

Colloque sur les plantes fourragères

«L'ensilage : du champ à l'animal»

Mardi le 17 novembre 1998
Hôtel Universel, Alma

Mercredi le 18 novembre 1998
Hôtel Delta, Sherbrooke

Ce cahier des
conférences appartient à: _____

Téléphone: _____

Avertissement

Il est interdit de reproduire cet ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, incluant la photocopie, en totalité ou en partie, sans l'autorisation écrite du Conseil des productions végétales du Québec inc.

Pour information et commentaires

Conseil des productions végétales du Québec inc.
200, chemin Sainte-Foy, 1er étage
Québec (Québec) G1R 4X6

Téléphone: (418) 646-5766
Télécopieur: (418) 644-5944 ou 646-1830
Courrier électronique: cpvq@cpvq.qc.ca

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec, 1998
Bibliothèque nationale du Canada, 1998

ISBN 2-89457-168-2

Table des matières

Mot du Comité organisateur	1
<i>Raynald DRAPEAU</i> <i>Michel PERRON</i>	
Les partenaires du Conseil des productions végétales du Québec inc.	2
Comité organisateur	3
<ul style="list-style-type: none">• Gérer son chantier de récolte de fourrages <i>Mario QUEVILLON</i>	7
<ul style="list-style-type: none">• Entreposage des ensilages <i>Philippe SAVOIE</i>	21
<ul style="list-style-type: none">• Comment conserver une bonne récolte sous forme d'ensilage <i>Carole LAFRENIÈRE</i>	59
<ul style="list-style-type: none">• L'ensilage dans l'alimentation des ruminants <i>Alain FOURNIER</i> ALMA <i>Régent LEDUC</i> SHERBROOKE	111
<ul style="list-style-type: none">• L'ensilage, un nouveau marché à exploiter <i>Daniel CARLE</i>	167
<ul style="list-style-type: none">• La route vers l'ensilage <i>Colette VAILLANCOURT</i> ALMA	175
<ul style="list-style-type: none">• Ensilage de balles rondes à la ferme de M. Grenier et Fils inc. <i>Anita GRENIER</i> SHERBROOKE	181
Commanditaires	Annexe
Bon de commande pour les publications du CPVQ reliées aux plantes fourragères	Annexe

*Les textes des conférences contenus dans ce cahier
ont été révisés par un comité de lecture.*

Mot du Comité organisateur

Chers participants et chères participantes,

«L'ensilage : du champ à l'animal »

Au Québec, nous possédons les conditions idéales pour la production de fourrages en quantité et de haute qualité. Ces conditions particulières à une bonne production ne sont malheureusement pas toujours propices à la récolte et à une bonne conservation de ce matériel à haute valeur nutritive.

Pour ces raisons, la récolte et l'entreposage des fourrages sous forme d'ensilage s'avèrent une alternative intéressante. Le succès de ce mode de conservation repose toutefois sur une foule de petits principes élémentaires qu'il faut connaître et maîtriser à partir du champ jusqu'à l'animal.

Comme le thème l'indique, ce colloque se veut un survol de tous les aspects : systèmes de récolte, systèmes d'entreposage et reprise, principes régissant la fabrication d'un bon ensilage, la place de l'ensilage dans l'alimentation des ruminants, la commercialisation de l'ensilage et le point de vue du producteur et de la productrice sur leur système d'ensilage et l'utilisation de l'ensilage dans leurs rations.

Chaque sujet est traité par des spécialistes et renferme de l'information récente qui contribuera certainement à renseigner et à parfaire les connaissances des participants et des participantes.

Nous souhaitons que la tenue du colloque en région, tout comme celui de 1996, incitera les producteurs et productrices à y assister en grand nombre et que les connaissances acquises contribueront à améliorer l'efficacité de nos entreprises agricoles.

L'ensilage, le mode de conservation de nos fourrages de demain!

Bon colloque à tous et à toutes!

Raynald Drapeau, agr.
Saguenay-Lac-Saint-Jean
Co-président du Colloque

Michel Perron, agr.
Estrie
Co-président du Colloque

Les partenaires du Conseil des productions végétales du Québec inc.

Nous tenons à remercier tous les partenaires du CPVQ pour leur précieuse collaboration. Nous adressons un remerciement tout spécial au MAPAQ pour son appui financier.

- **Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec**
- Agriculture et Agroalimentaire Canada
- Association des marchands de semences
- Association des technologistes agro-alimentaires du Québec
- Conseil québécois de l'horticulture
- Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec
- Institut pour la protection des cultures
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
- Mouvement coopératif
- Ordre des agronomes du Québec
- Régie des assurances agricoles du Québec
- Union des producteurs agricoles
- Université Laval
- Université McGill

Comité organisateur

- **COUTURE, Luc**, agronome, chercheur scientifique
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **DENIS, Sylvie**, agronome
Direction régionale Saguenay-Lac-Saint-Jean-Côte-Nord
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- **DRAPEAU, Raynald**, agronome, chercheur
Ferme de recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **JOBIN, Dominique**, agronome
Semico inc.
- **LAFRENIÈRE, Carole**, agronome, chercheuse
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **LEFEBVRE, Germain**, agronome
Agro-Bio Contrôle inc.
- **MICHAUD, Réal**, agronome
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **PERRON, Michel**, agronome
Direction régionale de l'Estrie
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- **ROGER, Claude**, agronome
Coopérative fédérée de Québec
- **SAVOIE, Philippe**, agronome et ingénieur, chercheur
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **TREMBLAY, Gaëtan**, chercheur
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **BOUCHER, Caroline-Joan**, agronome
Conseil des productions végétales du Québec inc.

