culture du maïs au Québec et des différents rendements que l'on peut espérer atteindre selon sa région. L'aspect économique lié à l'utilisation de l'ensilage de maïs sera abordé ainsi que les avantages nutritionnels de cet aliment qui est souvent présent dans les rations de hautes performances. Il est important de bien comprendre les raisons qui justifient son utilisation afin de l'adapter avec succès à la ration de vos vaches laitières. La variation de la qualité nutritionnelle des différents hybrides offerts sur le marché nous laisse entrevoir un potentiel fort intéressant pour le producteur laitier. Il est néanmoins important de noter que la régie des champs, le stade de récolte et l'entreposage de la plante sont cruciaux pour obtenir le maximum de l'hybride choisi. Ces différents points seront donc traités en profondeur.

STATISTIQUES

Au Québec, les superficies de maïs-ensilage se sont accrues de 1951 à 1976 puis elles ont constamment régressé par la suite (Figure 1). Une promotion agressive pour l'implantation de la luzerne (Opération luzerne) dans les années 1960 et 1970 a permis d'accroître substantiellement les superficies au détriment du maïs-ensilage. La stabilisation du maïs-grain et de l'orge qui s'est amorcée au début des années 1980 ainsi que les politiques d'autosuffisance à la

Figure 1. Superficies en maïs-ensilage, luzerne, maïs-grain et orge déclarées au Québec de 1951 à 1996



Note : L'année 1995 représente le profil de l'exploitation agricole, édition 1995 pour le Québec

Source : Statistique Canada

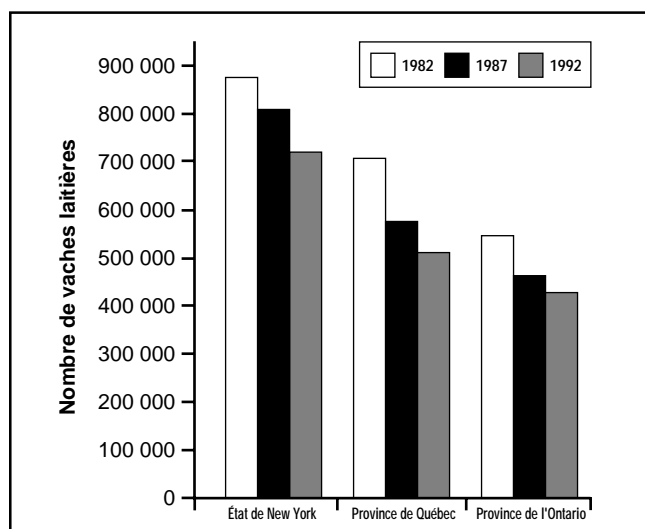
ferme (achat de moulange à la ferme, de silos à grain et à fourrage) ont entraîné un accroissement important des superficies d'orge et de maïs de 1971 à 1995.

Du côté production animale, on constatait souvent, chez les éleveurs utilisant de l'ensilage de maïs avec un fourrage de faible qualité protéique et énergétique, un engraissement excessif des vaches en fin de lactation et tous les problèmes qui s'ensuivent (acétonémie, fièvre vitulaire, vêlage difficile, etc.). Pour contrer cette situation, on a abandonné graduellement l'ensilage de maïs en le remplaçant par de l'ensilage de fourrages dont le niveau protéique plus élevé réduisait l'apport de supplément protéique. Le maïs-ensilage a donc graduellement perdu du terrain au profit d'autres cultures.

De 1995 à 1996, on constate cependant une augmentation des superficies en maïs-ensilage. Il est à noter que les accroissements de superficie en culture apparaissant à la figure 1 correspondent à la diminution des superficies herbagères au cours de ces années (pâturage et autres fourrages de graminées). Une augmentation de la valeur des terres, la difficulté des prairies à traverser les rigueurs de l'hiver (rendement faible et de mauvaise qualité), la souplesse de rendement et la constance de la valeur alimentaire du maïs-ensilage expliquent en grande partie l'intérêt marqué pour cette culture.

À la figure 2, on remarque que le nombre de vaches est beaucoup plus élevé dans l'État de New York qu'au Québec et en Ontario. En 1992, cet État comptait en moyenne 67 vaches par troupeau comparativement à 36 et 38 vaches par troupeau pour le Québec et l'Ontario en 1991. De 1982 à 1992, le nombre de vaches et le nombre de fermes ont diminué dans ces trois régions. Dans l'État de New York, le nombre de fermes est presque similaire à celui de l'Ontario et il est inférieur à celui du Québec.

Figure 2. Nombre de vaches laitières selon différentes régions



Pendant ces mêmes années, les superficies en maïs-grain ont diminué progressivement dans l'État de New York en raison de la diminution du nombre de fermes laitières (Figure 3). L'Ontario a vécu dans une moindre mesure le même phénomène alors qu'au Québec on observait un accroissement important des superficies de maïs, l'assurance-stabilisation ainsi que les politiques d'autosuffisance à la ferme aidant. La qualité et la disponibilité des sols de même que le climat du sud de l'Ontario expliquent la présence d'un grand nombre de producteurs en grandes cultures et des superficies de maïs importantes.

Les surfaces allouées au maïs-ensilage (Figure 4) ont également diminué dans l'État de New York et en Ontario où la baisse a été encore plus marquante. Au Québec, les superficies de maïs-ensilage ont diminué de moitié

Figure 3. Superficies en maïs-grain selon différentes régions

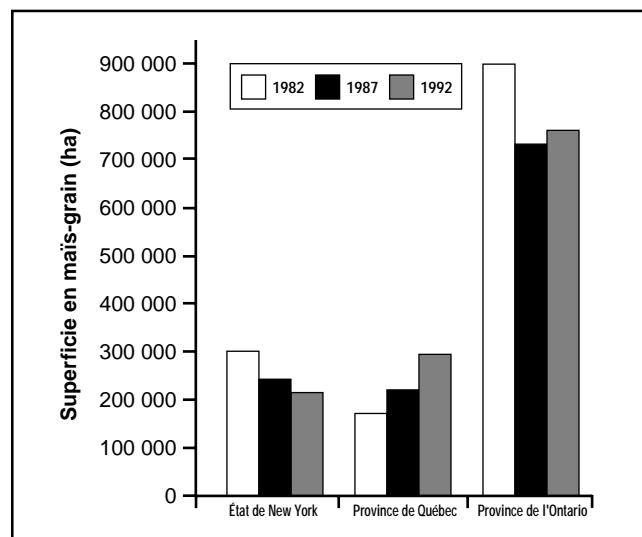
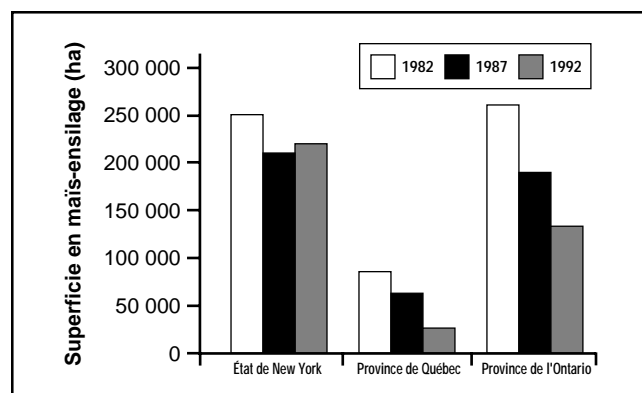


Figure 4. Superficies en maïs-ensilage selon différentes régions



Note : Les données pour les provinces de Québec et de l'Ontario proviennent des recensements 1981, 1986 et 1991 de Statistique Canada. Il existe un décalage d'un an entre le recensement américain et canadien.

à tel point que cette culture a presque disparu. La mécanisation facile de la culture du maïs-ensilage dans les très gros troupeaux laitiers a sans aucun doute aidé à maintenir cette culture dans l'État de New York et pourrait en partie expliquer la plus grande efficacité des fermes de cet État américain comparativement aux fermes canadiennes (Gilbert, 1996).

En raison des exigences climatiques du maïs-ensilage, les régions de plus de 2300 unités thermiques maïs (UTM) ont de meilleurs rendements. Certaines régions du Québec n'en produisent pas ou presque pas : Bas-Saint-Laurent, Beauce, Abitibi/Témiscamingue, Saguenay/Lac-St-Jean et Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine. Par contre, les régions centrales (Bois-Francs, Richelieu/Saint-Hyacinthe et Sud-Ouest de Montréal) produisent du maïs-ensilage en quantité importante (Figure 5).

Les rendements probables mesurés sur une période de 15 ans par la Régie des assurances agricoles du Québec (RAAQ) expliquent pourquoi les régions périphériques ne cultivent presque pas de maïs-ensilage (Tableau 1). Certaines régions périphériques comme le Bas-du-Fleuve et le Lac-Saint-Jean obtiennent des rendements peu représentatifs en raison du faible nombre de sites échantillonnés. La région de l'Abitibi-Témiscamingue ne figure pas parmi les zones où se cultive le maïs-ensilage. En raison du coût élevé d'implantation de cette culture, il est essentiel d'en obtenir un rendement suffisant pour en justifier économiquement l'utilisation sur l'entreprise.

Tableau 1. Rendements probables retenus en 1997 par la Régie des assurances agricoles du Québec pour l'ensemble des régions du Québec (base 35 % de matière sèche)

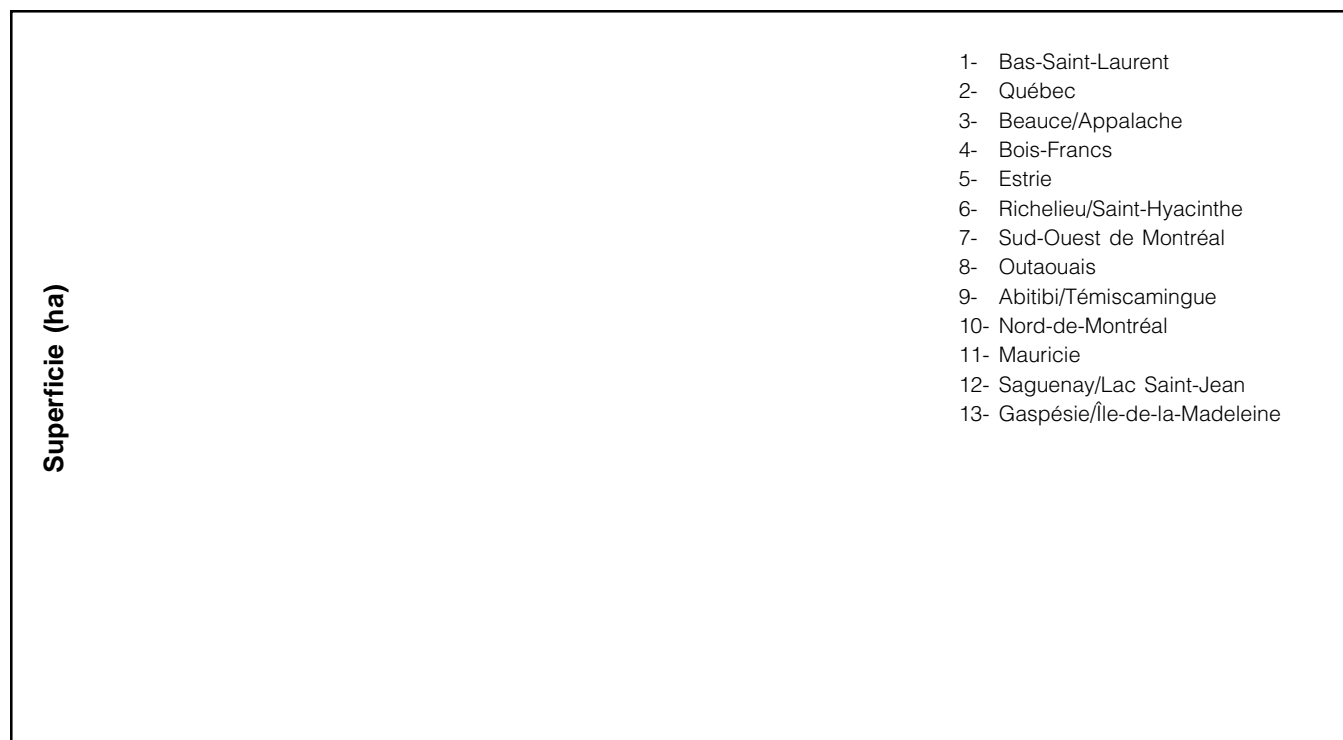
Nom de la région	Unités thermiques maïs (minimum - maximum) ¹	Rendement 1997 (tonnes/ha)
Bas-du-Fleuve	moins de 1699 à 2299	25
Québec	1700 à 2499	30
Beauce	1700 à 2299	26
Nicolet	2300 à 2699	34
Sherbrooke	2300 à 2499	29
Saint-Hyacinthe	2500 à 2900	39
Longueuil	2700 à 2900	39
Outaouais	1900 à 2499	23
Lanaudière	2300 à 2699	38
Mauricie	2100 à 2499	30
Lac Saint-Jean	moins de 1699 à 1899	27
Iberville	2700 à 2900	38

¹ La plage d'unités thermiques est basée sur le stade physiologique de maturité du maïs (point noir)

UN CHOIX ÉCONOMIQUE

Nous étudierons cinq stratégies différentes pour évaluer la rentabilité d'utilisation de l'ensilage de maïs

Figure 5. Superficies en maïs-ensilage déclarées au Québec par région agricole en 1995



Note : Données provenant du Profil de l'exploitation agricole, édition 1995 pour le Québec

dans l'alimentation des vaches laitières. De plus, des commentaires sur les avantages, les inconvénients et les précautions accompagneront le calcul du coût de chacune des rations. Les rations ont été équilibrées à l'aide du logiciel Conseil-Lait¹ pour rencontrer les besoins en fibres ADF (19 à 21 %) et NDF (32 à 33 %) ainsi qu'en protéines dégradables du groupe 1 (62 à 63 %). De plus, chacune des rations contient un niveau minimum de 50 % de matière sèche pour chacun des groupes de production afin d'éviter de pénaliser la consommation des vaches. Les rations composées d'un seul ensilage contiennent au moins de 4 kg de foin pour chacun des groupes afin de respecter la quantité minimale de matière sèche, alors que les rations composées de deux ensilages contiennent 2 kg de foin pour favoriser une consommation maximale de l'ensilage. Les rations utilisées sont basées sur un troupeau fictif de 50 vaches.

Le tableau 2 présente les caractéristiques de chacun des ingrédients utilisés ainsi que leur coût de production ou d'achat. Comme on peut le constater, le coût de production des aliments produits à la ferme influence grandement la rentabilité du choix envisagé. Il importe donc d'établir le coût de production des aliments produits avant d'envisager un changement important à la structure de production de son entreprise. Les budgets utilisés ont été insérés en annexe afin de faciliter ce calcul et ils pourront être adaptés à la situation de chaque entreprise. Dans l'exemple, les grains sont achetés (moyenne des prix des deux dernières années) et les fourrages sont produits à la ferme. Les coûts de production utilisés pour les fourrages sont basés sur les rendements obtenus dans la région des Bois-Francs et sont présentés en annexe. Les différentes stratégies ont été choisies pour exposer les possibilités d'utilisation des ensilages dans l'alimentation des vaches laitières selon les systèmes suivants :

- Système 1 : Ensilage de fourrages et foin sec ;
- Système 2 : Ensilage de fourrages, ensilage de maïs et foin sec ;
- Système 3 : Ensilage de fourrages, ensilage de maïs avec ammoniac aqueux et foin sec ;
- Système 4 : Ensilage de maïs et foin sec ;
- Système 5 : Ensilage de maïs avec ammoniac aqueux et foin sec.

Caractéristiques de l'entreprise :

- Nombre de vaches en lactation : 50
- Production annuelle par vache : 9000 kg
- Poids moyen des vaches : 600 kg
- Taux de matières grasses du lait : 3,8 %
- Taux de protéines du lait : 3,3 %

Commentaires et coûts des différentes rations utilisées

Ration avec ensilage de fourrages et foin sec (Système 1)

Au Québec, l'utilisation d'ensilage de fourrages dans les rations des vaches laitières a entraîné une révolution importante de la qualité des fourrages, de la mécanisation de la récolte et de la distribution des fourrages. La conservation des fourrages sous forme

Tableau 2. Caractéristiques des aliments utilisés dans les calculs économiques

Aliments	Matière sèche (%)	Enl (Mcal/kg)	Protéines (%)	Calcium (%)	Phosphore (%)	Coût (\$/tonne)	Pertes entrepôt et mangeoire (%)
Ensilage de maïs	35,0	1,60	9,0	0,26	0,24	27,71	10
Ensilage de maïs et ammoniac	35,0	1,60	14,0	0,26	0,24	32,21	10
Ensilage de fourrages	40,0	1,35	18,0	1,15	0,33	43,28	10
Foin de graminées	89,0	1,23	13,0	0,73	0,23	88,09	10
Maïs-grain	86,0	1,96	10,0	0,03	0,30	174,10	2,5
Orge	86,0	1,86	12,4	0,07	0,46	175,77	2,5
Supplément protéique	88,0	1,70	45,0	3,00	1,50	585,00	2,5
Tourteau de soya	88,0	2,20	42,5	2,4	0,8	367,50	2,5
Minéral	98,0	—	—	18,73	8,16	775,00	2,5

Note : Les coûts de production de 1997 (G. Beaugregard) ont été utilisés pour estimer les coûts des fourrages (voir en annexe). Les coûts des grains et des concentrés sont basés sur une moyenne des prix d'achat des deux dernières années. Les coûts du transport et du déchargement des grains sont de 7 \$/tonne et de 15 \$/tonne pour le soya.