L'ensilage dans l'alimentation des ruminants

ALMA

Régent LEDUC, agronome
Conseiller en productions animales

Direction régionale de la Montérégie, secteur Ouest
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
177, rue Saint-Joseph, 2^e étage
Sainte-Martine (Québec)
J0S 1V0

SHERBROOKE

Alain FOURNIER, agronome

Direction régionale du Centre-du-Québec
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et
de l'Alimentation du Québec
460, boulevard Louis-Fréchette, 2^e étage
Nicolet (Québec)
J3T 1Y2

Conférence préparée avec la collaboration de
André Amyot, agronome, M. Sc.
Centre de recherche et d'expérimentation de Deschambault
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec

L'ENSILAGE DANS L'ALIMENTATION DES RUMINANTS

INTRODUCTION

Les ensilages représentent une portion de plus en plus importante dans l'alimentation des ruminants au Québec. Le procédé d'ensilage permet d'atténuer les pertes au champ occasionnées par la chute de feuilles et les intempéries (pluies, vents, etc.) lors du séchage au champ. Ce procédé consiste en la formation d'acides produits par la fermentation des sucres par les microbes présents sur la plante au moment de la récolte. Ce procédé permet de préserver la valeur nutritive du fourrage. De nombreux facteurs influencent ce processus qui apparaît banal au premier abord mais qui est d'une complexité peu commune lorsque l'on y regarde de plus près. La fermentation modifie les composantes alimentaires de l'aliment et ainsi influence la performance animale.

La valeur alimentaire d'un fourrage dépend de trois facteurs principaux : sa valeur nutritive, sa qualité de conservation et la quantité de ce fourrage qui est ingérée volontairement par l'animal (ingestion volontaire). La valeur nutritive de l'ensilage est déterminée par les analyses dites de composition (fibres, protéine, minéraux) alors que sa qualité de conservation est déterminée par l'analyse des produits de la fermentation (acide lactique, acides gras volatils, azote ammoniacal, etc.).

En premier lieu, nous traiterons de l'influence du procédé de fermentation sur la valeur nutritive de l'ensilage. Après avoir vu brièvement quelles sont les principales causes des pertes d'éléments nutritifs dans l'ensilage et les moyens de les réduire, nous verrons quelle est la nature et l'importance des pertes d'hydrates de carbone et de protéine. Nous présenterons ensuite les critères pour évaluer la qualité de conservation de l'ensilage et les moyens pour obtenir une meilleure évaluation de sa valeur nutritive. Cette démarche devrait permettre de répondre aux questions suivantes : Quelles sont les principales différences entre le foin et l'ensilage en terme de valeur nutritive ? Est-ce que les changements de valeur nutritive entre la récolte et l'alimentation justifient le prélèvement d'échantillons après la fermentation ? Est-ce que les analyses qui permettent d'évaluer la valeur nutritive du foin sont adéquates pour l'ensilage ?

Dans la seconde partie de ce document, nous traiterons de l'impact de la qualité fourragère sur la performance animale. Pour atteindre un niveau maximal de consommation du fourrage récolté, il importe de respecter certains critères (régie de coupe, choix de l'espèce, régie associée à la récolte, etc.). Nous verrons que l'ensilage possède des particularités qui lui sont propres, comparativement au fourrage conservé sous forme de foin. Il importe de comprendre ces particularités pour optimiser l'utilisation de l'ensilage et en retirer tous les bénéfices. Finalement, on démontrera à quel point la qualité fourragère est importante afin d'atteindre le plein potentiel des ruminants. Bonne lecture...

CAUSES DES PERTES DE VALEUR NUTRITIVE

FOIN VS ENSILAGE

L'ensilage est une méthode efficace pour conserver les fourrages avec un minimum de perte de valeur nutritive. En effet, même dans des conditions de température excellentes, il se produit moins de perte au champ lorsque le fourrage est ensilé que lorsqu'il est récolté en foin. Cependant le procédé de fermentation entraîne une certaine perte de qualité. Dans le foin, les pertes de matière sèche et de valeur nutritive les plus importantes se produisent dans le champ, alors que dans l'ensilage les changements les plus importants se produisent dans le silo (tableau 1).

Tableau 1 Pertes de matière sèche typiques de l'ensilage et du foin dans de bonnes conditions

Perte (en % de la M. S.)	Ensilage		Foin séché au champ
	Humide	Préfané	
Au champ			
Respiration	--	2	8
Mécanique	1	4	14
Entreposage			
Respiration	--	1	1
Fermentation	5	5	2
Effluent	6	--	--
En surface	4	6	2
À la reprise	3	3	1
Total	19	21	28

Source : Wilkinson, 1981

De plus, comme l'ensilage est moins soumis aux aléas climatiques que le foin, mais que sa fermentation dépend beaucoup de la technique utilisée, en pratique la différence entre le foin et l'ensilage dépend des conditions de température et des pertes de feuilles pendant la récolte du foin d'une part, et du type de fermentation qui se produit dans le silo d'autre part.