¹ Agri-Gestion Laval

d'ensilage permet de raccourcir le temps de séchage au champ, réduisant ainsi les pertes considérables de feuilles et la détérioration par les intempéries. Il en résulte un accroissement important de la teneur en protéines et en énergie des fourrages et une diminution d'achat de concentrés. Par contre, les ensilages de fourrages (légumineuses ou graminées hautement fertilisées à l'azote) ont des teneurs en calcium, en potassium et en protéines qui excèdent les besoins des vaches en fin de lactation. La vache doit donc excréter l'azote en surplus, hypothéquant une partie de l'énergie qu'elle consomme et qui pourrait être utilisée à meilleur escient pour remettre la vache en condition. De plus, en raison de la solubilité élevée et rapide de la protéine des ensilages de fourrages, ils doivent généralement être utilisés avec un supplément protéique à faible dégradabilité, chez les vaches en début de lactation. L'ensilage de fourrages doit également s'accompagner de grains dont l'amidon se dégrade suffisamment vite pour capter l'azote des protéines solubles. La synchronisation de la disponibilité de l'énergie et de la protéine n'est pas toujours facile à maîtriser, surtout si l'ensilage est d'excellente qualité. L'ensilage de maïs est souvent un élément qui aide l'éleveur à maîtriser le synchronisme énergie-protéine.

Ration avec ensilage de fourrages, ensilage de maïs et foin sec (Système 2)

La ration avec ensilage de fourrages et ensilage de maïs contient 2 kg de foin sec, ce qui maintient un niveau minimal de fibres efficaces. Ce type de ration se mécanise facilement en raison de la proportion importante des ensilages. Le mélange d'ensilage de maïs et d'ensilage de fourrages permet de valoriser l'utilisation de la protéine des fourrages dont la solubilité (50 %) est très élevée et très rapide au niveau du rumen de la vache (Léonard, 1996). La synchronisation de la disponibilité de l'énergie et de la protéine dans la ration est donc facilitée avec l'usage de ces deux aliments. De plus, le faible contenu en calcium et en potassium de l'ensilage de maïs permet de diluer l'importante teneur de ces éléments dans l'ensilage de fourrages et d'obtenir un équilibre quasi parfait entre l'énergie et la protéine du début à la fin de la lactation. La persistance laitière de la vache, sa reproduction ainsi que sa remise en condition en sont ainsi favorisées. De plus, il est recommandé d'utiliser des sources de protéines de faible coût (tourteau de soya, drêche de distillerie, etc.) pour réduire les frais d'achat de suppléments protéiques.

Ration avec ensilage de fourrages, ensilage de maïs avec ammoniacque aqueux et foin sec (Système 3)

L'ajout d'ammoniacque aqueux à l'ensilage de maïs permet de réduire le coût d'achat de protéines puis-

qu'il s'agit d'une source d'azote moins dispendieuse. L'ammoniacque aqueux permet de valoriser l'énergie rapidement disponible de l'ensilage de maïs et constitue donc une excellente combinaison. Cependant, le niveau de solubilité de l'azote dans la ration totale peut devenir un problème, car l'azote ajouté à l'ensilage de maïs est soluble à 100 % et la protéine de l'ensilage de fourrages est aussi très rapidement disponible. Il peut donc en résulter une ration dont la teneur en azote soluble dépasse la teneur en énergie rapidement disponible nécessaire pour utiliser cet azote, ce qui crée une ration déséquilibrée en énergie et en protéines et déficiente en acides aminés. De plus, chez les vaches en fin de lactation, la teneur en protéines de la ration est trop élevée, ce qui les oblige à excréter le surplus de protéines et rend la remise en condition de ce groupe plus difficile. Dans le cas d'une mauvaise année où l'ensilage de fourrages est de pauvre qualité (12 à 13 % de protéines et 38 à 40 % de fibres ADF), l'ajout d'ammoniacque ou d'urée à l'ensilage de maïs pourrait être envisagé avec un supplément protéique de faible dégradabilité afin d'équilibrer la protéine dégradable de la ration et ainsi économiser sur le coût total de la protéine.

Ration avec ensilage de maïs et foin sec (Système 4)

Cette ration est intéressante car elle permet de limiter la consommation de foin à 4 kg/jour pour maintenir un niveau adéquat de fibres dans la ration et un taux d'humidité de moins de 50 %. Ce type de ration facilite la récolte des fourrages puisque le maïs-ensilage se récolte rapidement. De plus, l'alimentation du troupeau est grandement simplifiée par la disponibilité de grandes quantités d'ensilage de maïs et par la stabilité nutritionnelle de cet aliment pour un même hybride. L'inconvénient majeur de ce type de ration est qu'il nécessite une forte proportion de supplément protéique, ce qui entraîne une hausse du coût de la ration lorsque le coût du supplément protéique augmente. L'utilisation de sources de protéines de faible coût et la récolte d'un foin de haute qualité protéique (16 à 17 % de protéines) permet de diminuer les frais.

Ration avec ensilage de maïs avec ammoniacque aqueux et foin (Système 5)

L'usage d'ammoniacque aqueux permet de réduire le coût d'achat de la protéine principalement lorsque le coût du supplément protéique est élevé. L'augmentation de la teneur en protéines de l'ensilage de maïs de 4 à 5 % par l'utilisation d'azote non protéique (ammoniacque aqueux ou urée) est généralement avantageuse dans ce type de ration car elle permet de valoriser l'énergie rapidement disponible de l'ensilage de maïs. L'ensilage de maïs avec ammoniacque aqueux devrait contenir plus de 40 % de matière sèche pour obtenir un bon résultat. On ne devrait pas dépasser

le stade de 1/2 à 2/3 de la ligne d'amidon car on augmente alors les risques de détérioration de la plante par le gel et son avancement en maturité a pour effet de diminuer la digestibilité du maïs et la qualité de l'ensilage. Pour le bien de l'étude, nous avons récolté le maïs-ensilage à 35 % de matière sèche.

Sommaire des coûts des différentes rations utilisées dans notre exemple

Les détails du calcul des coûts de chacune des rations sont présentés à la fin du document. Comme on peut le constater au tableau 3, les coûts totaux diffèrent peu. Le système 1, avec ensilage de fourrages et foin, est le plus dispendieux suivi de près par le système 3 composé d'ensilage de maïs avec ammoniacque aqueux, d'ensilage de fourrages et de foin. L'utilisation d'ammoniacque aqueux aurait dû permettre de diminuer le coût total du système 3, mais l'usage de ce produit augmente la dégradabilité des protéines de la ration, ce qui oblige à utiliser un supplément protéique de qualité pour équilibrer la ration. Le système 2, avec ensilage de maïs, ensilage de fourrages et foin, et le système 5, avec ensilage de maïs avec ammoniacque

aqueux et foin, sont les systèmes qui s'avèrent les plus intéressants économiquement. Plus le prix des grains est élevé, plus l'usage d'ensilage de maïs est avantageux. Il existe un faible avantage pour la ration composée d'ensilage de maïs avec ammoniacque aqueux et de foin comparé au système 4 sans ammoniacque aqueux. Cet avantage s'accroît avec la hausse du prix des concentrés protéiques et s'estompe avec la baisse du prix de ces produits. Cependant, puisque les différences entre les coûts des diverses rations sont faibles, il ne serait pas opportun de faire un choix de ration qui implique des investissements importants sur la seule base d'un avantage économique d'une ration par rapport à une autre.

Par contre, le résultat des calculs peut changer rapidement avec une variation du prix des aliments achetés ou du coût de production des aliments produits. Le tableau 4 présente l'exemple d'un rendement de maïs-ensilage très faible en raison d'une mauvaise année de récolte (25 tonne/ha, base 35 % de matière sèche). Comme on peut le constater, les rations contenant de bonnes quantités d'ensilage de maïs sont dans ce cas moins avantageuses. Le système 1, avec ensilage de fourrages et foin, devient le système le plus intéressant suivi de très près par le système 2, avec ensilage de maïs, ensilage de fourrages et foin.

Tableau 3. Sommaire du coût des différentes rations

	Ensilage de fourrages et foin	Ensilage de maïs, ensilage de fourrages et foin	Ensilage de maïs avec ammoniacque, ensilage de foin et foin	Ensilage de maïs et foin	Ensilage de maïs avec ammoniacque et foin
	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5
Fourrages	23 595,66 \$	21 747,06 \$	22 919,16 \$	19 715,18 \$	21 909,36 \$
Concentrés	27 324,37 \$	26 576,16 \$	26 487,14 \$	29 413,07 \$	26 614,92 \$
Coût total	50 920,03 \$	48 323,22 \$	49 406,30 \$	49 128,25 \$	48 524,28 \$
Différence *	2596,81 \$	0,00 \$	1083,08 \$	805,03 \$	201,06 \$

* Différence entre le coût total de la ration et le coût total de la ration la moins dispendieuse

Tableau 4. Sommaire du coût des différentes rations avec un coût de production de l'ensilage de maïs de 38 \$/tonne et un rendement de 25 tonne/ha*

	Ensilage de fourrages et foin	Ensilage de maïs, ensilage de fourrages et foin	Ensilage de maïs avec ammoniacque, ensilage de foin et foin	Ensilage de maïs et foin	Ensilage de maïs avec ammoniacque et foin
	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5
Fourrages	23 595,66 \$	24 691,03 \$	25 845,64 \$	24 828,28 \$	26 970,83 \$
Concentrés	27 324,37 \$	26 576,16 \$	26 487,14 \$	29 413,07 \$	27 097,67 \$
Coût total	50 920,03 \$	51 267,19 \$	52 332,78 \$	54 241,35 \$	54 068,50 \$
Différence **	0,00 \$	347,16 \$	1412,75 \$	3 321,32 \$	2 703,97 \$

* Au tableau 3, le rendement utilisé était de 34 tonnes/hectare

** Différence entre le coût total de la ration et le coût total de la ration la moins dispendieuse.

Récupération de superficies et conseils sur le choix d'un système

Les systèmes avec ensilage de maïs permettent de dégager des superficies qui peuvent être utilisées pour d'autres cultures, comme l'orge, ou pour nourrir des animaux supplémentaires. On constate au tableau 5 que les systèmes 4 et 5 requièrent au total 16 ha de moins que le système 1. Si ces superficies sont récupérées pour produire de l'orge, le profit potentiel est de 4 000 \$ (16 ha à 250 \$/ha de marge pour l'orge). Les systèmes 2 et 3 requièrent en moyenne 7 ha de moins que le système 1, ce qui représente un profit potentiel de 1 750 \$ (7 ha à 250 \$/ha de marge pour l'orge).

La marge de bénéfice provenant de la récupération de superficies se situe entre 3500 et 6000 \$ avec l'utilisation d'ensilage de maïs, si on compare avec le système 1 avec ensilage de fourrages et foin. Il est important de noter que cette marge bénéficiaire est tributaire de bien des facteurs (coût de production des fourrages, prix d'achat des concentrés, etc.) qui ont un effet important sur celle-ci. Il convient de discuter avec son conseiller des variations importantes de cette marge bénéficiaire et des modifications de la structure de l'entreprise que peut entraîner l'intégration de l'ensilage de maïs. Je conseille la démarche suivante. Discutez en premier lieu des avantages et inconvénients du système envisagé, tant du côté nutritionnel que du côté opérationnel, plus précisément au niveau de la mécanisation du chantier de récolte et de la reprise des aliments. Deuxièmement, calculez les coûts du ou des systèmes envisagés comparativement à votre propre système (l'utilisation de vos coûts de production est essentielle pour un calcul précis, car les différences sont parfois minimes). Troisièmement, calculez la marge de manoeuvre parfois non négligeable qui peut être dégagée par les économies potentielles de superficies avec cette culture à haut rendement fourrager. Finalement, calculez le DIRTA (dépréciation, intérêts, réparations, taxes et assurances) des investissements envisagés ; celui-ci doit être inférieur au profit généré par l'adoption du nouveau système. Gardez à l'esprit que des modifications mineures au

niveau d'un système d'alimentation permettent souvent d'en diminuer le coût et d'en améliorer la performance.

CARACTÉRISTIQUES NUTRITIONNELLES

La composition typique de l'ensilage de maïs provient de la nature variée de ses constituants (Tableau 6 et Figure 6). La plante entière de maïs contient peu de minéraux (calcium et potassium), mais comporte des fibres très digestibles en raison de leur faible taux de lignification (3,7 % contre 7 à 8 % pour la luzerne). La teneur de la plante en protéines est faible et son taux de sucres solubles oscille autour de 10 %. La présence de ces sucres solubles et la faible capacité tampon du maïs favorisent une fermentation rapide sous forme d'ensilage et l'atteinte d'un pH de 3,9 à 4,0. La fermentation du maïs-ensilage augmente la rapidité de la digestibilité ruminale de l'amidon contenu dans le grain de l'ensilage. On compare souvent l'ensilage de maïs à un aliment en RTM (ration totale mélangée), en raison des nombreux éléments qui le composent (grains, rafle, tige, feuilles et spathes). Cette caractéristique lui confère une valeur unique comme source variée d'hydrates de carbone.

Tableau 6. Composition moyenne de l'ensilage de maïs et de ses constituants avant fermentation

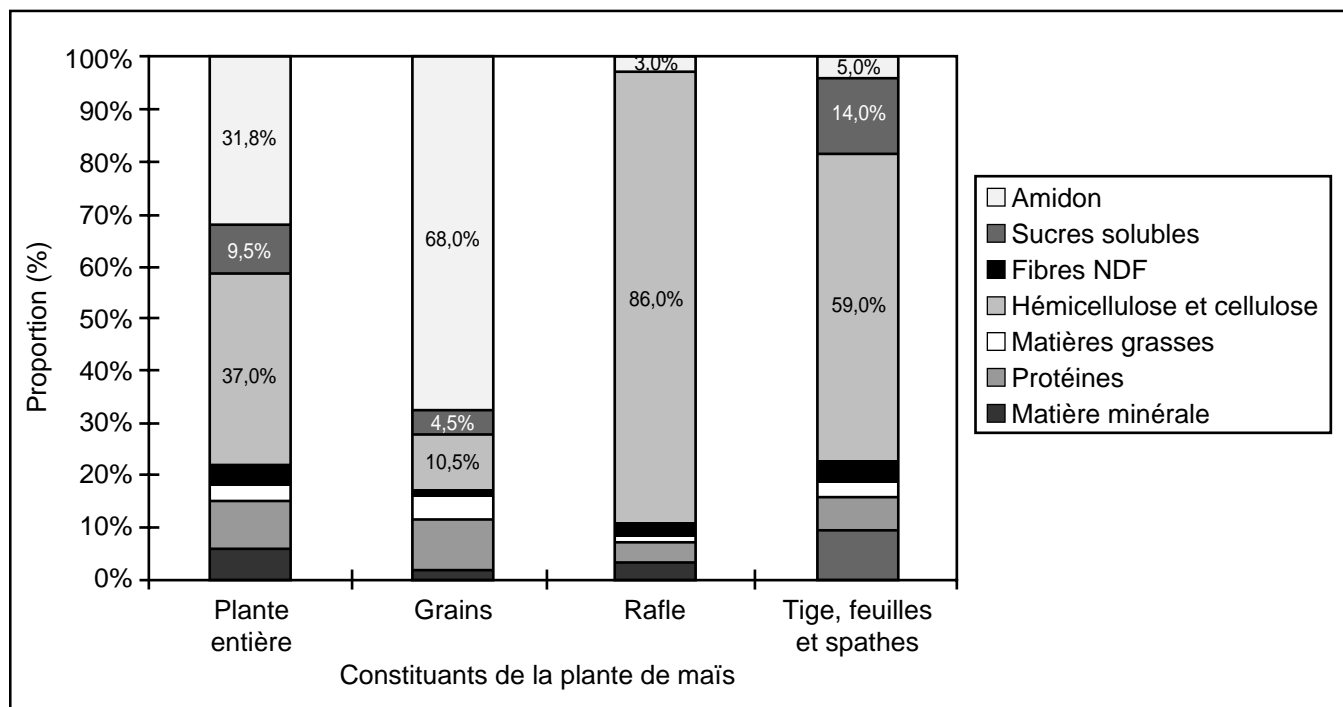
	Plante entière (%)	Grains (%)	Rafle (%)	Tige, feuilles et spathes (%)
Amidon	31,8	68,0	0,0	5,0
Sucres solubles	9,5	4,5	3,0	14,0
Hémicellulose et cellulose	37,0	10,5	86,0	59,0
Lignine	3,7	1,0	3,0	4,0
Matières grasses	3,2	4,4	1,0	2,5
Protéines	9,0	10,0	4,0	6,5
Matière minérale	5,8	1,6	3,0	9,0

Tableau 5. Superficies récupérées par l'utilisation d'ensilage de maïs

Aliments produits à la ferme	Rendement (t/ha)	Superficies requises (ha)				
		Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5
Ensilage de maïs	34,3	-	8,3	-	14,5	-
Ensilage de maïs et ammoniacque	31,6	-	-	9,0	-	15,7
Ensilage de foin	13,3	30,7	18,8	18,7	-	-
Foin de graminées	5,8	11,6	5,8	5,8	11,6	11,6
Total des superficies	-	42,3	32,9	33,5	26,1	27,3
Différence *	-	16,2	6,8	7,4	0,0	0,0

* Différence entre le total des superficies pour chacun des systèmes et le total des superficies du système 4 ou 5

Figure 6. Composition alimentaire des différents constituants de la plante de maïs

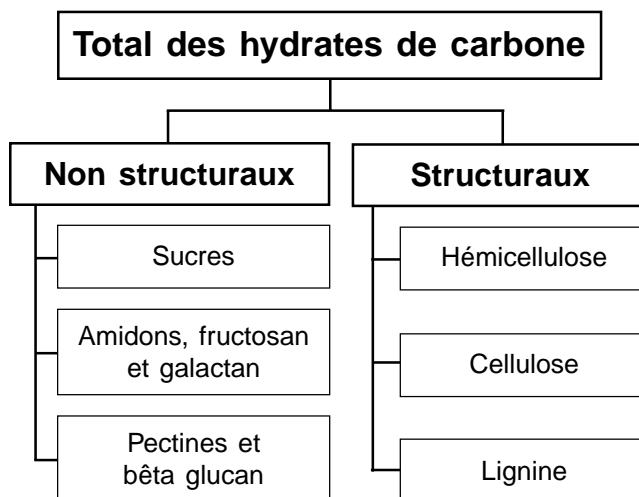


Source : INRA, 1989

La ration d'un ruminant est constituée de 70 à 80 % d'hydrates de carbone que l'on peut diviser en deux grandes classes appelées hydrates de carbone non structuraux (HCNS) et hydrates de carbone structuraux (HCS) (Léonard, 1996). Les hydrates de carbone structuraux sont considérés comme des composantes de la structure des parois cellulaires des végétaux et leurs donnent leur rigidité caractéristique. Comme l'illustre la figure 7, les HCS sont composés d'hémicellulose, de cellulose et de lignine. Le ruminant peut digérer la fibre bien que cette opération soit plus ou moins lente (3 à 15 % par heure) selon le taux de lignification des fibres du fourrage. Étant moins lignifiées, les fibres NDF de l'ensilage de maïs se dégradent plus rapidement (3 à 5 % par heure) que les fibres de fourrages conventionnels (Stokes, 1997). Cependant, bien que plus lignifiées, les fibres de l'ensilage de luzerne contiennent moins d'hémicellulose qui ralentit généralement la vitesse de fermentation des fibres. Pour cette raison, les fibres de l'ensilage de luzerne fermentent généralement aussi rapidement que celles de l'ensilage de maïs (Hoover et Miller 1996). La forte proportion d'hydrates de carbone non structuraux de l'ensilage de maïs permet une fermentation ruminale rapide (croissance microbienne rapide) et la valorisation des sources d'azote non protéique comme celles des ensilages de luzerne (Tableau 7).