En plus de limiter les pertes pendant la récolte, la technique d'ensilage, si elle est bien utilisée, permet de récolter à un stade plus hâtif. C'est pourquoi, sur une ferme qui a des besoins élevés en fourrages, un système de conservation sous forme d'ensilage permet généralement d'obtenir un fourrage de meilleure qualité qu'un système de conservation sous forme de foin. En effet, les compilations faites par les laboratoires montrent bien que pour une région donnée les ensilages sont généralement de meilleure qualité nutritive que les foin ; cependant l'effet est plus marqué chez les graminées que chez les légumineuses, parce que leur composition chimique change plus rapidement avec la maturité.

DEGRÉ DE FERMENTATION ET EFFICACITE

L'ensilage entraîne un certain pourcentage de pertes inévitables liées au procédé normal de fermentation lactique et à l'activité biologique qui l'entoure. Même dans un ensilage réalisé dans les meilleures conditions, l'importance des pertes dépend du degré de fermentation et de son efficacité. En effet, les ensilages qui subissent une fermentation plus poussée présentent des teneurs plus élevées en acide lactique, acide acétique et azote ammoniacal que ceux qui subissent une fermentation restreinte. Le degré de fermentation dépend de plusieurs facteurs :

- La teneur en matière sèche

Les ensilages à faible teneur en matière sèche sont généralement ceux qui subissent la fermentation la plus poussée.

- La teneur en sucres solubles et le pouvoir tampon

Pour une même teneur en matière sèche, les graminées subissent généralement une fermentation plus poussée que les légumineuses parce qu'elles présentent un rapport sucres solubles / pouvoir tampon plus élevé.

- La longueur des brins

L'ensilage de balles rondes subit une fermentation plus lente et moins poussée que l'ensilage conventionnel. Ainsi pour une même teneur en matière sèche, l'ensilage de balles rondes a généralement un pH plus élevé suite à une plus faible production d'acide lactique. Il en résulte souvent une augmentation de la teneur en azote ammoniacal pendant la période d'entreposage, suite à une moindre stabilité anaérobie.

- La température lors de la récolte

L'ensilage récolté par température fraîche (octobre) subit une fermentation plus lente et présente une teneur plus élevée en azote ammoniacal que celui récolté par température chaude (août). Cela serait dû à une moindre croissance des bactéries productrices d'acide lactique par température fraîche.

- L'emploi d'un additif

Les inoculants bactériens activent la fermentation et améliorent son efficacité alors que l'acide formique utilisé à forte dose inhibe l'activité des bactéries productrices d'acide lactique.

CAUSES DE LA DETERIORATION DE LA QUALITE DE L'ENSILAGE

D'un point de vue physique, on distingue deux principales causes de la détérioration de la qualité de l'ensilage : dans les ensilages trop secs, le sur-chauffage affecte la digestibilité de la protéine alors que dans les ensilages très humides, c'est l'écoulement de jus qui peut être une cause importante de perte d'éléments nutritifs.

D'un point de vue biologique, on peut identifier quatre principaux procédés qui peuvent affecter négativement la qualité de l'ensilage (Muck, 1988) :

- La respiration végétale

Au début de la fermentation, les cellules végétales continuent à respirer tant qu'il y a de l'air dans la masse d'ensilage. Il en résulte un gaspillage des sucres et une production de chaleur qui se traduisent en une perte de matière sèche et d'énergie et possiblement une augmentation de la protéine liée (N-ADF).

- L'activité des enzymes de la plante (hydrolyse, protéolyse)

La protéolyse végétale transforme l'azote protéique en azote non protéique, de sorte qu'on assiste à une augmentation de la protéine soluble, alors que l'hydrolyse des hydrates de carbone (hémicellulose et amidon principalement) peut entraîner une diminution de la fibre NDF.

- L'activité des bactéries clostridiennes

Les bactéries clostridiennes saccharolytiques utilisent les hydrates de carbone et les acides organiques pour produire principalement de l'acide butyrique, alors que les bactéries clostridiennes protéolytiques dégradent les protéines (acides aminés) en ammoniac, amines, etc. Il en résulte une réduction de l'ingestion volontaire, en plus de la perte de matière sèche et d'énergie.

- L'activité des moisissures, des levures et des bactéries aérobies

L'introduction d'air dans le silo et l'exposition de l'ensilage à l'air lors de la reprise favorisent la croissance des moisissures et de certaines bactéries aérobies qui utilisent les hydrates de carbone disponibles et les acides organiques produits par la fermentation. Il en résulte une perte de matière sèche et d'énergie et possiblement une augmentation de la protéine liée suite au chauffage de l'ensilage. Des levures peuvent aussi se développer, même en l'absence d'air et même si le pH est bas. Elles sont la cause de la détérioration des ensilages riches en sucres résiduels.

MOYENS POUR REDUIRE LES PERTES DE VALEUR NUTRITIVE DANS L'ENSILAGE

Pour réduire la respiration au minimum, il faut éviter d'ensiler trop sec. Un remplissage rapide du silo et un hachage suffisamment fin pour favoriser une bonne compaction, auront aussi pour effet de réduire la respiration et de permettre à la fermentation de s'amorcer rapidement. Il en résultera une baisse rapide de pH qui permettra d'inhiber la protéolyse. Par ailleurs l'activité des bactéries clostridiennes sera réduite si on évite d'ensiler trop humide et si le pH de stabilité est atteint. Finalement le développement des moisissures et des bactéries aérobies sera limité si le silo est étanche et le taux de reprise adéquat (5 à 10 cm / jour en silo tour en été).

LA VALEUR NUTRITIVE DE L'ENSILAGE COMPARATIVEMENT A CELLE DU FOURRAGE VERT

L'ensilage modifie profondément les glucides et la protéine du fourrage. En effet les deux principaux changements qui se produisent dans le silo sont : 1° la transformation des sucres en acides organiques et 2° la dégradation de la protéine en azote non protéique. Il en résulte aussi d'autres modifications qui peuvent influencer la valeur nutritive des fourrages de façon directe ou indirecte.

L'ENSILAGE ET LES HYDRATES DE CARBONE

Les hydrates de carbone sont constitués des sucres et de l'amidon contenus dans les cellules (hydrates de carbone non structuraux) de même que des constituants des parois cellulaires (hydrates de carbone structuraux).

Les sucres

La fermentation utilise les sucres les plus solubles du fourrage. Il faut 10% de sucres solubles pour assurer la fermentation complète d'un ensilage de graminées à 30% de M. S. et d'un ensilage de légumineuses à 40% de M. S., alors que 5-6% de sucres suffisent dans le cas d'un ensilage à une teneur en M. S. 10% plus élevée (graminées à 40% de M.S. et légumineuses à 50% de M. S.) (Leibensperger et Pitt, 1988). Une partie de l'amidon peut aussi être hydrolysée en sucres simples pendant la fermentation, dans les ensilages de maïs et de céréales. La quantité de sucre utilisée dans le procédé d'ensilage dépend non seulement du degré de fermentation lactique et de son efficacité, mais aussi de la rapidité d'exclusion de l'air (respiration), de la croissance des bactéries clostridiennes et du développement des moisissures et bactéries aérobies responsables de la dégradation de l'ensilage. Le traitement de l'ensilage avec des produits acidifiants permet de préserver les sucres à un degré variable selon la dose utilisée.

La fibre

La fibre du fourrage est constituée d'une partie partiellement digestible (hémicellulose et cellulose) et d'une partie non digestible (lignine). La fibre ADF comprend la lignine et la cellulose alors que la fibre NDF comprend en plus l'hémicellulose. La fermentation peut influencer à un degré variable chaque composante de la fibre ; elle influence de façon directe la partie la plus digestible (hémicellulose) et seulement de façon indirecte la partie non digestible (lignine).

Le tableau 2 donne un aperçu de la variation possible de chacune des composantes de la fibre des fourrages suite à la fermentation. On y trouve deux exemples d'ensilages où la fermentation a influencé la fibre différemment et une moyenne de 7 ensilages. L'ensilage réalisé par Stokes (1992) était constitué de mil, luzerne et trèfle. Il a été récolté à 32% M. S. et a subi une fermentation relativement poussée (annexe 2). Il en a résulté une augmentation de la fibre ADF et de la fibre NDF de 6,6% et 5,9% respectivement. Par ailleurs l'ensilage réalisé par Derbyshire et al (1976) était constitué de dactyle récolté à 40 % M. S. Cet ensilage a subi une fermentation moins poussée que le précédent (annexe 2). Il en a résulté peu de variation de la fibre ADF. Par contre on observe une hydrolyse prononcée de l'hémicellulose (diminution de 22,4%) qui se traduit en une diminution de la fibre NDF de 8,9%.

Les données moyennes de sept ensilages de 20 % à 40% de matière sèche et de qualité très variable montrent que la fermentation fait généralement augmenter la teneur en lignine du fourrage. Puisque la lignine est non digestible, cette augmentation est le reflet de la perte de matière sèche résultant de la fermentation. Dans l'échantillon considéré, l'augmentation a été de 8,6%, mais on considère que la perte de matière sèche varie normalement entre 5% et 15%, même si on rencontre des extrêmes compris entre 1% et 20%. La cellulose a également augmenté puisqu'elle est généralement peu hydrolysée pendant la fermentation. L'augmentation est généralement de l'ordre de 4 % à 8%, avec des extrêmes allant de 0% à 12%. La teneur en fibre ADF varie de la même façon, puisqu'elle est constituée à 90% de cellulose. On peut s'attendre à une faible variation de la teneur en fibre ADF dans les ensilages bien conservés qui ont subi une fermentation peu poussée, alors que l'augmentation de la fibre ADF peut être significative dans les ensilages mal conservés et dans ceux qui ont subi une fermentation très poussée (annexes 1 et 2).

On assiste généralement à une diminution de la teneur en hémicellulose de l'ordre de 5% à 10% pendant la fermentation, mais la variation est fort grande, puisque la diminution peut atteindre 20% et on observe parfois une augmentation pouvant atteindre 5%. En conséquence la teneur en fibre NDF peut augmenter ou diminuer pendant la fermentation, selon l'importance des pertes de matière sèche et de l'hydrolyse de l'hémicellulose. L'ajout d'un additif contenant des enzymes peut faire diminuer la teneur en fibre NDF de l'ensilage après une longue durée d'entreposage.