Les pectines et les bêta glucan sont respectivement des constituants des parois cellulaires des légumineuses et des graminées. Puisque ce sont des composés fibreux solubles, on les classe habituellement parmi les hydrates de carbone non structuraux (HCNS). Les

Figure 7. Hydrates de carbone composant les végétaux



Sources : Greg, 1997 et Martin, 1996

HCNS renferment aussi des sucres dont la vitesse de dégradation est très rapide (75 à 350 % par heure) (Léonard *et al.*, 1996). En raison de son faible contenu en sucres et de sa forte capacité tampon (capacité à lutter contre une baisse de pH), la luzerne nécessite généralement un préfanage pour bien fermenter contrairement à l'ensilage de graminées qui contient généralement beaucoup plus de sucres (Tableau 7). Le contenu élevé en amidon de l'ensilage de maïs est attribuable à la présence des grains (40 à 50 % de

l'aliment). Cet amidon est généralement rendu disponible rapidement par le processus de fermentation de l'ensilage. La fermentation détruit le lien unissant la protéine à l'amidon de l'endosperme du maïs rendant accessibles les granules d'amidon du grain aux enzymes des bactéries du rumen (Mahanna, 1994). Cependant, le stade de récolte du maïs-ensilage, la dureté de l'endosperme des grains de maïs, la finesse de hachage de l'ensilage, le traitement mécanique du grain et le type de maïs (corné ou denté) ont une très grande influence sur la vitesse de dégradation de l'amidon du grain de maïs, comme nous le verrons plus en détail dans les sections suivantes.

Le potentiel de fermentation ruminale rapide de l'ensilage de maïs lui confère un avantage sans contredit. Cependant, le synchronisme de dégradation des sources d'énergie rapidement disponibles de l'ensilage de maïs et de la protéine soluble de la ration est essentiel, sinon on réduit l'efficacité de cette fermentation et la consommation de la vache. L'inverse est aussi vrai puisque l'utilisation de fourrages de légumineuses récoltés sous forme d'ensilage au stade bouton, début floraison, ou l'utilisation de graminées fortement fertilisées à l'azote entraînent souvent des problèmes nutritionnels si une source d'énergie rapidement dégradée dans le rumen ne leur est pas associée. Les problèmes de maux de pieds, un état de chair difficile à maintenir en début de lactation et à reprendre en fin de lactation, de même que l'éternel problème de reproduction qui refait surface sont souvent synonymes d'un mauvais synchronisme énergie/protéine. L'ensilage de maïs, en raison de la triple nature de ses glucides, permet de contrebalancer ce phénomène et d'améliorer le synchronisme énergie/protéine essentiel à une

croissance microbienne active et efficace. À la figure 8, on remarque que les bactéries contenues dans le liquide ruminal ont besoin d'énergie et de protéines pour atteindre une croissance maximale. Le synchronisme des deux composantes est essentielle pour atteindre le plein potentiel de l'animal. L'effet bénéfique de l'ensilage de maïs dans les rations des troupeaux laitiers du Québec laisse présumer que, dans la plupart des rations, l'énergie est trop souvent le facteur limitant la fermentation ruminale.

La combinaison de l'ensilage de maïs et de l'ensilage de fourrages est un heureux mariage. Les excès de l'un sont atténués par les déficits de l'autre et vice versa. On ramène le taux de protéines, la concentration de calcium et de potassium de la ration à un niveau plus raisonnable que l'ensilage de luzerne seul. L'énergie plus assimilable de l'ensilage de maïs permet de valoriser la protéine très rapidement disponible de l'ensilage de fourrages.

Selon une étude réalisée au Wisconsin (USDA), il est avantageux d'intégrer une portion d'ensilage de maïs dans la ration fourragère des vaches laitières (1/3 à 2/3 de la ration fourragère). Dans cette étude, la ration contenait 50 % de fourrage et 50 % de concentrés (maïs-épis humide comme grain principal) et était servie sous forme de RTM une fois par jour. L'introduction d'ensilage de maïs dans la ration améliore la persistance de la production laitière (Tableau 8), comparativement à l'utilisation d'ensilage de luzerne comme seul fourrage. La ration qui contenait la plus haute proportion d'ensilage de maïs a eu pour effet de réduire le taux de matières grasses du lait chez les vaches en début de lactation alors que le taux de

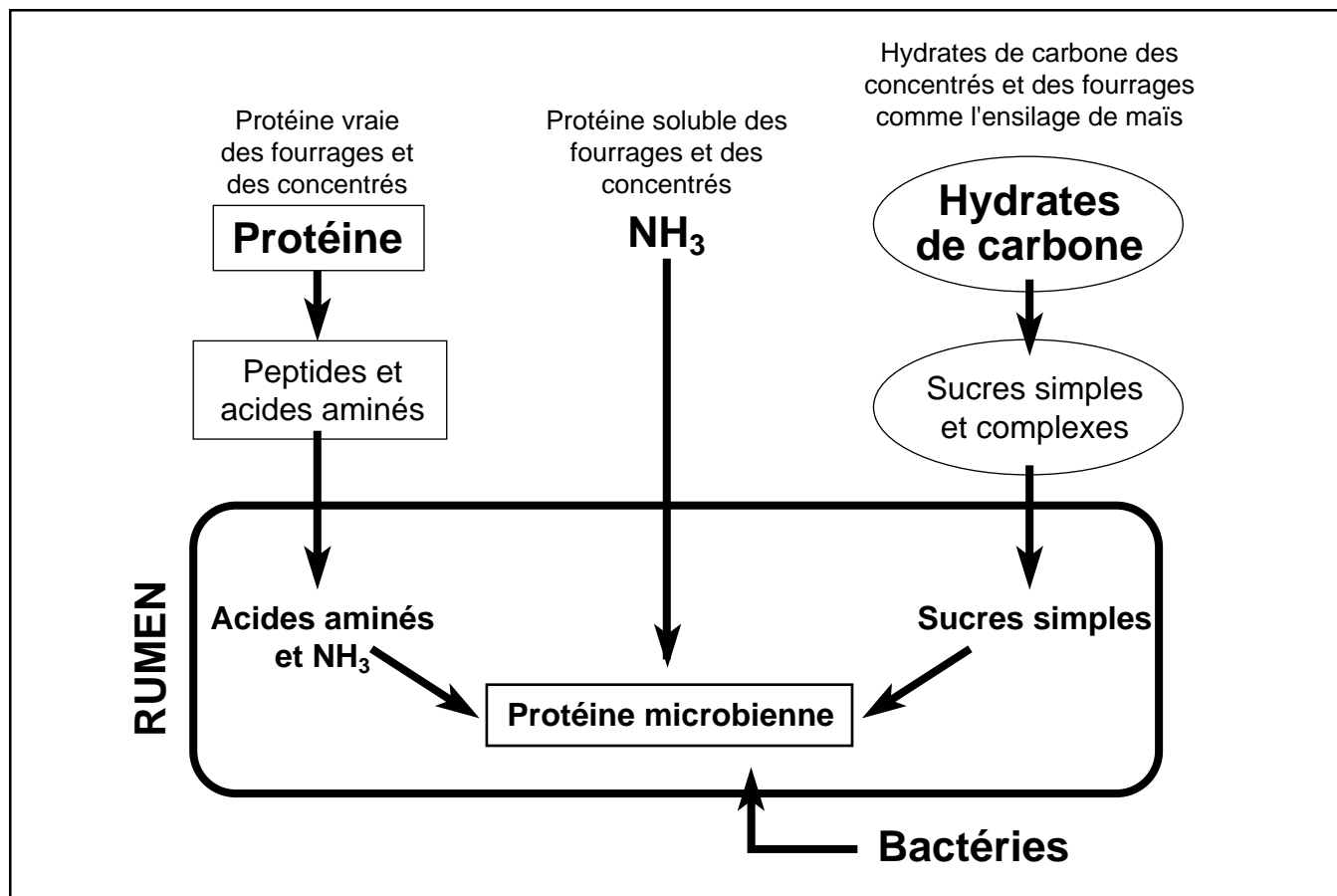
Tableau 7. Composition détaillée de trois ensilages

	Ensilage de luzerne début floraison préfané	Ensilage de maïs	Ensilage de graminées début épiaison
Fibre NDF (% MS)	42,0	45,0	55,0
Hémicellulose (% NDF)	26,0	42,0	47,3
Cellulose (% NDF)	57,0	51,0	47,2
Lignine (% NDF)	17,0	7,0	5,5
HCNS* (% MS)	24,9	39,6	20,0
Sucres (% HCNS)	16,0	18,0	30,0
Amidon (% HCNS)	10,0	53,3	6,0
Pectines et autres (% HCNS)	47,9	0,0	28,6
Acides gras volatils (% HCNS)	26,1	28,7	35,4
Protéine brute	19,9	8,7	14,0
Protéine soluble (% PB)	50,0	45,0	45,0
Protéine dégradable (%)	75,0	78,0	70,0
Cendres (%)	9,5	3,6	8,0
Gras (%)	3,7	3,1	3,0

* Hydrates de carbone non structuraux

Sources : Bethard, 1997 ; Hoover et Miller, 1996 ; Léonard, 1996 ; Mahanna, 1991 et NRC Bovins de boucherie, 1996

Figure 8. Description du synchronisme énergie-protéine pour la production de protéines microbiennes



Source : Greg, 1997

Tableau 8. Comparaison de différentes proportions d'ensilage de maïs et d'ensilage de fourrages sur la productivité des vaches laitières

Traitements	Production laitière ajustée à 305 jours	
	Multipares (vaches matures)	Primipares (premier veau)
Ensilage de luzerne 100 %	9 595 kg	8 127 kg
2/3 ensilage de luzerne	10 173 kg	8 415 kg
1/3 ensilage de maïs		
1/3 ensilage de luzerne	10 027 kg	8 171 kg
2/3 ensilage de maïs		

Source : Dhiman et Satter, 1994

protéines n'a pas été affecté. Les rations contenant de l'ensilage de maïs ont permis une meilleure utilisation de la protéine dégradable de la ration par une moins forte excrétion d'urée (par l'urine) dans l'environnement (6 à 15 % de moins).

CHOIX DE L'HYBRIDE

Dans notre recherche pour déterminer le maïs-ensilage idéal, nous avons demandé l'avis des producteurs et des utilisateurs. Selon les réponses obtenues à ce sondage, le tableau 9 établit la liste des critères qui préoccupent les utilisateurs lors du choix d'un hybride de maïs-ensilage de qualité.

Tableau 9. Critères de choix d'un hybride de maïs-ensilage

Critères	Importance (%)
Rendement (matière sèche)	25
Taux de matière sèche	19
Digestibilité	17
% de grain	17
Production permise	13
Consommation/jour	6
Grain dans les bouses	3

Source : Réunion de producteurs (85 % producteurs de lait), Est du Canada, 1995, 1996

La qualité la plus recherchée pour un hybride de maïs-ensilage est son rendement en matière sèche à l'hectare (c'est la qualité «économique»). Il est évident que pour des charges identiques à l'hectare, le maïs le plus productif entraîne un meilleur coût de production au kilogramme de matière sèche récolté. Il faut toujours tenir compte du potentiel de rendement du maïs ensilage de sa région (Tableau 1), ce qui représente une contrainte pour certaines régions du Québec. Le rendement en matière sèche à l'hectare est en relation étroite avec le grain, ce dernier étant un élément indispensable dans la récolte. On recommande de viser entre 40 et 55 % de grains dans le mélange final (Figure 9). Notons que la droite de la figure 9 indique que la proportion de grains dans la plante entière se situe à 46 %. Cette notion confirme qu'il n'est pas souhaitable de récolter pour l'ensilage le maïs de mauvaise qualité (bords de champ, sol compacté, germination inégale, etc.).

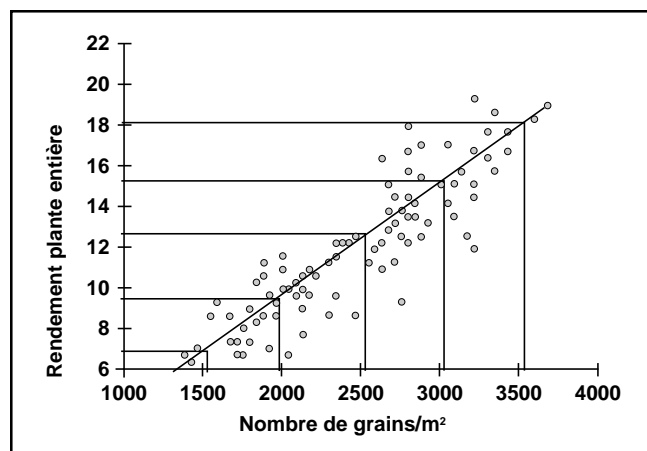
Taux de matière sèche

Le rendement doit être obtenu avec un taux de matière sèche se situant dans une fourchette optimale. Depuis plus de 20 ans, on sait que le taux de matière sèche est déterminant pour optimiser :

- le rendement ;
- la conservation à l'entreposage (jus, pertes, tassement) ;
- l'ingestion par animal par jour.

Aujourd'hui, on peut affirmer que le taux de matière sèche de l'hybride récolté a une grande influence sur la dégradation de l'ensilage dans le rumen (Tableau 10). Ainsi, avec des grains très durs de type corné, la structure de l'amidon est différente et plus difficilement dégradable par les microorganismes amylolytiques

Figure 9. Relation entre le rendement de la plante entière et le nombre de grains/m²



Note : % matière sèche des épis compris entre 40 et 55 %
Source : INRA, 1989

contenus dans le rumen de la vache. De plus, chez les tiges et feuilles desséchées par le vieillissement ou le stress (gel), les parois sont plus difficilement dégradées par les bactéries cellulolytiques, d'où une moins bonne efficacité alimentaire.

Le pourcentage de matière sèche du maïs-ensilage correspond à la combinaison de la matière verte et de la matière jaune du plant et est obtenu sous l'effet de maturation normale (la plante évolue et mûrit normalement) ou sous l'effet d'un stress :

- température élevée pendant le cycle végétatif ;
- gel avant la récolte ;
- kabaciellose ;
- manque d'azote ;
- compétition entre les plants ;
- manque d'eau ;
- et par la combinaison de tous ces facteurs.

Ces différents stress affectent la physiologie de la plante et ont des conséquences néfastes sur ses caractéristiques alimentaires.

Les résultats du tableau 10 ne font que confirmer l'importance du bon stade de récolte, soit de 1/2 à 3/4 de la ligne d'amidon, pour l'obtention d'une meilleure efficacité alimentaire, tout en permettant de réduire les

Tableau 10. Effet de la maturité de la plante de maïs sur sa valeur nutritive

Valeur nutritive	Ligne d'amidon	Point noir	P<
Consommation de matière sèche(kg/jour)	20,7	20,2	NS
Lait (kg/jour)	21,4	20,1	0,05
Lait corrigé à 3,5 % de matières grasses (kg/jour)	21,7	21,2	NS
Protéines laitières (kg/jour)	0,74	0,70	0,09
Lactose (kg/jour)	1,05	0,98	0,01
Grains de maïs dans le fumier (% NS)	3,1	9,0	0,01
Digestibilité de l'amidon dans le rumen (%)	72	56	0,12
Digestibilité totale de l'amidon dans le tractus digestif (%)	96	87	0,01
Débit de l'azote microbien au duodénum (g/jour)	204	170	0,20
Débit de la lysine au duodénum (g/jour)	139	116	0,05
Débit de la méthionine au duodénum (g/jour)	35	30	0,01

Source : Harrison *et al.*, 1996a

pertes sur le plan environnemental (les bilans énergétique et azoté améliorés).