Les augmentations de fibre observées peuvent être dues en partie au fait que dans certaines expériences considérées la teneur en matière sèche a été déterminée par séchage au four.

Tableau 2 Influence de la fermentation sur les différentes composantes de la fibre des fourrages

	Lignine (%)	Cellulose (%)	ADF (%)	Hémicellulose (%)	NDF (%)
Stokes (1992)					
Avant fermentation	4,80	26,94	31,74	15,01	46,75
Après fermentation	5,18	28,66	33,84	15,65	49,49
Variation relative	+ 7,9%	+ 6,4%	+ 6,6%	+ 4,3%	+ 5,9%
Derbyshire et al (1976)					
Avant fermentation	3,7	30,3	34,0	25,9	60,0
Après fermentation	3,76	30,7	34,4	20,1	54,6
Variation relative	+ 1,6%	+ 1,3%	+ 1,2%	- 22,4%	- 8,9%
Moyenne de sept ensilages ¹					
Avant fermentation	3,35	31,17	34,52	24,43	58,95
Après fermentation	3,64	32,86	36,60	22,32	58,92
Variation relative	+ 8,6%	+5,4%	+ 6,0%	-8,9%	0%
Écart normaux	+5% à +15%	+4% à +8%	+4% à +8%	-5% à -10%	-5% à +5%
Écart extrêmes	+1 à +20%	0% à +12%	0% à +12%	+5% à -20%	-10 à +10%

¹ Sources : annexe 1 et annexe 2, excluant les deux ensilages de l'annexe 1 dont les analyses sont incomplètes : ((moyenne de trois ensilages humides de l'annexe 1 + moyenne de quatre ensilages préfanés de l'annexe 2) / 2)

L'ENSILAGE ET LA PROTEINE

Le principal constituant des protéines est l'azote ; il représente 16% de leur poids. Pour déterminer la teneur en protéine brute, le laboratoire détermine sa teneur en N et multiplie par 6,25 (100%/16%). Cependant l'analyse de la protéine brute ne tient pas compte du facteur qualité. La qualité de la protéine dépend de deux facteurs : 1° de l'importance de la portion non digestible, désignée sous le nom de protéine liée et 2° de la dégradabilité ruminale de la portion disponible, qui est constituée de protéine vraie et d'azote non protéique.

Protéine liée

En général environ 5% de la protéine brute est liée à la fibre au moment de la récolte et donc non digestible. Si l'ensilage chauffe de façon très prononcée, jusqu'à 15% ou même 20% de la protéine peut devenir liée à la fibre. La teneur finale en protéine liée dépend de la température maximale atteinte et de la durée du chauffage, lesquels dépendent principalement de la rapidité de remplissage du silo, de sa grosseur et de son étanchéité, de même que de la teneur en matière sèche et du degré de compaction de l'ensilage.

Campbell et Buchanan-Smith (1991) rapportent des teneurs en protéine liée (N-ADF / N total) comparables pour les ensilages en silo tour conventionnel à 27,5% M. S. et 46,1% M. S. et pour l'ensilage en silo hermétique à 56,4% M. S. (9,46%, 10,11% et 9,32% respectivement) (annexe 3).

Dans l'ensilage de balles rondes, on recommande une mise sous plastique dans les heures qui suivent le pressage. Lorsque cette opération est réalisée seulement 18 heures après le pressage, on observe un chauffage prononcé qui se traduit en une plus grande utilisation des sucres par la respiration et une fermentation moins poussée. Cependant le chauffage est de courte durée puisque le silo (balle individuelle) est de petite dimension. En conséquence la teneur en protéine liée n'est pas plus élevée dans les balles enrubannées 18 heures après le pressage que dans celles qui l'ont été peu de temps après le pressage, du moins lorsque les balles ont une bonne densité (Amyot, 1997).

On recommande l'analyse du NADF pour tout ensilage qui semble brun noirâtre. Cette analyse permet de déterminer quelle proportion de la protéine (N-ADF / N total) est liée à la fibre et donc non disponible (non digestible). On présente au tableau 3 la façon de déterminer la protéine effective en fonction de la protéine liée, en prenant comme exemple un fourrage à 15% de protéine brute.

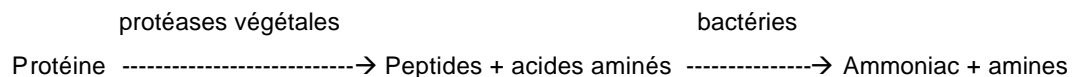
Tableau 3 Détermination de la protéine effective dans un ensilage endommagé par un chauffage excessif

Protéine brute (%)	Protéine liée (N-ADF / N total) (%)	Facteur de correction	Protéine effective (%)
15	10	1,00	15,00
15	15	0,92	13,80
15	20	0,84	12,60
15	25	0,75	11,25

Adapté de : Stalling et Thomas, 1982

Dégradabilité de la protéine, azote soluble et azote ammoniacal

La fermentation fait augmenter la teneur en azote non protéique du fourrage. En effet le fourrage contient généralement 10-20% d'azote non protéique au moment de la récolte et 50-65% après fermentation. La dégradation de la protéine vraie en peptides et acides aminés serait due aux enzymes naturellement présents dans la plante tandis que la dégradation subséquente en ammoniac et amines résulterait principalement de l'activité des bactéries clostridiennes.



L'augmentation de la teneur en azote non protéique se traduit en une augmentation de la dégradabilité ruminale de la protéine. Cette dernière peut augmenter de 15% à 30% selon l'espèce ensilée, le stade de récolte, la teneur en matière sèche de l'ensilage et la technique d'ensilage.

Petit et Tremblay (1992) ont observé que la dégradabilité de la protéine de l'ensilage de fléole est de 25% à 30% plus élevée que celle du fourrage vert et du foin (tableau 4). Dans cette expérience, la plus faible dégradabilité de la protéine de l'ensilage de balles rondes comparativement à celle de l'ensilage en silo meule semble résulter d'une teneur en matière sèche plus élevée.

Tableau 4 Dégradabilité de la protéine de la fléole selon la méthode de conservation

Méthode de conservation	Teneur en M. S. (%)	Dégradabilité ruminale de la protéine (%)
Fourrage vert	20,6	57,0
Ensilage en silo meule		
Fourragère traditionnelle	36,7	87,3
Fourragère autochargeuse	33,4	83,3
Ensilage de balles rondes	59,3	81,1
Foin	94,0	56,0

Source : Petit et Tremblay, 1992

De même, les résultats de Campbell et Buchanan-Smith (1991) montrent que la dégradation ruminale de la protéine tend à être plus élevée dans l'ensilage humide que dans l'ensilage demi-sec (tableau 5).

Tableau 5 Influence de la teneur en matière sèche sur la qualité de la protéine de l'ensilage de luzerne et mil

	Ensilage en silo tour conventionnel en béton		Ensilage en silo hermétique	Valeur généralement observée avant fermentation
Teneur en M. S. (%)	27,5	46,1	56,4	
N-ADF / N total (%)	9,46	10,11	9,32	< 5
N non protéique / N total (%)	58,99	54,38	50,40	10-20
N ammoniacal / N total (%)	13,1	10,90	8,47	0
N soluble / N total (%)	66,88	61,15	55,05	20-30
N dégradé / N total (%)	75,81	71,24	65,01	50-60

Source : Campbell et Buchanan-Smith, 1991

L'analyse de l'azote soluble fournit une bonne indication sur la qualité de la protéine, puisqu'elle nous informe sur l'importance de la fraction rapidement dégradée. L'azote soluble comprend l'azote non protéique et la partie la plus facilement dégradée de la protéine vraie. Elle augmente généralement d'environ 30% à 40% pendant la fermentation, passant de 20-30% à 50-70%. Des augmentations encore plus importantes peuvent être observées dans les ensilages mal conservés.

La teneur en azote ammoniacal donne aussi une indication sur la qualité de la protéine de l'ensilage, puisqu'il a une certaine relation entre l'azote ammoniacal et l'azote soluble : un rapport N ammoniacal / N total de 5-10% correspond à un rapport N soluble / N total de 50-60%.

Pour un même système d'ensilage, la teneur en azote ammoniacal diminue avec l'augmentation de la teneur en M. S. C'est le reflet du degré de fermentation. Ainsi Beaulieu et al (1993) rapportent que l'ensilage de balles rondes demi-sec a une teneur plus faible en azote ammoniacal que l'ensilage préfané ou humide, résultat d'une fermentation moins poussée (annexe 4). De même Campbell et Buchanan-Smith (1991) ont observé que la teneur en azote ammoniacal diminue avec l'augmentation de la teneur en M. S. de l'ensilage en silo tour (annexe 3).

Pour une même teneur en M. S., la teneur en azote ammoniacal d'ensilages entreposés de façon différente, renseigne sur la qualité de la fermentation. Par exemple, l'ensilage en silo meule a une teneur en azote ammoniacal moins élevée que l'ensilage humide en balles rondes, ce qui semble le résultat d'une meilleure fermentation, puisque la fermentation de l'ensilage en silo meule est plus poussée (pH plus bas, plus d'acide lactique) que celle de l'ensilage humide de balles rondes (Beaulieu et al, 1993) (annexe 4). La moindre efficacité de la fermentation de l'ensilage de balles rondes est due à la longueur des brins.

Finalement la comparaison d'ensilages faits avec des systèmes différents, utilisant des teneurs en M. S. différentes, renseigne sur l'efficacité des systèmes en terme de préservation de la protéine. Ainsi Petit et al (1993) ont observé que l'ensilage de balles rondes (54,3% M. S.) a une teneur en azote ammoniacal moins élevée que l'ensilage en silo meule (33,3 et 35,4% M. S.) (annexe 5).

Tel que mentionné précédemment, la teneur en azote ammoniacal n'est pas uniquement le reflet de la protéolyse initiale ; elle peut augmenter de façon marquée tant que l'ensilage n'est pas servi aux animaux, c'est-à-dire pendant la période d'entreposage suivant la fermentation initiale et après l'ouverture du silo, suite à l'activité microbienne indésirable.

La fermentation influence le contenu en acides aminés de l'ensilage. Chase (1993) rapporte des résultats obtenus dans l'ensilage de luzerne. La lysine, la thréonine, l'histidine, l'arginine, le tryptophane et la thréonine sont dégradées pendant la fermentation, alors que l'isoleucine, la leucine et la valine tendent à résister à la dégradation durant la fermentation. La fermentation modifie donc le profil des acides aminés essentiels de l'ensilage, ce qui peut avoir un certain impact sur la performance animale.