Glucides solubles

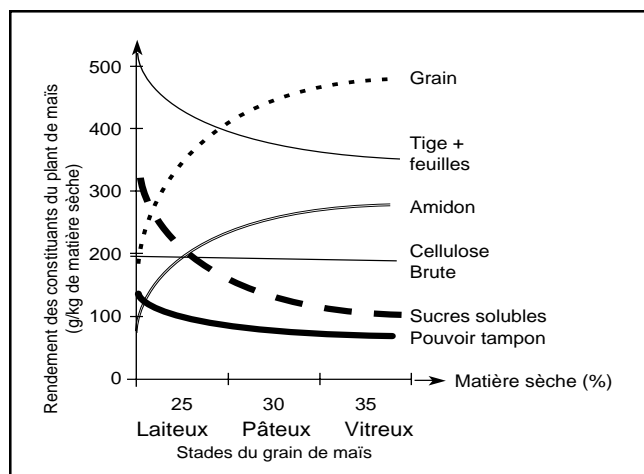
Les glucides solubles ou sucres solubles diminuent au fur et à mesure que le maïs mûrit car ils sont transférés dans le grain pour y être stockés sous forme d'amidon (Figure 10). Notons que la valeur énergétique des sucres est équivalente à celle de l'amidon, ils se distinguent seulement par leur vitesse de dégradation au niveau du rumen qui est plus rapide. Les sucres solubles représentent la source d'énergie préférée des bactéries qui fermentent l'ensilage sous forme d'acides gras volatils.

Les stades de récolte présentés à la figure 10 indiquent la fenêtre de récolte potentielle de la plante de maïs et correspondent au taux de matière sèche rencontré dans les structures d'entreposage typiques du Québec. Il faut souligner que les pourcentages de matière sèche de la plante entière aux stades laiteux, pâteux et vitreux sont respectivement de 25 %, 30 % et 35 %.

Protéines

Le maïs-ensilage se caractérise par une faible teneur en protéines. La teneur moyenne en protéine brute du maïs-ensilage de 4770 échantillons était de 7,9 % selon des analyses provenant de fermes du Québec et de l'Ontario (données compilées par un laboratoire privé au cours des trois dernières années).

Figure 10. Évolution des principaux constituants de la plante entière de maïs selon le stade de maturité du grain



Source : INRA, 1989

La teneur en protéine brute du maïs-ensilage n'est pas liée à sa digestibilité et à sa teneur en grain, mais tend à être inversement proportionnelle à son rendement (loi de dilution de l'azote). Notons aussi que l'héritabilité de la concentration en protéine brute du plant (0,16) est faible (Émile *et al.*, 1996). Même si le maïs-ensilage est pauvre en protéines, son contenu en protéine soluble, qui est de 45 %, a la propriété de se dégrader graduellement dans le rumen (Sniffen *et al.*, 1992). Les protéines du maïs-ensilage rencontrent les besoins des microorganismes du rumen en acides aminés essentiels sauf pour le tryptophane, la méthionine et la lysine (Mantysaari *et al.*, 1989). L'apport énergétique devrait primer dans le choix d'un hybride de maïs pour l'ensilage plutôt que la teneur en protéine brute.

Digestibilité

Depuis une dizaine d'années, les travaux menés sur la digestibilité des hybrides n'avaient pas comme objectif de mesurer la digestibilité mais plutôt de vérifier la fiabilité des équations utilisées pour calculer la digestibilité potentielle. Les chiffres obtenus selon les nombreuses méthodes disponibles ne sont pas toujours cohérents avec les performances animales. La validation de la fiabilité de ces méthodes de calcul, par différents essais menés à la fois sur le terrain, en laboratoire et sur les animaux, ne peut que nous permettre de progresser.

Il semble que le choix de l'hybride se répercute sur la performance des bovins (Émile *et al.*, 1995). On a choisi les variétés qui obtenaient les meilleurs (M+) et les moins bons (M-) résultats lors d'essais de digestibilité chez les moutons, pour effectuer une expérience avec des vaches laitières. Le tableau 11 présente les résultats de cette expérience où on constate un net avantage pour la variété la plus digestible qui permet d'augmenter le niveau de production de lait de plus d'un kilogramme et la prise de poids des vaches de 22 kg par rapport à la variété moins digestible. On peut donc s'attendre à une hausse de la production de lait et à une plus faible perte d'état de chair avec un hybride plus digestible, ce qui est déjà beaucoup compte tenu de l'importance de ces deux critères pour un troupeau laitier.

Tableau 11. Effet du génotype de maïs sur la performance des vaches laitières (durée de l'expérience : 15 semaines)

	Génotype de maïs	
	M+	M-
Production laitière	28,1 kg	26,9 kg
Taux de matière grasse du lait	4,39 %	4,30 %
Taux de protéine du lait	3,05 %	2,99 %
Prise de poids durant l'expérience	28,1 kg	6,5 kg

Source : Emile *et al.*, 1995

L'hybride idéal pour le maïs-ensilage devrait avoir (Roth Greg, 1997) :

- un rendement maximal ;
- un rendement de qualité fourragère maximale ;
- une bonne résistance aux maladies ;
- une bonne résistance à la verse ;
- un amidon facilement dégradable et un taux de matière sèche adapté à la structure d'entreposage.

On peut distinguer les hybrides de maïs-ensilage à l'aide d'un graphique qui sépare visuellement les hybrides selon le rendement de lait à l'hectare et le rendement en lait par tonne d'ensilage (Figure 11). Si on se réfère à la valeur économique de l'ensilage de maïs, on comprend l'importance de choisir un hybride selon son potentiel de rendement au champ et sa qualité d'utilisation à l'étable. L'hybride idéal devrait se situer dans le quadrant supérieur droit ou «++».

Les hybrides peuvent également être évalués pour différents facteurs (le pourcentage de grains, le niveau de fibre NDF, le niveau de fibre ADF, le pourcentage de lignine, le taux d'amidon et la valeur énergétique ou énergie nette de lactation), chaque hybride obtenant une cote (premier choix, deuxième choix, etc.) pour chaque facteur. On peut voir au tableau 12 la relation qui existe entre la fibre ADF et l'énergie nette de lactation (ENI), laquelle est utilisée pour estimer la valeur énergétique des aliments. Cependant, la méthode d'évaluation de l'énergie employée actuellement et qui utilise la fibre ADF pour prédire l'énergie de l'ensilage de maïs est une «mesure remarquablement imprécise» (Van Soest, 1996).

Le tableau 12 démontre qu'il est difficile d'évaluer un hybride en se basant sur un seul critère (exemple : fibre ADF), d'où la complexité de la recherche de l'hybride idéal. À titre d'exemple, le premier choix pour le rendement en grain (hybride A) n'est pas nécessairement le choix numéro 1 pour son contenu en fibre ADF (hybride B).

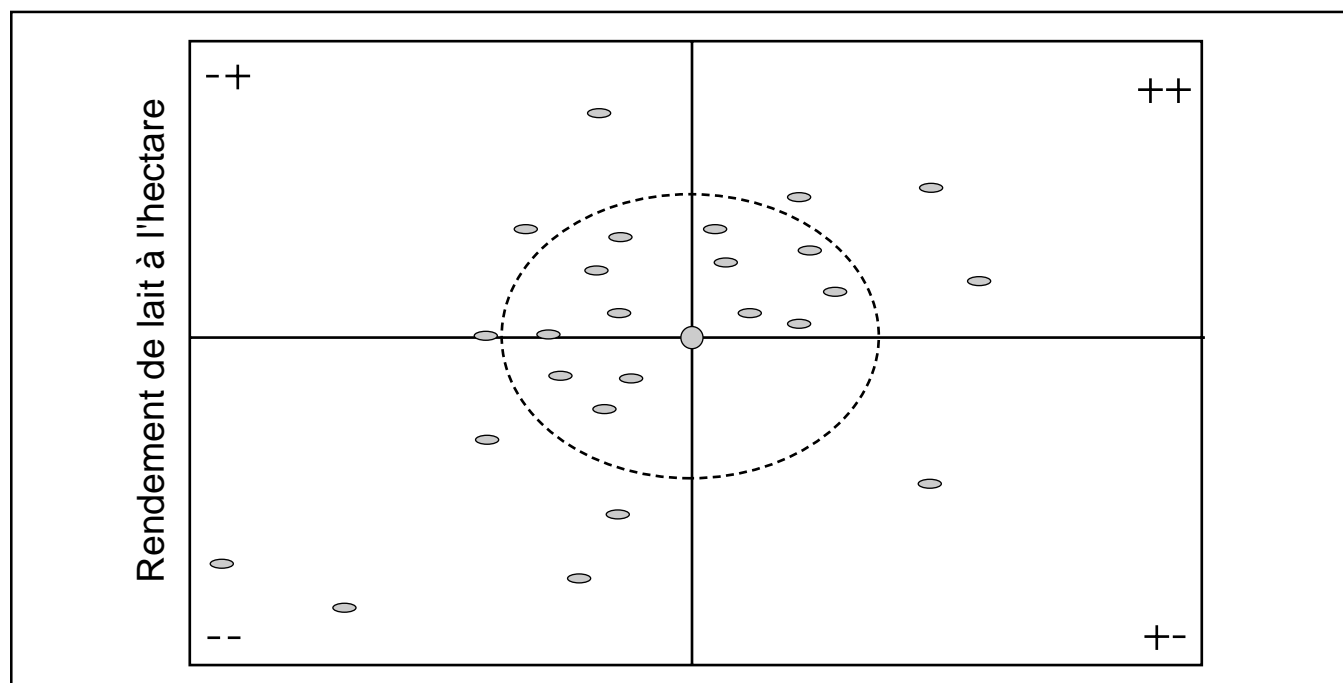
Un autre point dans notre recherche pour l'hybride idéal est le fait que, depuis 50 ans, toute la recherche était directement liée à l'augmentation du rendement en grain, ce qui explique que les meilleurs hybrides de maïs-ensilage sont étroitement liés aux meilleurs hybrides de maïs-grain. On pourrait faire une comparaison avec les races laitières où depuis «toujours», le modèle recherché était un rendement maximum en lait et en gras, avec la meilleure conformation possible. Aujourd'hui, on recherche un taux de protéines le plus

Tableau 12. Évaluation du maïs-ensilage selon plusieurs facteurs

Hybride	Cote					ENI
	% Grain	% NDF	% ADF	% Lignine	% Amidon	
A	1	2	2	1	1	2
B	4	1	1	2	4	1
C	5	3	3	4	2	3
D	2	4	4	3	3	4
E	6	5	5	5	6	5
F	3	6	6	6	5	6

Note : ENI = Énergie nette lactation (Mcal/kg)

Figure 11. Hybride idéal pour le maïs-ensilage en relation avec sa performance au champ et à l'étable



élevé possible, sans pour autant sacrifier toute l'évolution passée.

Les nouvelles recherches basées sur l'évaluation des hybrides par mesure de digestibilité de la plante avec la spectroscopie à réflexion dans le proche infrarouge (NIRS), ou d'autres méthodes comme celle de Boever ou la méthode enzymatique *in vitro*, permettent une bien meilleure évaluation du potentiel d'un hybride.

Autres caractéristiques à rechercher chez un hybride

Résistance aux maladies

Par résistance aux maladies, on réfère aux maladies du feuillage comme la kabatiellose (*Kabatiella zea*) qui est la plus répandue au Québec. Les maladies du feuillage peuvent causer des pertes de rendement en plus d'affecter la qualité fourragère de l'épi comme c'est le cas avec la fusariose. Ce champignon, qui sécrète des mycotoxines, peut nuire à la santé et à la performance des animaux. Une récolte hâtive et un niveau d'humidité adéquat (63 à 70 %) selon la structure d'entreposage utilisée assurent une bonne compaction et permet de réduire la multiplication des mycotoxines. Pour ces raisons, il est important qu'un hybride soit résistant aux maladies, donc bien adapté à son environnement. La rotation des cultures et un bon contrôle des mauvaises herbes permettent une diminution du risque de propagation du champignon.

Résistance à la verse

Un port solide de l'hybride est essentiel afin qu'il puisse résister aux vents et aux autres intempéries et ainsi faciliter la récolte. Une sélection accrue de la résistance à la verse ou à la casse, surtout à maturité ou maturité avancée du grain, peut conduire à une diminution de la digestibilité ou de l'ingestibilité des fourrages. La résistance à la verse est un facteur à ne pas négliger lorsque l'on produit du maïs-ensilage, bien que ce critère soit encore plus important pour la culture du maïs-grain en raison de sa récolte tardive. Une étude a démontré que la sélection pour la résistance à la verse avec des variétés à tiges moins fibreuses et de bonne digestibilité était possible (Roth Greg, 1997). Les hybrides modernes qui possèdent une bonne résistance à la verse ont généralement une teneur en hydrates de carbone plus élevée au niveau de la tige, ce qui aide à combattre les microorganismes qui s'y attaquent et augmente ainsi la digestibilité de ces hybrides. La recherche a démontré qu'il existe un lien positif entre la digestibilité de la tige et la sélection pour une bonne résistance à la verse. Ce phénomène s'explique par la disposition de la fibre dans la tige et non par sa concentration totale. De plus,

les hybrides verts (*staygreen*) possèdent une meilleure santé et une meilleure résistance à la verse.

Amidon facilement dégradable

L'amidon facilement dégradable fait référence à un grain de type denté dont l'amidon est de faible densité. Les Européens semblent préférer un maïs de type corné dont l'amidon est plus dense et l'endosperme plus rigide, mais ils utilisent des fourragères équipées de conditionneurs de plantes entières qui broient le grain.

Si le maïs-ensilage est récolté avant sa maturité physiologique (point noir), par exemple au stade 3/4 de la ligne d'amidon, le processus de fermentation aura pour effet de cristalliser l'amidon, d'égaliser la densité du grain et de le rendre plus rapidement dégradable. Des études sont actuellement menées afin de vérifier s'il y a des différences entre divers types de grains.

Un hybride n'a pas de valeur intrinsèque. On observe beaucoup plus de variations entre les parcelles pour un même hybride, qu'entre les hybrides d'une même parcelle (en utilisant la même méthode). De plus, l'efficacité alimentaire du maïs-ensilage est liée aux caractéristiques de la plante à la récolte, elles-mêmes liées à la précocité de l'hybride, aux pratiques culturales, à son stade de maturité, au pourcentage de grain et à l'état physiologique des tiges et des feuilles.

Peuplement de l'hybride (population et espacement variable)

Plusieurs hybrides sont sélectionnés en se basant sur leurs performances et leur adaptation à un taux de semis élevé. Afin de mesurer l'effet du peuplement sur la digestibilité d'un hybride, une étude a été menée durant trois ans dans le sud-ouest de l'État de New York. On a mesuré la variation entre les hybrides, leurs espacements et leurs populations sur la qualité et le rendement du maïs-ensilage. Les résultats nous indiquent une augmentation de rendement de 4,2 % lorsque l'espacement est de 15" plutôt que de 30" avec 5 populations différentes. Notons qu'en 1995, on n'a pas enregistré d'augmentation de rendement pour un espacement de 15", puisque le rendement a plafonné à 32 000 plants/acre (Figure 12). Le rendement maximum était de 36,000 plants/acre pour les 2 espacements en 1994 et 1996. Finalement, la fibre NDF (Figure 13) augmente avec la population de façon plus marquée en 1994 et en 1996. (Cox et Cherney, 1997). Cette étude démontre qu'il y a un compromis à faire car le rendement augmente au détriment de la digestibilité. Il restera à chacun de choisir son équilibre.

Figure 12. Relation entre le nombre de plants à l'acre et le rendement de l'hybride de maïs

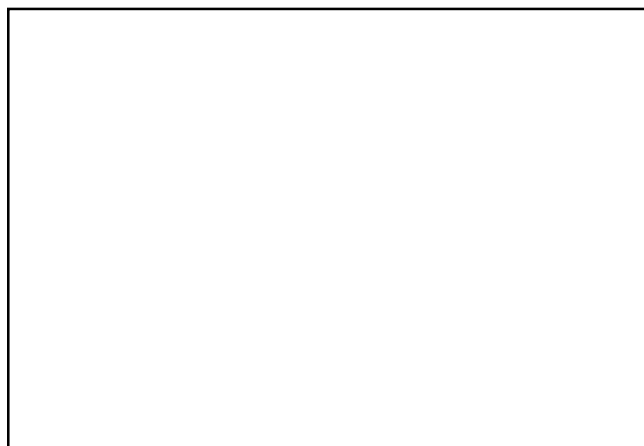
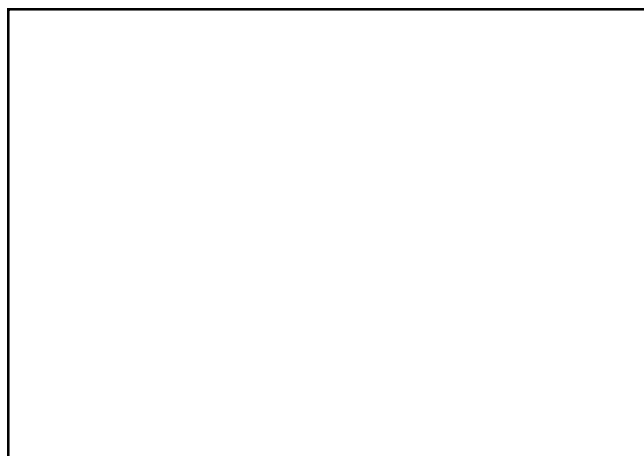


Figure 13. Relation entre le nombre de plants à l'acre et le niveau de fibre NDF de l'hybride



Nouveautés dans les hybrides de maïs-ensilage

Maïs à haute teneur en huile (*high-oil*)

Comme son nom l'indique, le maïs à haute teneur en huile en contient davantage. Comme l'huile fournit 2,25 fois plus d'énergie que l'amidon, ces hybrides de maïs devraient procurer plus d'énergie. Cette augmentation de la teneur en huile du grain se fait toutefois au détriment de celle de l'amidon. Chez le maïs, l'huile se situe principalement au niveau du germe ; l'augmentation de la teneur en huile s'obtient donc par l'augmentation de la taille du germe. Le germe contient aussi des protéines de meilleure qualité (contenant plus d'acides aminés essentiels). Il existe deux méthodes de production de l'hybride à haute teneur en huile : la

méthode *TopCross* et le croisement simple. L'avantage du croisement simple est que le maïs s'autoféconde, chaque plant produisant du pollen, ce qui réduit les risques en cas de stress lors de la période de pollinisation. De son côté, la méthode *TopCross* a l'avantage de produire une plus haute teneur en huile. Le grain de maïs conventionnel contient environ 3,5 % d'huile, le croisement simple, 5,7 % et la méthode *TopCross*, 7 à 8 %. En considérant l'ensilage de maïs à haute teneur en huile, les producteurs ne doivent pas perdre de vue que l'augmentation de l'huile dans le grain sera diluée par la partie fourrage.

En constatant que 50 % de l'ensilage est composé de grains, une augmentation de 3 % d'huile dans le grain équivaut seulement à une augmentation de 1,5 % dans l'ensilage de la plante entière. De plus, l'augmentation de la grosseur du germe se fait au détriment du contenu en amidon. L'amidon étant un substrat important pour les bactéries du rumen, une teneur réduite en amidon pourrait limiter la quantité de protéine microbienne au niveau du petit intestin.

Les résultats de recherche actuels (Dhiman *et al.*, 1996 et Drackley *et al.*, 1996) ne rapportent aucun avantage à utiliser les hybrides à haute teneur en huile pour la production laitière. La digestibilité apparente de la matière sèche de ces hybrides est similaire à celle des hybrides conventionnels (Dhiman *et al.*, 1996 et Drackley *et al.* 1996). On observe même une diminution de la digestibilité de la matière sèche lorsque la proportion d'ensilage de maïs à haute teneur en huile dépasse 50 % de la matière sèche de la ration.

Les producteurs laitiers doivent évaluer avec soin le potentiel de rendement des hybrides à haute teneur en huile en se basant sur la digestibilité de la plante entière. Le coût de substitution des sources de gras (soya, graines de coton, gras animal, etc.) doit être considéré, de même que la quantité maximale pouvant être incluse dans la ration sans affecter la digestibilité de la fibre (7,5 % de la matière sèche de la ration totale sous forme de gras). Les recommandations sur le maïs à haute teneur en huile pour les bovins de boucherie s'apparentent de près à celles des bovins laitiers, plusieurs facteurs étant semblables.

Maïs cireux (*waxy*)

On parle ici d'une caractéristique du grain découverte en Chine en 1908. Le maïs cireux se différencie par son amidon composé à 100 % d'amylopectine au lieu de 75 % chez le maïs conventionnel. Bien qu'on s'attendrait à un grain plus digestible, aucune étude ne confirme ces attentes (Allen *et al.*, 1997). On rapporte une utilisation équivalente de la protéine et de l'énergie chez des porcs en croissance pour les deux types de grain (Hawton *et al.*, 1996).

Maïs à haute teneur en lysine

Le maïs à haute teneur en lysine a été découvert à l'Université de Purdue en 1960 (Hawton *et al.*, 1996). Bien qu'il permette de meilleures performances chez les porcs en croissance, il existe peu d'information sur son utilisation par les ruminants et aucune ne concerne le maïs-ensilage.

Maïs *Brown midrib*

Ce type de maïs a été observé pour la première fois en 1924. La première étude rapportant une baisse de la teneur en lignine du maïs date de 1931 (Cherney *et al.*, 1991). La teneur en lignine est un des facteurs limitant la digestibilité des parois. Toutefois ce n'est pas le seul : la composition biochimique de la lignine et la nature des acides phénoliques qui y sont liés interviennent aussi (Emile *et al.*, 1996). Le maïs *Brown Midrib* est associé à des rendements en grain et en maïs-ensilage réduits et à de pauvres qualités agronomiques. Avec l'usage d'un tel hybride, plusieurs études rapportent des augmentations significatives de la production de lait (Frenchick *et al.*, 1976) et l'une d'entre elles (Block *et al.*, 1981) mentionne un pH ruminal bas et une augmentation de la concentration en acide propionique dans le rumen. Les effets du maïs-ensilage *Brown Midrib* sur la fermentation ruminale et la composition du lait sont inconsistants et devraient être approfondis (Allen *et al.*, 1997). Une baisse de 40 % du taux de lignine a été rapportée chez les hybrides *Brown Midrib* alors que le taux moyen est de 3,75 %.

Des recherches effectuées au Michigan ont permis de comparer un hybride de maïs auquel on a incorporé le gène *Brown Midrib* et un hybride normal (Allen *et al.*,

Tableau 13. Effet de la présence du gène *Brown Midrib* sur la qualité et le rendement fourrager de deux hybrides

Critères de rendement et de qualité	<i>Brown Midrib</i>	Normal	Degré de signification
Matière sèche (%)	31,4	34,4	***
NDF (%)	43,8	44,7	NS
ADF (%)	22,6	24,0	***
Lignine (%)	1,7	2,8	***
Digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche (%)	78,0	73,8	***
Digestibilité <i>in vitro</i> de la fibre NDF (%)	49,9	41,5	***
Protéine brute (%)	8,4	8,2	*
Rendement de matière sèche (t/ha)	16,0	18,3	***

NS = Non significatif ; * = P < 0,05 ; ** = P < 0,01 ; *** = P < 0,001

1997). Les deux hybrides ont été produits dans deux zones de maturité (trois localités par zone) pour l'année 1994 et l'année 1995. Les résultats sont présentés aux tableaux 13 et 14.

Comme le montre le tableau 13, la teneur en fibre ADF et en lignine de l'hybride possédant le gène *Brown Midrib* est plus faible, ce qui se traduit par une hausse de la digestibilité. Toutefois, une baisse de rendement d'environ 10 à 15 % est à prévoir avec un tel hybride.

Tableau 14. Effet de l'usage d'un hybride de maïs doté du gène *Brown Midrib* sur la performance des vaches laitières à haut rendement

Critères de rendement et de qualité	<i>Brown Midrib</i>	Normal	Degré de signification
Consommation de matière sèche (kg)	25,50	23,50	***
Production de lait (kg)	41,60	38,90	***
Matières grasses (%)	3,43	3,46	NS
Protéines (%)	2,99	2,95	NS
Lactose (%)	4,90	4,85	NS
Changement de l'état de chair (par 28 jours)	+ 0,11	+ 0,02	*

NS = Non significatif ; * = P < 0,05 ; *** = P < 0,001

L'expérience a été effectuée sur 32 vaches laitières ayant complété 89 jours de lactation. L'ensilage de maïs constituait 44 % de la ration équilibrée pour contenir 19,6 % de protéine brute et 31 % de fibre NDF. Comme le démontrent les résultats du tableau 14, la production laitière a été significativement améliorée avec l'usage de l'hybride *Brown Midrib* (+2,7 kg) sans en affecter la composition. Les vaches qui consommaient cet hybride ont perdu moins de poids. Ces résultats laissent entrevoir des possibilités très intéressantes.

L'usage des hybrides *Brown Midrib* comporte cependant des inconvénients qui ont été soulignés par des recherches antérieures et dont il faut tenir compte : la diminution des rendements, la susceptibilité à la verse, le manque de vigueur et de croissance en début de végétation et, finalement, le retard de la floraison. Ces inconvénients expliquent pourquoi ce type d'hybride n'a pas connu le succès escompté (Lauer et Coors, 1997).

Maïs feuillu et le maïs feuillu nain

Le maïs feuillu nain contient un gène qui produit plus de feuilles au-dessus de l'épi, une tige plus fine, un

grain de texture plus molle (Thomas, 1997). Le maïs feuillu nain offre la possibilité de semer à un taux plus élevé en raison du port dressé de ses feuilles (à l'opposé du maïs feuillu). Toutefois, le maïs feuillu ne démontre aucune différence au niveau de la digestibilité de la fibre NDF et de l'amidon (Allen *et al.*, 1997).

Maïs BT

Il s'agit d'un hybride de maïs auquel on a transféré un gène de résistance à la pyrale. Actuellement, aucun résultat concernant la digestibilité du maïs BT n'a été publié. Toute amélioration génétique ou d'autre nature qui contribuent à réduire le stress subi par un plant de maïs aura un effet positif sur sa santé et son rendement. Il s'agit alors de vérifier si l'avantage qu'il procure est économiquement justifiable.

RÉCOLTE

Stade optimum de récolte

Pour obtenir un produit de qualité, il est crucial de récolter à la bonne période. Pour quoi faut-il opter en priorité ?

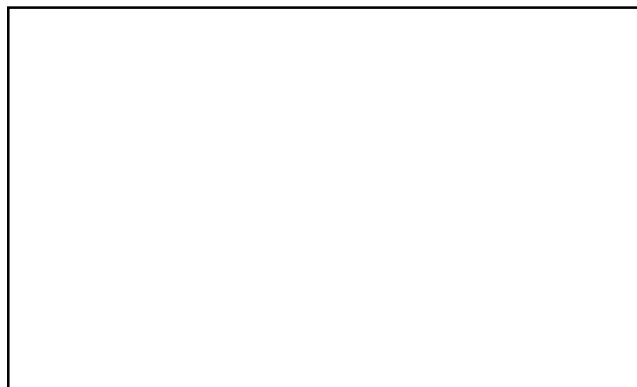
- a) un stade de maturité de la plante (% de matière sèche) approprié à la structure d'entreposage ;
- b) un taux minimum de sucres fermentescibles ;
- c) un stade physiologique mi-pâteux du grain de maïs.

Toutes ces affirmations sont des éléments qui permettent de prendre une décision plus éclairée quant au moment propice pour récolter. En résumé, le but recherché est d'obtenir un rendement optimum au champ, combiné à une bonne qualité de fermentation et de conservation. En général, ces objectifs coïncident lorsqu'on récolte la plante entière à un taux d'humidité variant entre 63 et 70 % selon le type de structure d'entreposage. Ce stade correspond à une maturité du grain de maïs qui oscille entre 1/2 et 3/4 de la ligne d'amidon du grain (Figure 14).

La figure 14 illustre la relation entre le niveau de maturité du grain et le rendement de la plante entière (Wiersma *et al.*, 1993). Les sites d'expérimentation du centre-nord des États-Unis correspondent aux conditions du Québec, soit de 80 à 105 jours de maturité relative. Ainsi, les travaux de recherche des Universités situées au Wisconsin, au Minnesota et dans l'État de New York (Cornell) devraient être nos références de comparaison.

Lorsqu'on consulte des articles scientifiques sur la production fourragère d'hybrides de maïs, il est tou-

Figure 14. Illustration de la période optimum de rendement du maïs-ensilage selon le stade de développement du grain.



Source : Wiersma *et al.*, 1993

jours prudent de s'assurer que les informations relatives à ces résultats sont compatibles avec les conditions de culture de sa région. Les références qui auraient été obtenues dans des régions plus chaudes, la Californie par exemple, ne seraient pas appropriées.

Comme indice visuel de maturité, la ligne demi-amidon et point noir est le stade de développement optimum pour récolter l'ensilage entre 30 et 40 % de matière sèche, en considérant les variations saisonnières et les précipitations (Crookston et Kurli, 1988). Ces derniers facteurs influencent beaucoup la relation entre la ligne de maturité du grain et son contenu en matière sèche.

Les résultats du tableau 15 démontrent qu'un rendement optimum est atteint lorsque la ligne d'amidon est aux 3/4 et que le taux d'humidité se situe à 63 %. Ce taux d'humidité correspond aux recommandations d'entreposage dans les silos verticaux où l'écart suggéré pour favoriser une bonne fermentation et une bonne conservation varie de 63 à 68 % (Carter, 1993). Généralement, le grain est la partie de la plante qui évolue le plus rapidement dans le mois qui précède la récolte et le développement de sa maturité est un bon indice de l'évolution de la matière sèche de la plante entière. Le tableau 16 indique les points de repère à retenir pour juger de la maturité du maïs et du stade optimum de récolte.

Des recherches (Bal *et al.*, 1996) ont permis de constater que la production laitière était maximale pour une maturité du grain approchant les 2/3 de la ligne d'amidon, à un niveau d'humidité de l'ensilage de 65 % (Tableau 17). À un stade plus avancé, la digestibilité diminue et l'aliment se conserve moins bien.

Des semis tardifs ou un automne trop hâtif peuvent occasionner une récolte du maïs-ensilage après une ou plusieurs gelées. En général, les gelées hâtives et les nuits froides d'automne affecteront les parties hautes de la plante. Des gelées sévères peuvent provoquer

Tableau 15. Résultats moyens sur 3 ans pour 5 différents stades de maturité selon divers critères d'évaluation

Maturité	M.S. % tonne/ha	Rendement brut (%)	Protéine (%)	ADF (%)	NDF (%)	Digestibilité
Laiteux	24	12,12	10,3	27,2	52,7	77,1
Pâteux	27	12,57	9,9	24,3	48,0	79,0
1/2 amidon	34	14,14	9,2	22,8	45,1	80,0
3/4 amidon	37	14,37	8,9	23,8	47,3	79,6
Maturité	40	14,14	8,4	24,0	47,3	78,6

Source : Wiersma, 1993

Tableau 16. Points de repère pour le jugement de la maturité du maïs destiné à l'ensilage

Stade	Aspect du grain	Humidité grain (%)	Matière sèche Tige + feuilles (%)	Matière sèche Plante entière (%)
Laiteux	Jaune pâle et coule à l'écrasement La plante est verte	60-70	18	<20
Pâteux	Jaune pâle, s'écrase facilement Absence de jus Feuilles et spathes vertes	50-60	19	25
Pâteux dur	Jaune, commence à durcir se raye à l'ongle Feuilles basses, les spathes se dessèchent	45-50	20	30
Vitreux	Grain dur, ne se raye plus à l'ongle Feuilles de l'épi et spathes desséchées	<40	22-23	35
Maturité	Dur. Apparition point noir au point d'attache du grain	<35	28-30	40-45

Source : INRA, 1989

Tableau 17. Effets de la maturité du grain sur la valeur alimentaire de l'ensilage de maïs.

	Début dentition	1/4 de ligne d'amidon	2/3 de ligne d'amidon	Point noir
Production laitière (kg)	32,4 ^b	32,6 ^{ab}	33,4 ^a	32,7 ^{ab}
Matières grasses (%)	3,61	3,50	3,41	3,52
Digestibilité de l'ADF (%)	45,7 ^a	38,3 ^b	33,6 ^c	29,4 ^d
Digestibilité de l'amidon (%)	94,1 ^a	92,9 ^{ab}	92,2 ^b	87,7 ^c

a, b, c : Sur une ligne, les résultats accompagnés d'une même lettre ne sont pas significativement différents

Source : Bal, 1996

l'arrêt de croissance du plant avant qu'il n'ait atteint la maturité idéale pour la récolte. Dans ce cas, la récolte du maïs avant la maturité entraînera une réduction de rendement et un taux d'humidité plus élevé qui pourrait néanmoins être corrigé par l'ajout de grain ou d'aliments secs selon les structures disponibles. Des essais suggèrent l'incorporation de 15 kg de grain ou de foin haché par tonne d'ensilage pour chaque 1 % d'humidité de trop. Pour le maïs qui subit une gelée près du stade optimum de récolte, il n'y a pas de contraintes majeures à effectuer la récolte, mais de façon rapide. Des journées chaudes suivant une période de gel entraîneront un dessèchement rapide du plant qui devra être récolté sans délai pour réduire les pertes (récolte, entreposage et reprise). Il est important de récolter le maïs à un taux d'humidité adapté au type de structure d'entreposage utilisé.

Traitement du grain par roulage d'ensilage de maïs

Plusieurs chercheurs reconnaissent que la récolte du maïs à un stade de maturité avancé diminue la valeur alimentaire de l'ensilage (Harrison *et al.*, 1996a) et on rapporte que jusqu'à 25 % du grain mature (point noir) non broyé du maïs-ensilage peut se retrouver dans les déjections (Harrison *et al.*, 1996b). Le maïs moulu fournit plus de 7 % d'énergie de plus que le maïs rond (1,96 plutôt que 1,84 Mcal/kg) selon les tables des besoins alimentaires des bovins laitiers (NRC, 1988).

L'acquisition d'équipements pour broyer le grain lors de la récolte de maïs-ensilage était limitée durant les dernières 30 années puisque les équipements de roulage n'étaient disponibles que sur les fourragères automotrices. En Europe, les coopératives d'utilisation de matériel agricole (CUMA) regroupent les producteurs pour l'acquisition de tels équipements. De plus, tel que mentionné précédemment, le maïs européen est généralement de type corné et bénéficie avantageusement d'un broyage comparativement au maïs de type denté qui est généralement utilisé au Québec.

Les raisons qui ont limité l'intérêt pour le broyage du grain en Amérique du Nord sont liées à la faiblesse des réponses obtenues chez les animaux (Savoie, 1996).

Dans la plupart des recherches, l'ensilage était finement coupé (3-10 mm) et le broyage n'apparaissait pas justifié. Plus récemment, on a suggéré une longueur de coupe plus grossière (10-15 mm) pour améliorer la mastication et les fonctions ruminales avec l'objectif de diminuer l'impact négatif d'une fibre trop courte sur le gras du lait (Harrison *et al.*, 1996b). Les plus récentes recherches en Amérique du Nord indiquent que le traitement du maïs-ensilage contribue à une augmentation de la production laitière de 0,7 à 0,8 kg/jour (Harrison *et al.*, 1996b).

Dans un premier essai présenté au tableau 18A, on a observé une augmentation de la production laitière de 0,8 kg chez la vache alimentée à partir d'une ration composée à 30 % (base de matière sèche) d'ensilage conditionné par rapport à celle composée d'un ensilage non conditionné. De plus, on observe une augmentation de la consommation avec l'usage d'un traitement du grain (1,4 kg de matière sèche/jour).

Dans un deuxième essai, on a évalué les effets du broyage avant et après la fermentation de l'ensilage de maïs récolté au point noir. Le maïs-ensilage a été broyé avant la fermentation par une fourragère munie d'un conditionneur. Un appareil à cylindres stationnaires a été utilisé pour broyer l'ensilage après fermentation. Les rations contenaient environ 40 % d'ensilage de maïs.