En résumé

On assiste en début de fermentation à une diminution importante des hydrates de carbone non structuraux, alors que les hydrates de carbone structuraux diminuent généralement moins et seulement dans une fermentation poussée. Il en résulte donc une diminution du rapport entre l'énergie rapidement dégradable (sucres simples, amidon) et l'énergie lentement dégradable (hémicellulose, cellulose).

Par contre la fermentation fait augmenter la teneur en azote non protéique du fourrage. Il en résulte une plus grande quantité de protéine dégradée dans le rumen, c'est-à-dire moins de protéine « by-pass » et une plus grande proportion de protéine soluble, c'est-à-dire rapidement dégradable dans le rumen.

Ainsi l'ensilage diffère du foin de deux façons principales : il contient moins d'énergie rapidement disponible et plus de protéine rapidement dégradable que le foin.

LA QUALITE DE CONSERVATION DE L'ENSILAGE

La qualité de conservation de l'ensilage peut être évaluée à l'aide d'analyses chimiques et d'analyses microbiologiques. Il est aussi possible à une personne habituée de faire un premier diagnostic suite à une simple observation de l'ensilage.

INTERPRETATION D'UN RAPPORT D'ANALYSE CHIMIQUE

Un rapport d'analyse chimique sur la qualité de conservation de l'ensilage donne le pH de l'ensilage, ses teneurs en acide lactique, acide acétique, acide butyrique et acide propionique, et sa teneur en azote ammoniacal. On peut y trouver aussi sa teneur en sucres solubles et en éthanol. L'interprétation du rapport d'analyse est basée sur l'évaluation des valeurs absolues ou relatives de ces différents produits de la fermentation.

pH

Le pH donne une indication de la qualité de conservation de l'ensilage, puisqu'un pH suffisamment bas arrête l'activité microbienne. Cependant le pH qui assure la stabilité anaérobie de l'ensilage c'est-à-dire qui arrête l'activité des bactéries clostridiennes, augmente avec la teneur en matière sèche (tableau 6).

Il faut donc interpréter le pH en tenant compte de la teneur en matière sèche de l'ensilage. De plus le modèle développé par Leibensperger et Pitt (1987) semble indiquer que le pH de stabilité anaérobie des légumineuses serait un peu plus élevé que celui des graminées. Un ensilage dont le pH est supérieur au pH de stabilité anaérobie peut présenter un taux d'azote ammoniacal élevé, ce qui en réduit la qualité.

Tableau 6 pH de stabilité anaérobie de l'ensilage

Teneur en matière sèche (%)	pH de stabilité anaérobie
20	4,0
25	4,2
30	4,4
35	4,6
40	4,8
45	5,0

Source : Wieringa (1969)

Acide lactique

La teneur en acide lactique est fonction de l'intensité de la fermentation qui dépend principalement de la teneur en matière sèche et de la teneur initiale du fourrage en sucres solubles. En effet la fermentation peut être arrêtée par le manque de sucres ou par le manque d'humidité. De plus la teneur en acide lactique peut diminuer lorsque l'ensilage se dégrade suite à l'action des ferments butyriques. La teneur en acide lactique doit donc être interprétée avec précaution. Un bon ensilage peut en contenir de 3 à 15%. C'est plutôt la proportion d'acide lactique par rapport aux acides totaux qui devrait être utilisée comme critère de qualité. Dans les fourrages, le rapport acide lactique / acides totaux devrait être d'au moins 50% (bon) et idéalement de 75% (excellent).

Acide acétique

Dans un bon ensilage l'acide acétique provient de l'activité des bactéries lactiques hétérofermentaires (produisant à la fois de l'acide lactique et de l'acide acétique). Ainsi normalement la teneur en acide acétique augmente avec la teneur en acide lactique sans que la qualité de fermentation soit réduite. De plus l'addition d'un inoculant bactérien (bactéries homolactiques, c'est-à-dire produisant uniquement de l'acide lactique) réduit normalement la quantité d'acide acétique produit pour un même degré de fermentation. Le rapport acide lactique / acide acétique est donc un indicateur de l'efficacité de la fermentation lactique. Dans les fourrages, un rapport acide lactique / acide acétique supérieur à 4 est un indice d'une bonne fermentation. De plus l'activité des entérobactéries qui se développent en présence d'air ou en l'absence d'air et celle des bactéries clostridiennes qui dégradent l'ensilage en l'absence d'air peuvent faire augmenter la teneur en acide acétique. Un ensilage présentant une teneur en acide acétique inférieure à 4% et un rapport acide acétique / acides totaux inférieur à 30% est généralement considéré comme bon. Cependant dans un excellent ensilage la teneur en acide acétique reste inférieure à 2% et le rapport acide acétique / acides totaux inférieur à 15%.

Acide butyrique

L'acide butyrique est un indice d'une mauvaise conservation et d'une instabilité de la masse d'ensilage. Un ensilage d'excellente qualité en contient moins de 0,1% et on peut considérer comme bon à moyen un ensilage qui en contient moins de 0,5%.