Les systèmes de broyage recommandés sont plus efficaces lorsque le traitement est effectué au champ et conviennent mieux pour la récolte d'une quantité importante d'ensilage.

Un système de coupe situé entre les couteaux et la soufflerie réduit la demande d'énergie, tout en augmentant la longueur théorique de coupe. Les rouleaux assurent une finesse du produit en raccourcissant les particules de 12 mm à 9 mm. L'espace suggéré entre les rouleaux est de 3 à 6 mm, selon le niveau de dureté des grains à traiter.

Tableau 18A. Effets du conditionnement du maïs-ensilage sur la performance laitière

Critères de performance laitière	Maïs-ensilage conditionné	Maïs-ensilage non conditionné	P<
Consommation de matière sèche (kg/jour)	24,4	23,0	—
Grains de maïs dans le fumier (%)	0,86	3,15	—
Amidon dans le fumier (%)	2,93	3,96	—
Lait (kg/jour)	36,8	36,0	0,01
Lait corrigé à 3,5 % (kg/jour)	37,3	37,4	NS
Protéines laitières (kg/jour)	1,16	1,13	0,01
Lactose (kg/jour)	1,82	1,78	0,01

Source : Harrison *et al.*, 1996b NS = Non significatif.

Tableau 18B. Effets du conditionnement du maïs-ensilage avant et après fermentation sur la performance laitière

Critères de performance laitière	Maïs-ensilage conditionné avant fermentation	Ensilage conditionné après fermentation	P<
Consommation de matière sèche (kg/jour)	23,6	23,7	—
Grains de maïs dans le fumier (%)	1,31	1,65	—
Amidon dans le fumier (%)	3,34	3,59	—
Lait (kg/jour)	38,6	37,9	0,01
Lait corrigé à 3,5% (kg/jour)	37,5	36,8	0,05
Protéines laitières (kg/jour)	1,20	1,17	0,01
Lactose (kg/jour)	1,90	1,56	0,01

Source : Harrison *et al.*, 1996b

Des résultats de recherche indiquent que les systèmes de roulage du grain de maïs-ensilage sont bénéfiques pour des variétés récoltées à un stade maturité avancée et où la proportion de grain est importante (30 à 40 % de la matière sèche du mélange). Le coût de cette option pour une fourragère équipée de rouleaux peut varier entre 10 000 \$ et 15 000 \$ (Savoie, 1996). Le traitement de roulage entraîne une augmentation des coûts de 5 à 10 \$ par tonne de matière sèche pour un maïs mature (Savoie, 1996) (Harrison, 1996b).

Pour un retour du capital investi sur 3 ans, il faut prévoir la récolte d'environ 1 500 tonnes de matière sèche de maïs-ensilage afin de rendre justifiable l'utilisation d'un tel système. Jusqu'à maintenant, cette technologie n'est disponible que sur les modèles de fourragères automotrices. Ce procédé devrait être bientôt disponible pour les fourragères traînantes avec un coût qui devrait osciller aux alentours de 6 000 \$.

Entreposage du maïs-ensilage

Au Québec, compte tenu de la grosseur moyenne des troupeaux laitiers, les utilisateurs ont opté pour une structure d'entreposage verticale du maïs-ensilage. L'ensilage de maïs est souvent associé à un fourrage à base de légumineuses sous forme de foin ou d'ensilage demi-sec. L'ensilage de maïs compose 30 à 75 % de la ration fourragère. Selon le taux d'utilisation, la quantité de maïs-ensilage se situerait entre 3,75 t et 9,4 t/an/vache (35 % matière sèche).

En jumelant la quantité de maïs-ensilage avec la variation d'incorporation et la grosseur du troupeau, on obtient le volume nécessaire pour l'entreposage (Tableau 19).

Structure d'entreposage

Le taux d'humidité du plant est normalement un indicateur permettant d'identifier la période appropriée de récolte selon le type de structure d'entreposage utilisé.

Tableau 19. Volume d'entreposage nécessaire (tonnes/an) selon la grosseur du troupeau

--

TYPE DE STRUCTURE	HUMIDITÉ OPTIMUM (%)
Silo horizontal, silo meule ou silo presse	68 à 72
* Silo vertical	63 à 68
Silo à atmosphère contrôlée	50 à 60

* Pour les silos verticaux dépassant 15 m de hauteur, le pourcentage d'humidité de la plante entière doit être inférieur de 1 % à tous les 3 m de hauteur supplémentaires.

Exemple :

Hauteur (m)	% humidité
15	63 à 68
28	62 à 67
21	61 à 66
24	60 à 65

À partir des tables de références estimant la capacité d'entreposage de différentes grandeurs de silo pour une gamme d'ensilages récoltés à des taux d'humidité variables, on suggère de majorer de 5 % le contenu en maïs-ensilage pour cette charte (Tableau 20).

Selon le niveau d'introduction du maïs-ensilage dans la ration, la quantité prélevée quotidiennement devrait se situer à un niveau minimum de 5 cm par jour (ce niveau est fortement relié à la densité de l'ensilage).

Tableau 20. Capacités estimées de silos verticaux pour l'ensilage de maïs à différents taux d'humidité

SILO		SILO CIMENT			SILO ACIER		
Diamètre et hauteur		Capacité en maïs-ensilage humidité (tonnes tel que servi)					
(pieds)	(mètres)	60 %	65 %	70 %	60 %	65 %	70 %
14×40	4,3×12,2	96	110	130	102	117	137
14×50	4,3×15,2	124	143	168	134	152	177
14×55	4,3×16,8	139	159	187	149	170	197
16×50	4,9×15,2	167	191	224	177	202	234
16×60	4,9×18,3	206	235	275	220	249	287
16×65	4,9×19,8	225	258	300	241	273	314
18×50	5,5×15,2	216	247	288	227	258	299
18×60	5,5×18,3	266	304	353	281	318	367
18×70	5,5×21,3	317	361	419	336	379	435
20×60	6,1×18,3	335	381	442	351	396	456
20×70	6,1×21,3	399	453	524	419	471	540
20×80	6,1×24,4	464	526	607	487	547	625
24×60	7,3×18,3	494	560	647	512	577	662
24×70	7,3×21,3	590	667	767	611	686	784
24×80	7,3×24,4	685	773	888	710	795	907

Source : Jofriet, 1996

Il est très important d'avoir une structure bien adaptée à la vitesse de reprise pour éviter une dégradation de la qualité de l'ensilage.

ADDITIFS

Les additifs d'ensilage se divisent en différents types. Ces catégories englobent les inoculants bactériens, les enzymes, les acides, les sucres, les sels, les additifs d'azote non protéique et des combinaisons des additifs précédents.

Pour un choix éclairé, il est important de connaître le rôle que les additifs peuvent jouer pour atteindre les résultats recherchés. Ces produits doivent être utilisés avec une bonne régie et non comme substituts à une mauvaise gestion.

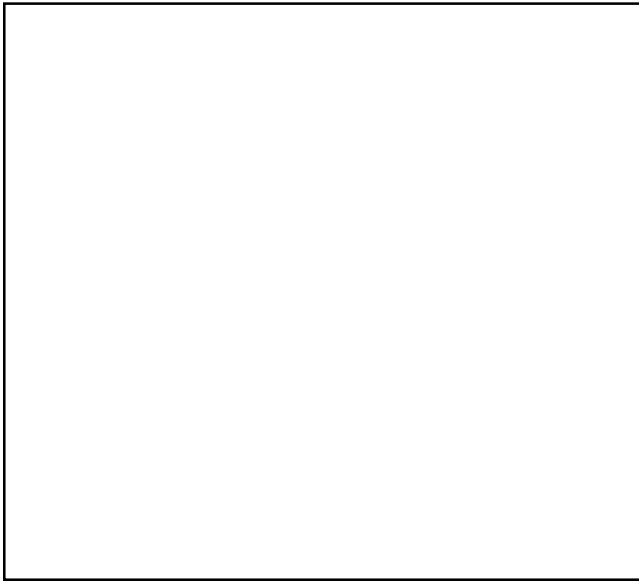
Bactéries

Les bactéries les plus fréquentes sont celles qui assurent une production naturelle d'acide lactique pour obtenir une fermentation rapide et efficace dans le silo. La plupart des inoculants bactériens ont la capacité d'augmenter le nombre bactéries à 100 000 par gramme d'ensilage. Les noms scientifiques des bactéries généralement utilisées sont *Lactobacillus plantarium*, autres *Lactobacillus*, *Pediococcus* et *Enterococcus (Streptococcus) faecium*. Ces bactéries sont sélectionnées pour leur potentiel d'adaptation (type de plante, pH, conditions d'humidité, etc.). Elles produiront, à partir des sucres de la plante, une quantité importante d'acide lactique. Les effets attendus à la suite de l'application d'un inoculant bactérien sont : une réduction rapide du pH de l'ensilage grâce à la production accrue d'acide lactique, une meilleure préservation de la protéine et une diminution des pertes de matière sèche de l'ordre de 1 à 2 %. Finalement, la baisse rapide du pH de l'ensilage aidera à maintenir à un niveau minimum la population de microorganismes qui favorisent la production d'acide acétique et d'acide butyrique. L'acide acétique serait cependant un meilleur inhibiteur de croissance des levures et des moisissures que l'acide lactique afin d'obtenir une stabilité supérieure de l'ensilage et ainsi éviter les pertes de chaleur et de matière sèche (après fermentation).

La compilation des recherches effectuées sur l'efficacité des inoculants bactériens entre 1990 et 1995 est présentée à la figure 15 (Kung et Muck, 1996). Des résultats positifs (réductions rapides du pH et meilleure production d'acide lactique) ont été obtenus dans 60 % des essais. Selon la figure 15, il semble clair que l'ajout de bactéries n'est pas toujours profitable. Si on veut utiliser ces produits de conservation, il est important de connaître les raisons qui les empêchent de produire les effets souhaités.

Pour mettre toutes les chances de son côté, on suggère de choisir un inoculant bactérien adapté à la culture à ensiler. De plus, cet inoculant devra fournir plus de 100 000 bactéries vivantes par gramme.

Figure 15. Fréquence des résultats positifs avec l'utilisation d'inoculants pour ensilage selon différents critères



Note : Le nombre total d'expériences est inscrit dans le carré
Source : Kung et Muck, 1996

Si vous utilisez un produit contenant des bactéries productrices d'acide propionique, il est important de savoir que l'acide propionique favorise une meilleure stabilité aérobique de l'ensilage. Par contre, ces bactéries sont moins efficaces que les bactéries productrices d'acide lactique dans le processus de fermentation.

Finalement, on suggère d'appliquer l'inoculant bactérien sous forme liquide afin d'obtenir une inoculation plus efficace et plus homogène de la masse traitée. Il faut prendre garde à la dilution du produit. On ne doit pas utiliser d'eau chlorée car le chlore (limite acceptable 1 ppm) détruit la population de bactéries et favorise les autres microorganismes moins désirables dans la masse d'ensilage. En conclusion, pour l'ensilage de maïs, la meilleure efficacité d'utilisation des inoculants à base de bactéries est obtenue lorsque le maïs est récolté :

- après une forte gelée ;
- après un stress dû à la sécheresse ;
- avant d'être mature ;
- alors qu'il est trop sec.

Azote non protéique

L'azote non protéique regroupe tous les produits qui renferment de l'azote (urée, ammoniacque, acides aminés des ensilages, etc.) sous une autre forme que celle provenant des protéines vraies. Une description

des produits généralement utilisés est présentée au tableau 21. L'azote non protéique est utilisé efficacement par la flore ruminale car sa forme se rapproche généralement de celle de l'ammoniacque (NH_3) qui est une source d'azote préférée des bactéries du rumen pour la fabrication de protéine microbienne. Il est à noter que l'azote non protéique doit être employé avec une source d'énergie rapidement disponible (hydrates de carbone rapidement fermentescibles) pour être utilisé efficacement, sinon il y a perte d'azote. L'utilisation de l'azote non protéique s'associe avantageusement avec l'ensilage de maïs dont la teneur en protéines est faible mais qui est riche en hydrates de carbone rapidement disponibles. Il convient par contre de se méfier du maïs qui aurait reçu de fortes doses d'azote et subi une sécheresse, puisqu'il peut contenir des teneurs élevées de nitrates et nuire à la santé des vaches. L'addition d'azote non protéique ne ferait qu'envenimer la situation.

L'addition d'ammoniacque ou d'urée à l'ensilage de maïs entraîne une élévation du pH de la plante ensilée en début de fermentation. L'ensilage de maïs a un pH d'environ 5,9 au moment de la mise en silo, mais si on y ajoute de l'ammoniacque, son pH augmente à un niveau de 8,5 à 9,0. La présence d'ammoniacque et un pH élevé en début de fermentation sont des conditions toxiques pour les levures, les moisissures et plusieurs bactéries présentes sur la plante au moment de la récolte. Elle a donc un effet non négligeable sur la stabilité de l'ensilage durant l'entreposage et dans la mangeoire. L'ammoniacque n'affecte cependant pas les mycotoxines déjà présentes sur la plante ensilée. Avec l'urée, la hausse de pH est moins subite et elle est moins efficace contre les microorganismes responsables de la détérioration de l'ensilage (moins bonne stabilité de l'aliment à la mangeoire que l'ammoniacque).

L'ammoniacque et l'urée rendraient la fibre plus digestible en brisant les liens entre l'hémicellulose et d'autres composantes des parois cellulaires. L'ammoniacque inactiverait ou diminuerait l'activité des enzymes protéolytiques présentes sur la plante fraîchement coupée en élevant le pH au début de la fermentation, ce qui aurait pour effet de préserver une partie des protéines de l'ensilage de maïs. Après fermentation, le pH final de l'ensilage de maïs traité à l'ammoniacque sera supérieur de 0,1 à 0,2 à celui d'un ensilage sans ammoniacque (pH de 3,9 à 4,0) et l'ensilage traité contiendra moins de sucres solubles (Muck et Limin, 1997).

L'ammoniacque anhydre ou aqueux est généralement plus utilisé que l'urée comme traitement sur l'ensilage de maïs pour les avantages suivants :

- inhibe la dégradation des protéines du maïs-ensilage (préserve une partie de la protéine du maïs-ensilage) ;
- améliore la stabilité de l'ensilage exposé à l'air ambiant en freinant la prolifération des moisissures durant la période de fermentation et à la reprise ;

- augmente la productivité et les performances des animaux en comparaison avec l'urée.

L'effet variable de l'azote non protéique sur les performances animales souligne l'importance de mélanger uniformément ce produit à l'ensilage de maïs pour en obtenir l'effet escompté.

L'utilisation de l'ammoniaque aqueux est plus sécuritaire que la forme gazeuse (anhydre). Cependant, peu importe la forme utilisée, des précautions s'imposent car ces produits constituent toujours un danger potentiel : l'utilisateur et les animaux peuvent être incommodés par les vapeurs d'ammoniaque qui se dégagent de la chute du silo.

Pour assurer une teneur en matière sèche minimale dans la ration totale et éviter que l'ensilage ne coule, on recommande souvent d'ensiler le maïs-ensilage plus sec qu'à l'ordinaire (à plus de 40 % de matière sèche). Il faut toutefois être prudent avec cette recommandation et ne pas dépasser le stade 3/4 de ligne d'amidon du grain de maïs lors de la récolte, sinon la digestibilité de l'ensilage diminue rapidement et on s'expose en plus à ce que la plante subisse plusieurs gelées, ce qui réduit sa valeur nutritive. On évite ces problèmes si la plante ensilée ne dépasse pas 38 % de matière sèche.

Les microorganismes du rumen ont aussi besoin d'une certaine période de temps pour s'adapter aux sources d'azote non protéique. Deux semaines de transition devraient suffire pour permettre aux ruminants de s'adapter à l'ensilage additionné d'azote non protéique. Il ne faut pas servir d'ensilage de maïs traité avec ces produits à des préruminants (génisses de moins de 4 mois).

Enzymes

Les enzymes brisent les liens entre les sucres qui composent les hydrates de carbone (fibres). La prin-

cipale enzyme est la cellulase qui permet de dégrader la cellulose et l'hemicellulose. L'amylase s'attaque à l'amidon, la pectinase à la pectine et la protéase aux protéines, cette dernière enzyme n'étant pas souhaitable, car elle dégrade les protéines de l'aliment.

Les principaux buts recherchés par l'ajout d'enzymes sont :

- réduire le contenu en fibres pour augmenter la digestibilité ;
- rendre plus de sucres disponibles pour la fermentation.

Les enzymes qui dégradent l'amidon et les fibres sont intéressantes pour l'ensilage de maïs. Ce produit s'utilise lorsque le maïs est ensilé à un taux d'humidité de 60 à 70 %. En essai, la stabilité aérobie des ensilages additionnés d'enzymes ne s'était pas améliorée dans deux cas sur trois.

Parmi les autres additifs, l'acide propionique est le produit recommandé comme agent de conservation en milieu aérobie. Lorsqu'il est appliqué à un taux de 0,2 à 0,4 % de la matière sèche, l'acide propionique a très peu d'effets sur la fermentation, mais le résultat final est d'améliorer la stabilité aérobie de l'aliment.

Les autres produits, comme les sucres (mélasse), les sels ou l'acide formique, semblent mieux fonctionner avec des ensilages plus humides. Pour le maïs-ensilage, on ne rapporte aucune recherche sur la qualité de conservation en milieu aérobie avec ces produits.

Parmi les résultats de recherche effectués entre 1990 et 1995 (Kung et Muck, 1996), on dégage certaines tendances pour les résultats positifs obtenus par l'addition d'enzymes (Figure 16). En général, les enzymes sont efficaces à 90 % dans les graminées, sont peu efficaces dans la luzerne et ont un effet variable dans les ensilages de maïs et de céréales. Les résultats positifs se traduisent par une réduction de 3 % des

Tableau 21. Caractéristiques et coûts d'utilisation de différentes sources d'azote non protéique

Produits	Définition	Coût du produit/tonne	Coût par tonne d'ensilage
Urée CO(NH₂)₂	Produit de couleur blanchâtre et de goût amer (45 % d'azote ou 281 % d'équivalent protéine).	624 \$	6,3 kg d'urée/tonne d'ensilage (3,93 \$/tonne)
Ammoniac anhydre (NH₃)	Gaz incolore et plus léger que l'air (82 % d'azote ou 512 % d'équivalent protéine).	750 \$	4,5 kg d'ammoniac anhydre/tonne d'ensilage (3,38 \$/tonne)
Ammoniaque aqueux (NH₄OH)	Produit liquide (eau et ammoniaque anhydre). Contient 24,25 % d'azote et 151 % d'équivalent protéine.	297 \$	13,5 kg d'ammoniac aqueux/tonne d'ensilage (4,00 \$/tonne)

Note : L'ensilage de maïs est à 35 % de matière sèche et on majore de 5 % le taux de protéines de l'ensilage pour en estimer le coût par tonne. Prix obtenus auprès de fournisseurs locaux et provinciaux.

Figure 16. Fréquence des observations de résultats positifs avec l'utilisation d'enzymes dans l'ensilage selon différents critères



Note : Le nombre total d'expériences est inscrit dans le carré
Source : Kung et Muck, 1996

fibres ADF et de 4 % des fibres NDF. Les critères d'efficacité de fermentation se sont améliorés dans moins de 50 % des essais. Les réductions des pertes d'entreposage et en milieu aérobie ont été variables et, finalement, la digestibilité de la matière sèche et de la fibre n'a pas été affectée par le traitement avec les enzymes.

DIAGNOSTIC DES PROBLÈMES D'ENSILAGE

Bien que les ensilages soient des aliments de base pour les rations laitières, ils constituent souvent un mystère lorsque des problèmes d'appétence, de faible consommation ou de faible production apparaissent.

Les producteurs d'ensilage savent bien que la qualité de ces aliments dépend des décisions et des pratiques de régie effectuées avant, pendant et après la récolte. Les principaux facteurs de régie qui sont sous le contrôle des producteurs (*Mahanna, 1993*) sont :

- la maturité et l'humidité du fourrage à la récolte ;
- les méthodes de récolte et de mise en silo ;
- le type de silo ;
- l'utilisation d'additifs ;
- les méthodes de reprises dans le silo ;
- la régie des mangeoires ;
- la formulation adéquate des rations.

Facteurs de récolte

La digestibilité de l'ensilage de maïs dépend de la maturité, de la génétique, des conditions d'environnement et de la progression de la maturité du maïs-ensilage (ligne d'amidon 1/3 jusqu'au point noir). Les parois cellulaires (NDF) vont diminuer avec l'avancement de la maturité du plant, en raison de l'augmentation de la proportion de grain (amidon) de la plante entière. Au point noir, l'augmentation des parois cellulaires de la tige et la réduction de la teneur en sucres causent à nouveau une augmentation de la NDF de la plante entière. La capacité de digestion de la plante par les microorganismes du rumen, mesurée par la technique *in situ* (24 heures), diminue de façon significative à chaque stade de maturité du grain. La fibre ADF, généralement utilisée comme indicateur pour prédire la valeur énergétique des aliments, ne serait pas un bon indicateur de la digestibilité de l'ensilage de maïs durant **cette période**.

Longueur de coupe

L'ensilage de maïs devrait être coupé à une longueur théorique de 8 à 12 mm. Une coupe plus longue peut occasionner les problèmes suivants :

- mauvais tassement ;
- fonctionnement difficile des videurs d'ensilage ;
- apparition de grains non digérés dans le fumier ;
- triage des particules d'aliments.

Une coupe plus courte que 8 mm favorise un meilleur tassement (surtout avec le maïs récolté plus tardivement) et peut augmenter la capacité du silo ; cela demande cependant plus de puissance, ce qui peut ralentir la récolte. On ne recommande généralement pas l'utilisation d'un tamis supplémentaire à moins que l'ensilage ne soit très sec parce que cela augmente encore la demande de puissance et ralentit la récolte.

Fermentation

Stade aérobie

Les ensilages subissent de nombreuses et complexes modifications biochimiques et microbiologiques entre le moment de la récolte et la distribution aux animaux. La fermentation débute par une respiration aérobie immédiatement après la récolte de la plante. Au cours de cette phase, les glucides solubles, surtout les sucres de la plante, sont transformés en CO₂, en chaleur et en eau par les enzymes contenues dans les cellules de la plante, de même que par les organismes aérobies présents sur le matériel ensilé. Ce processus va continuer jusqu'à ce que l'oxygène ou les sucres de la plante soient épuisés.

En conditions idéales d'humidité, de tassement et de longueur de coupe, le stade respiration ne devrait durer que quelques heures. Cependant, un silo manquant d'étanchéité peut nuire à l'ensilage en favorisant la prolifération d'organismes aérobies nuisibles tels que les levures et les bacilles à spores qui réduiront la stabilité aérobie de l'ensilage.

Protéines endommagées par la chaleur

Les ensilages dont la température a dépassé 49 °C sont souvent endommagés par la chaleur ou caramélisés. Ils sentent le tabac et sont de couleur foncée. Les causes de la surchauffe de la masse sont multiples :

- remplissage trop lent ;
- maturité trop avancée ;
- longueur de coupe trop longue ;
- mauvaise distribution ou tassement ;
- aliment trop sec.

La disponibilité de la protéine des ensilages caramélisés est plus faible à cause d'une réaction chimique (réaction de Maillard) qui lie la protéine à la fibre de la plante. Les ruminants ne possèdent pas l'enzyme nécessaire à la digestion de cette composante anormale.

Stade anaérobie de la fermentation

Une fois l'oxygène de la masse d'ensilage épuisé, la fermentation anaérobie commence et se caractérise par la croissance d'entérobactéries anaérobies (productrices d'acide lactique) et de nombreux autres types de bactéries hétérofermentatives productrices d'acide lactique.

À mesure que le pH continue de baisser, les bactéries homofermentatives productrices d'acide lactique prennent la place, ce qui accélère la diminution du pH. La baisse du pH commence lorsqu'il y a environ 100 000 bactéries lactiques par gramme d'ensilage. La température de l'ensilage va continuer à se stabiliser alors que les bactéries lactiques transforment les glucides en acides. Selon les pratiques de régie (maturité et humidité) et la flore bactérienne présente, différentes quantités d'acides gras volatils (acétique, propionique, butyrique et lactique) seront produites avec des isoacides divers.

En général, l'acide lactique domine les autres acides (plus de 60 % des acides organiques), soit 6 à 8 % de la matière sèche de l'ensilage.

Les acides de fermentation constituent un apport considérable d'énergie métabolisable à la vache. Bien que les acides gras volatils ne fournissent pas d'énergie pour la croissance microbienne et la production de

protéines, ils pourraient apporter certains facteurs de croissance (isoacides) à certaines bactéries du rumen. La vache laitière puise dans la protéine microbienne sa plus importante source d'acides aminés.

LES EFFETS DE L'ACIDITÉ DES ENSILAGES SUR LA CONSOMMATION

L'effet de l'humidité de l'ensilage par rapport à son pH de stabilité et l'effet de l'acidité sur le potentiel de consommation des animaux ont été étudiés par plusieurs chercheurs (Erdman, 1993). L'ajout d'eau à des fourrages secs n'a pas entraîné de baisse de consommation comme celle observée avec les mêmes aliments servis sous forme d'ensilage. Les acides (acétiques, lactiques et butyriques) présents en grande quantité dans les ensilages très humides semblent avoir un effet inhibiteur sur la consommation de ces aliments. Ces résultats confirment qu'en présence de grandes concentrations d'ensilage, il faut s'attendre à ce que la consommation volontaire de matière sèche diminue de l'équivalent de 0,02 % du poids vif pour chaque 1 % d'humidité supérieur à 50 %. Il est probable que ce phénomène soit causé par les sous-produits de la fermentation plutôt que par la teneur en eau de l'ensilage. Une revue de 28 études où du bicarbonate de sodium et d'autres produits tampons ont été ajoutés à l'ensilage servi indique une augmentation moyenne de consommation de plus de 0,5 kg/jour pour des vaches alimentées avec de l'ensilage de maïs seulement, comparativement à 0,2 kg/jour pour une ration composée d'ensilage de luzerne et d'ensilage de maïs. Les résultats positifs obtenus avec l'ensilage de maïs sont probablement liés à la plus grande proportion d'acide dans cet ensilage et justifient l'utilisation de produits tampons dans les rations à grande concentration d'ensilage de maïs.

RÉGIE DE LA REPRISE

L'étape finale de la régie des aliments fermentés comprend la reprise et l'alimentation à partir du silo. Cette étape, aussi importante que les autres, est souvent négligée. Des recherches ont démontré que jusqu'à 50 % des pertes de matière sèche de l'ensilage sont causées par la « détérioration aérobie secondaire » qui se produit à la surface de l'ensilage quand celui-ci est exposé à l'air dans le silo ou à la mangeoire.

Il faut résister à la tentation de construire un silo trop gros. Construisez les silos en ayant en tête les quantités prélevées quotidiennement. Dans le cas d'un silo vertical, il est important de prélever un minimum de

5 cm d'ensilage par jour l'hiver et moins de 8 cm l'été. Le prélèvement de 7 à 10 cm par jour vous aidera à devancer les explosions de populations qui rendent les ensilages instables.

PROBLÈMES DE MOISSURES ET DE MYCOTOXINES

Après avoir travaillé aussi fort pour semer, récolter et entreposer les fourrages et les grains humides, la dernière chose qu'un producteur laitier veut voir, c'est de l'ensilage moisi dans la mangeoire de ses animaux. Bien que la vaste majorité des moisissures soient inoffensives, elles n'en sont pas moins des causes de détériorations et de pertes de matière sèche qui affectent particulièrement les teneurs en énergie, en vitamines et en acides aminés des aliments. Elles peuvent aussi réduire l'appétence de l'ensilage et causer des problèmes digestifs.

Sous l'effet de la pluie, les bactéries et moisissures du sol peuvent entrer en contact avec la récolte, contaminant ainsi l'ensilage avec des microorganismes qui auront l'occasion de proliférer à la suite de nos erreurs de régie. Les récoltes ayant subi une sécheresse, des dommages par les insectes ou la grêle comptent généralement de fortes populations de moisissures.

Les problèmes de récolte qu'on a connus en 1992 ont certainement mis en relief les problèmes que peuvent représenter les moisissures qui produisent des mycotoxines. Depuis la découverte de l'aflatoxine en 1961, plus de 300 mycotoxines ont été répertoriées. Nul doute qu'avec l'amélioration de notre capacité à identifier les toxines dans les ensilages et à mieux comprendre leurs effets sur la production et la reproduction, des moyens seront développés pour en réduire l'émergence et la toxicité.

Parmi les moisissures qui causent des problèmes, on compte les bactéries du type *Fusarium* qui se développent à des températures de 4 à 16°C et produisent une panoplie de toxines dont la vomitoxine (*DON*).

Les toxines de ces moisissures sont responsables d'affections telles que des avortements et des problèmes digestifs et de problèmes moins visibles comme des dommages au foie et un affaiblissement immunitaire. Il est également dangereux pour les producteurs de respirer les spores de moisissures qui peuvent causer des dommages aux poumons et des réactions allergiques. Le maïs et les ensilages de céréales sont plus susceptibles de présenter des moisissures que les ensilages de graminées ou de légumineuses. Dans le maïs, le processus de détérioration est généralement amorcé par les bactéries aérobies (*Bacillus*) suivies d'une augmentation de la production de levures.

Des recherches sur le charbon commun (*Ustilage Maydis*) n'ont démontré aucun effet nocif pour le bétail ayant consommé du maïs contaminé.

Les additifs d'ensilage reconnus par la recherche comme inoculants et les acides organiques de sources multiples ont démontré qu'ils pouvaient réduire, mais non éliminer, la croissance des moisissures et la production subséquente de toxines. Il est cependant important de savoir que la grande majorité des moisissures et des mycotoxines sont produites dans le champ, avant même la récolte et la mise en silo.

Il existe actuellement peu de solutions efficaces et économiques pour désintoxiquer les aliments. Avec les toxines comme le desoxyvalenol (vomitoxine), l'utilisation de 5 à 10 kg/tonne de bentonite, de zéolites ou de composés antiagglomérants comme l'aluminosilicate de sodium hydraté a connu quelques succès dans des recherches menées en Caroline du Nord. Des solutions futures pourraient comprendre l'ajout, à l'ensilage, de microbes pouvant détruire les toxines. D'un point de vue pratique, les producteurs laitiers confrontés à un problème de ce genre doivent s'assurer de diluer les aliments contaminés avec des ingrédients sains. La présence tolérée de mycotoxines comme la vomitoxine (*DON*) ne devrait pas dépasser 0,5 ppm dans la ration totale.

Il est utile de connaître les laboratoires d'analyses, les consultants en nutrition, le personnel vulgarisateur des universités et du gouvernement et les représentants de l'industrie qui possèdent la compétence pour identifier et interpréter les paramètres de l'ensilage qui aident à prévenir ou à réduire les problèmes d'alimentation.

CONCLUSION

L'ensilage de maïs est un aliment intéressant du point de vue économique lorsqu'il est utilisé dans une zone propice à son développement et lorsque les facteurs de production d'un rendement élevé sont bien contrôlés. La dimension du fonds de terre ou le prix élevé des terres avoisinantes freinent souvent le développement de l'entreprise laitière. En raison de son rendement élevé, le maïs-ensilage favorise l'expansion de l'entreprise ou la production de cultures permettant d'améliorer la rentabilité de la ferme. C'est aussi un aliment dont le contenu nutritionnel est stable et qui se marie bien avec des fourrages de qualité produits sous forme d'ensilage. De plus, le maïs-ensilage se récolte et s'entrepose facilement.

Pour maximiser la valeur nutritive du maïs-ensilage, il est conseillé de :

- choisir un hybride adapté à votre région ;

- récolter au bon stade (1/2 à 2/3 de la ligne d'amidon) ;
- conditionner mécaniquement l'ensilage s'il est récolté après sa maturité physiologique ;
- utiliser un additif d'ensilage adapté à vos besoins et selon les circonstances ;
- remplir le silo rapidement, sceller et prélever ensuite une quantité d'ensilage suffisante à chaque jour.

RÉFÉRENCES

- Allen, M. S. et al. 1997.** Proceedings from the silage. N.A.C. February, p. 31.
- Allen, M. S. et al. 1997.** Effect of brown midrib-3 gene on forage quality and yield of corn hybrids. ADSA, abstract P65, p.157.
- Allen, M. S. et al. 1997.** Effect of NDF digestibility of corn silage on DMI and milk production of high dairy cows. ADSA, abstract P65, p.157.
- Bal, M. A. et al. 1996.** Kernel milk line stage effects on the nutritive value of corn silage for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 79:150 (Suppl. 1)
- Beauregard, G. 1997.** Budget de culture 1997.
- Block, E. L. et al. 1981.** Brown Midrib-3 corn silage and heat extruded soybeans for early lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 64:1813
- Carter, P. R. 1993.** Kernel milkline helps time corn silage harvest. Pioneer Crop Insights. No. 34. September 3.
- Cherney, J. H. et al. 1991.** Potentiel of Brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. Adv. Agron. 46:157.
- Cox, B. et Cherney, D. 1997.** Cornell University, vol. 7 N1 of What's Cropping Up.
- CPAQ. 1987.** Guide sur les bovins laitiers. Conseil des productions animales du Québec, p. 103-104.
- Crookston, R. K. et Kurle, J. E. 1988.** Using the kernel milkline to determine when to harvest corn for silage. J. Prod. Agric. 1 :293-295.
- Dhiman, T. R. et al. 1996.** J. Dairy Sci. 79 (suppl. 1) : 136.
- Dhiman, T. R. et Satter, L. D. 1994.** Yield response of dairy cows fed different proportions alfalfa silage and corn silage. Communication personnelle.
- Drackley, J. K. et al. 1996.** Intake, production, and nutrient digestibilities by dairy cows fed TopCross™ high-oil corn as grain or silage. J. Dairy Sci. 79 (Suppl. 1); 211.
- Emile, J.-C. et al. 1996.** Ideotype maïs-ensilage et variabilité génétique de la valeur alimentaire. Colloque maïs-ensilage : Nantes, 17-18 sept., p. 293-308.
- Emile, J.C. et al. 1995.** Effects of maize and alfalfa genotypes on dairy cow performance. À paraître dans : Annales de zootechnie. Communication personnelle. Février.
- Erdman, R. 1993.** Silage fermentation characteristics affecting feed intake. Proceeding of NRAES. National Silage Production Conference, Syracuse NY, p. 210-219.
- Frenchick, G.E. et al. 1976.** Brown Mid Rib corn silage in dairy rations. J. Dairy Sci. 59: 2126.
- Gilbert, D. et al. 1996.** L'évolution de la performance des fermes laitières du Québec. Symposium sur les bovins laitiers. CPAQ. p. 58-65.
- Harrison, J. H. et al. 1996a.** Managing corn silage for maximum nutritive value. Proc. Cornell Nutrition conference, oct., p. 29-37.
- Harrison, J. H. et al. 1996b.** Can we get more out of our corn silage ? Hoard's Dairyman Juillet, p. 476.
- Hawton, J. D. et al. 1996.** Applications of nutritionally improved corn and soybeans for swine. Proc. 57th Minnesota Nutrition Conf. And Protiva Technical Symposium, Extension Special Programs, University Of Minnesota, P.O. Box 64780, St-Paul Minnesota 55164-0780.
- INRA, 1989.** Le maïs-ensilage. Les cahiers techniques de France Maïs. Pioneer France Maïs.
- Jofriet, J. C. 1996.** Tower silo capacity. Crop Science Dept., Ontario Agricultural Collège, University Of Guelph. Communication personnelle.
- Kung, L. et Muck, R. E. 1996.** Animal response to silage additives. Silage : Field to feedbunk. NRAES-99, p. 200-210.
- Lauer, J. et Coors, J. 1997.** Brown Midrib Corn. Agronomy advice, Agronomy Dept. UW-Madison 608-262-1390, mars.
- Léonard M. et al. 1996.** Concepts et stratégies alimentaires pour la vache laitière haute productrice. Symposium sur les bovins laitiers. CPAQ, p.16-56.
- Limin, K. et Muck, R. E. 1997.** Animal response to silage additives. Silage : Field to feedbunk. NRAES-99, p. 200-210.

- Mahanna, W. C. 1991.** Silage fermentation and additive use in North America. Pioneer Hi-Bred International, Inc. Site Internet : <http://www.pioneer.com/consult/research/ferment.htm>
- Mahanna, W. C. 1993.** Troubleshooting silage problems. Proceedings of the Four state applied nutrition conference, La Crosse, Wisconsin, 29-30 juin.
- Mahanna, W. C. 1994.** Challenges in evaluating and feeding corn haylage lessons learned from feeding the 1993 and 1994 corn crops. Pioneer Hi-Bred International, Inc. Site Internet : <http://www.cyber.vt.edu/dl/cows/9622.html>
- Mantysaari, P. E., Sniffen, C. J. et O'Connor, J. D. 1989.** Application model provider means to balance amino acids for dairy cattle. *Feedstuffs* 61:13.
- MAPAQ. 1995.** Profil des exploitations agricoles.
- Muck, R. E. et Limin, K. 1997.** Effects of silage additives on ensiling. *Silage : Field to feedbunk*. NRAES-99, p. 187-199.
- NRC. 1988.** Nutrient Requirement of Dairy cattle.
- Otterby, D. E., Linn, J. G. et Hutjens, M. F. 1977.** NPN in the dairy ration. The National dairy database (1992). Site Internet : http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/NPN_IN_THE_DAIRY_RATION.html
- Régie des assurances agricole du Québec. 1997.** Les rendements probables pour l'année 1996 et 1997.
- Roth G. W. 1997.** Agronomist's perspective of corn hybrids for silage. *Silage : Field to feedbunk*. NRAES-99, p. 15-24.
- Savoie, P. 1996.** Kernel processing : Hystory and engineering. *Silage : Field to feedbunk*. NRAES-99, p. 85-94.
- Sniffen, C. J. et al. 1992.** A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets; 11. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70:3562-3577.
- Statistique Canada. 1996.** Aperçu de l'agriculture selon les données du recensement de 1951 à 1996.
- Thomas, E. 1997.** Making the most of the new corn genetics. *Hoard's Dairy man*. April 10, p. 280.
- Undersander, D. et al. 1992.** Harvest corn properly for quality silage. *Hoard's Dairyman*, Sept. 10, p. 614.
- USDA, Census of agriculture : 1982, 1987, 1992.** Site Internet : <http://govinfo.kerr.orst.edu/ag-stateis.html>
- Van Soest, P. J. 1996.** Environment and forage quality. *Proc. Cornell Nutrition conference*, october, p. 1-9.
- Wiersma, D. W., Carter, P. R., Albrecht, K. A. et Coors, J. G. 1993.** Kernel milkline stage and forage yield, quality, and dry matter content. *J. Prod. Agric.* 6 : 94-99. Wisconsin.
- Wolter, R. 1994.** Alimentation de la vache laitière. 2^e édition. Édition France Agricole.

Annexe 1. Détails de chacune des rations et coût de production des fourrages

1- Coût de la ration avec ensilage de fourrages et de foin (Système 1)

Aliments	Quantité par vache (kg/an)	Quantité totale ¹ troupeau (t)	Coût total
Ensilage de foin	7340	407,8	17 649,58 \$
Foin de graminées	1215	67,5	5 946,08 \$
Maïs-grain	995	51,0	8 879,10 \$
Orge	995	51,0	8 964,27 \$
Supplément protéique	235	12,1	7 078,50 \$
Minéral	61	3,1	2 402,50 \$
			50 920,03 \$

¹ Inclut les pertes à l'entreposage et à la mangeoire

Exemple : Système 5, Ration avec ensilage de maïs avec ammoniac aqueux et foin (minéral)

= 89 kg de minéral x 50 vaches x ((perte) 100 (97,5) (1000 kg/t

= 4,6 t

2- Coût de la ration avec ensilage de fourrages, ensilage de maïs et foin (Système 2)

Aliments	Quantité par vache (kg/an)	Quantité totale ¹ troupeau (t)	Coût total
Ensilage de maïs	5150	286,1	7 927,83 \$
Ensilage de foin	4505	250,3	10 832,98 \$
Foin de graminées	610	33,9	2 986,25 \$
Maïs-grain	615	31,5	5 484,15 \$
Orge	615	31,5	5 536,76 \$
Supplément protéique	245	12,6	7 371,00 \$
Tourteau de soya	295	15,1	5 549,25 \$
Minéral	67	3,4	2 635,00 \$
			48 323,22 \$

¹ Inclut les pertes à l'entreposage et à la mangeoire

3- Coût de la ration avec ensilage de fourrages, ensilage de maïs avec ammoniac aqueux et de foin (Système 3)

Aliments	Quantité par vache (kg/an)	Quantité totale ¹ troupeau (t)	Coût total
Ensilage de maïs et ammoniac	5120	284,4	9 160,52 \$
Ensilage de foin	4480	248,9	10 772,39 \$
Foin de graminées	610	33,9	2 986,25 \$
Maïs-grain	730	37,4	6 511,34 \$
Orge	730	37,4	6 573,80 \$
Supplément protéique	375	19,2	11 232,00 \$
Minéral	54	2,8	2 170,00 \$
			49 406,30 \$

¹ Inclut les pertes à l'entreposage et à la mangeoire

4- Coût de la ration avec ensilage de maïs et de foin (Système 4)

Aliments	Quantité par vache (kg/an)	Quantité totale ¹ troupeau (t)	Coût total
Ensilage de maïs	8945	496,9	13 769,10 \$
Foin de graminées	1215	67,5	5 946,08 \$
Maïs-grain	365	18,7	3 255,67 \$
Orge	365	18,7	3 286,90 \$
Supplément protéique	180	9,2	5 382,00 \$
Tourteau de soya	705	36,2	13 303,50 \$
Minéral	105	5,4	4 185,00 \$
			49 128,25 \$

¹ Inclut les pertes à l'entreposage et à la mangeoire

5- Coût de la ration avec ensilage de maïs avec ammoniacque aqueux et de foin (Système 5)

Aliments	Quantité par vache (kg/an)	Quantité totale ¹ troupeau (t)	Coût total
Ens. de maïs + ammoniacque	8920	495,6	15 963,28 \$
Foin de graminées	1215	67,5	5 946,08 \$
Maïs-grain	500	25,6	4 456,96 \$
Orge	500	25,6	4 499,71 \$
Supplément protéique	265	13,6	7 956,00 \$
Tourteau de soya	325	16,7	6 137,25 \$
Minéral	89	4,6	3 565,00 \$
			48 524,28 \$

¹ Inclut les pertes à l'entreposage et à la mangeoire

Annexe 2. Budget maïs fourrager 1996 (à l'hectare)¹

ITEM	QUANTITÉ	PRIX	UNITÉ	COÛTS TOTAUX	DÉBOURSÉS	LE VÔTRE
A-PRODUITS						
Grain 35 % MS (kg)	34285 kg	30,00 \$	1000 kg	1200,00 \$	1200,00 \$	1028,55 \$
B-FRAIS DÉBOURSÉS						
1-APPROVISIONNEMENTS:						
Semence classée	76000 grains	112,00 \$	80000 grains	106,40 \$	106,40 \$	106,40 \$
Fertilisants (160-50-75):						
0-0-60	125 kg	292,00 \$	1000 kg	36,50 \$	36,50 \$	36,50 \$
22-22-0 (nitrate planteur)	225 kg	430,00 \$	000 kg	96,75 \$	96,75 \$	96,75 \$
27.5-0-0 en bandes	400 kg	363,00 \$	1000 kg	145,20 \$	145,20 \$	145,20 \$
Pierre à chaux	0,5 t	25,00 \$	1 t	12,50 \$	12,50 \$	12,50 \$
Pesticides prélevés:*						
Marque YY	2,5 L	200,00 \$	10 L	50,00 \$	50,00 \$	50,00 \$
Marque ZZ	1,25 L	27,80 \$	1 L	34,75 \$	34,75 \$	34,75 \$
TOTAL * Si vivaces détruites l'année précédente				482,10 \$	482,10 \$	482,10 \$
2-OPÉRATIONS CULTURALES						
				À FORFAIT		
Labour (loam)				46,98 \$	16,32 \$	31,65 \$
Hersage lourd et léger				26,11 \$	10,05 \$	18,08 \$
Epannage engrais 2X				18,74 \$	5,38 \$	12,06 \$
Semis				24,74 \$	8,67 \$	16,71 \$
Pulvérisation 1X				6,99 \$	1,67 \$	4,33 \$
Sarclage 1X				12,67 \$	3,18 \$	7,93 \$
Fourragère				95,29 \$	33,79 \$	64,54 \$
Transport ensilage				92,79 \$	19,14 \$	55,97 \$
Souffleur				31,60 \$	13,07 \$	22,34 \$
Total				355,91 \$	111,27 \$	233,59 \$
3-ENTREPOSAGE-MARKETING						
Silo à fourrage	34285	2,51 \$	1000	390,16 \$	100,40 \$	100,40 \$
4-AUTRES FRAIS						
Assurance-récolte collective	13900	0,83 \$	1000	11,54 \$	11,54 \$	11,54 \$
Main-d'oeuvre salariée	5 h	10,00 \$	1h	0,00 \$	50,00 \$	50,00 \$
Location - Entretien terre				118,50 \$	18,50 \$	18,50 \$
Intérêt marge crédit	896,13 \$	8,0 %	9	46,43 \$	46,43 \$	53,77 \$
Total				176,47 \$	126,47 \$	133,80 \$
TOTAL DES FRAIS DÉBOURSÉS			1404,64 \$	820,24 \$	949,89 \$	
C-MARGE SUR FRAIS DÉBOURSÉS (A-B)				-204,64 \$	379,76 \$	78,66 \$
D-FRAIS DÉBOURSÉS \$ / tonne					20,51 \$	2,71 \$

Note : L'ensilage de maïs avec ammoniacque inclut un 5 \$ additionnel par tonne d'ensilage aux frais déboursés

¹ Réalisé par G. Beauregard et A. Brunelle, agronomes MAPAQ et adapté par :A. Fournier, agronome, le 25 mai 1997

Annexe 3. Budget ensilage de fléole et de luzerne 1996 (à l'hectare)¹

ITEM	QUANTITÉ	PRIX	UNITÉ	COÛTS TOTAUX	DÉBOURSÉS	LE VÔTRE
A-PRODUITS						
Fourrage 40 % MS	13,3 t	50,00 \$	1 t	665,00 \$	665,00 \$	665,00 \$
B-FRAIS DÉBOURSÉS						
1-APPROVISIONNEMENTS:						
Luzerne	9 kg	240,00 \$	25 kg	86,40 \$	86,40 \$	86,40 \$
Fléole des prés	7 kg	75,00 \$	25 kg	21,00 \$	21,00 \$	21,00 \$
Inoculant (sachet)	9	5,30 \$	25	1,91 \$	1,91 \$	1,91 \$
Fertilisants :						
Etablissement				134,80 \$	134,80 \$	134,80 \$
Entretien 1 ère année				129,43 \$	129,43 \$	129,43 \$
Entretien 2 ème année				129,43 \$	129,43 \$	129,43 \$
Entretien 3 ème année				169,78 \$	169,78 \$	169,78 \$
Entretien 4 ème année				173,49 \$	173,49 \$	173,49 \$
Pierre à chaux	2,5 t	25,00 \$	1 t	62,50 \$	62,50 \$	62,50 \$
Pesticide				20,36 \$	20,36 \$	20,36 \$
TOTAL pour 5 ans				929,10 \$	929,10 \$	929,10 \$
PAR ANNÉE				185,82 \$	185,82 \$	185,82 \$
2-OPÉRATIONS CULTURALES						
				À FORFAIT		
Labour (loam) 1/5				9,40 \$	3,26 \$	6,33 \$
Hersage lourd et léger 1/5				5,22 \$	2,01 \$	3,62 \$
Epannage engrais 2X				18,74 \$	5,38 \$	12,06 \$
Semis 1/5				3,86 \$	1,19 \$	2,53 \$
Pulvérisation 1X 1/5				1,40 \$	0,33 \$	0,87 \$
Fauchage 3 X				57,06 \$	19,62 \$	38,34 \$
Fourragère 3 X				143,46 \$	48,03 \$	71,89 \$
Transport ensilage 3 X				142,65 \$	26,07 \$	55,22 \$
Souffleur 3 X				38,64 \$	13,68 \$	19,92 \$
Total				420,43 \$	119,57 \$	210,78 \$
3-ENTREPOSAGE						
Silo à fourrage	13,3	4,62\$	1	278,90 \$	61,45 \$	61,45
4-AUTRES FRAIS						
Assurance-récolte collective				16,49 \$	16,49 \$	16,49 \$
Main-d'oeuvre salariée	5	10,00 \$	1	0,00 \$	50,00 \$	50,00 \$
Location - Entretien terre				118,50 \$	18,50 \$	18,50 \$
Intérêt marge crédit	543,04\$	8,0%	9	27,11 \$	27,11 \$	32,58 \$
Total				162,10 \$	112,10 \$	117,57 \$
TOTAL DES FRAIS DÉBOURSÉS				1047,25 \$	478,94 \$	575,62 \$
C-MARGE SUR FRAIS DÉBOURSÉS (A-B)				-382,25 \$	186,06 \$	89,38 \$
D-FRAIS DÉBOURSÉS \$ / tonne					36,01 \$	43,28 \$

¹ Réalisé par G. Beaugard et A. Brunelle, agronomes MAPAQ et adapté par :A. Fournier, agronome, le 25 mai 1997

Annexe 4. Budget foin de fléole et trèfle rouge 1996 (à l'hectare)¹

ITEM	QUANTITÉ	PRIX	UNITÉ	COÛTS TOTAUX	DÉBOURSÉS	LE VÔTRE
A-PRODUITS						
Fourrage 89 % MS	5,8 t	100,00 \$	1 t	580,00 \$	580,00 \$	580,00 \$
B-FRAIS DÉBOURSÉS						
1-APPROVISIONNEMENTS:						
Trèfle rouge (kg)	7 kg	205,00 \$	25 kg	57,40 \$	57,40 \$	57,40 \$
Fléole des prés, mil (kg)	7 kg	75,00 \$	25 kg	21,00 \$	21,00 \$	21,00 \$
Fertilisants :						
Etablissement (partie imputée aux plantes fourragères)			65,41 \$	65,41 \$	65,41 \$	
Entretien 1 ère année				118,70 \$	118,70 \$	118,70 \$
Entretien 2 ème année				118,70 \$	118,70 \$	118,70 \$
Entretien 3 ème année				162,59 \$	162,59 \$	162,59 \$
Entretien 4 ème année				162,59 \$	162,59 \$	162,59 \$
Pierre à chaux	2,5 t	25,00 \$	1 t	62,50 \$	62,50 \$	62,50 \$
Pesticide marque Z 4/5	2,8 L	80,00 \$	8 L	28,00 \$	28,00 \$	28,00 \$
TOTAL pour 5 ans				796,89 \$	796,89 \$	796,89 \$
Corde à presse	5,8 t	23,15 \$	7,5t	17,90 \$	17,90 \$	17,90 \$
PAR ANNÉE				217,12 \$	217,12 \$	217,12 \$
2-OPÉRATIONS CULTURALES						
				À FORFAIT		
Labour (loam) 1/5				9,40 \$	3,26 \$	6,33 \$
Hersage lourd et léger 1/5				5,22 \$	2,01 \$	3,62 \$
Epannage engrais 2X				18,74 \$	5,38 \$	12,06 \$
Semis 1/5				3,86 \$	1,19 \$	2,53 \$
Pulvérisation 1X 1/5				1,40 \$	0,33 \$	0,87 \$
Fauchage 2 X				38,04 \$	13,08 \$	25,56 \$
Ratelage 2 X				19,76 \$	4,30 \$	12,03 \$
Presse avec lance - balles 2 X				68,00 \$	19,06 \$	43,53 \$
Transport ferme 2 X				49,68 \$	8,78 \$	29,23 \$
Total				214,10 \$	57,39 \$	135,76 \$
3-ENTREPOSAGE						
Grange à foin	5,8 t	3,49 \$	1 t	104,05 \$	20,24 \$	20,24 \$
4-AUTRES FRAIS						
Assurance-récolte collective				16,49 \$	16,49 \$	16,49 \$
Séchage du foin	5,8 t	4,12 \$	1 t	42,86 \$	23,90 \$	23,90 \$
Main-d'oeuvre salariée	5 h	10,00 \$	1 h	0,00 \$	50,00 \$	50,00 \$
Location - Entretien terre				118,50 \$	18,50 \$	18,50 \$
Intérêt marge crédit	482,01 \$	8,0%	9	24,22 \$	24,22 \$	28,92 \$
Total				202,07 \$	133,11 \$	137,81 \$
TOTAL DES FRAIS DÉBOURSÉS				737,34 \$	427,86 \$	510,93 \$
C-MARGE SUR FRAIS DÉBOURSÉS (A-B)				-157,34 \$	152,14 \$	69,07 \$
D-FRAIS DÉBOURSÉS \$ / tonne					73,77 \$	88,09 \$

¹ Réalisé par G. Beauregard et A. Brunelle, agronomes MAPAQ et adapté par :A. Fournier, agronome, le 25 mai 1997