Acide propionique

On ne trouve généralement que des traces d'acide propionique dans l'ensilage. Sa présence est un indice de la dégradation de l'ensilage. Cependant certains inoculants contiennent des bactéries productrices d'acide propionique dans le but d'améliorer la stabilité aérobie de l'ensilage.

Azote ammoniacal

Une faible teneur en azote ammoniacal de l'ensilage est un indice d'une faible dégradation de la protéine sous l'action des bactéries et des enzymes pendant la fermentation. Le rapport N ammoniacal / N total est $< 5\%$ dans un ensilage de graminées et de légumineuses d'excellente qualité et $< 10\%$ dans un ensilage de bonne qualité. Cependant on accepte généralement un niveau un peu plus élevé chez les légumineuses que chez les graminées. La dégradation normale de la protéine peut faire monter la teneur en azote ammoniacal à 5-10% de l'azote total dans un ensilage à plus de 65% d'humidité. Cependant ce rapport devrait être de plus en plus faible à mesure que la teneur en matière sèche de l'ensilage augmente. Une augmentation de la teneur en azote ammoniacal avec la durée d'entreposage est un indice de l'instabilité de l'ensilage résultant d'une fermentation trop lente et pas assez poussée.

Protéine liée

On recommande l'analyse du N-ADF (protéine liée) pour tout ensilage qui semble brun noirâtre. Le rapport N-ADF / N total permet de déterminer quelle proportion de la protéine est liée à la fibre et donc non disponible (non digestible). On considère généralement qu'une teneur en protéine liée supérieure à 15% résulte d'un chauffage excessif et diminue la protéine disponible (tableau 3).

Sucres solubles

La teneur en sucres résiduels dans l'ensilage n'est pas un critère de qualité de la fermentation, puisqu'une faible teneur en sucres solubles peut résulter d'un fourrage initialement pauvre en sucres, d'une fermentation poussée ou de la détérioration de l'ensilage en entrepôt. Cependant une meilleure préservation des sucres solubles assure une plus grande disponibilité en énergie rapidement utilisable par les bactéries du rumen.

Éthanol

La présence d'éthanol dans l'ensilage est principalement le résultat de l'activité des levures et un signe de la détérioration de la qualité de l'ensilage. On peut en trouver des quantités significatives dans les ensilages humides qui ont mal fermenté et dans les ensilages demi-secs qui sont repris trop lentement.

En résumé

Les principaux critères qui peuvent être utilisés pour évaluer la qualité de la fermentation sont présentés au tableau 7, alors qu'une interprétation de la qualité de fermentation de certains ensilages est présentée aux annexes 3, 4 et 5.

LA COMPOSITION MICROBIOLOGIQUE DE L'ENSILAGE ET LES TOXINES

La qualité de l'ensilage dépend aussi de la présence de moisissures et de levures. En effet plus la chute de pH est lente, plus il y a de risque que l'ensilage contienne un niveau élevé de moisissures et de levures, puisqu'elles peuvent croître rapidement tant que le pH est supérieur à 5, surtout si le silo n'est pas parfaitement étanche. Les levures peuvent croître en l'absence d'air alors que les moisissures se développent seulement en présence d'air. C'est pourquoi un ensilage qui a bien fermenté peut se détériorer s'il y a infiltration d'air dans le silo ou si le taux de reprise est trop lent. Un compte des moisissures totales et des levures totales donne une bonne indication du risque de dégradation de l'ensilage. On considère généralement qu'un ensilage contenant plus de 100 000 ufc (moisissures) / g ou plus de 100 000 ufc (levures) / g est susceptible de se détériorer, surtout s'il est exposé à l'air de façon prolongée. Cela est dû au fait que les spores de levures et de moisissures ne sont pas détruites par la fermentation. Elles peuvent rester dormantes jusqu'à ce qu'elles trouvent les conditions favorables à leur développement.

Les moisissures les plus nocives appartiennent aux genres *Fusarium*, *Gibberella*, *Aspergillus* et *Penicillium*. Par ailleurs les levures qui métabolisent l'acide lactique comme *Candida* sont plus problématiques que celles qui utilisent les sucres comme *Saccharomyces* et *Torulopsis*. Dans l'ensilage de maïs, ce serait principalement des bactéries aérobies (*Bacillus*) qui initieraient la détérioration de l'ensilage exposé à l'air (Mahanna, 1994).

Certaines moisissures produisent des toxines qui peuvent causer des problèmes aux animaux qui consomment les aliments qui en contiennent. C'est le cas entre autres de plusieurs espèces de *Fusarium*, *Aspergillus* et *Penicillium* qui sont fréquemment rencontrées dans les ensilages.

DIAGNOSTIC DES PROBLEMES COURANTS DE L'ENSILAGE

En cas de mauvaise conservation de l'ensilage, l'analyse des produits de la fermentation et les analyses microbiologiques constituent la façon la plus sûre d'identifier la cause du problème rencontré, parce qu'elles permettent de quantifier les différents constituants de l'ensilage. Cependant il est parfois possible de faire un premier diagnostic suite à une simple observation de l'ensilage. Les données présentées au tableau 8 peuvent servir de guide pour identifier les causes probables des problèmes rencontrés dans l'ensilage.

Tableau 7 Caractéristiques d'un bon ensilage ¹

1- pH

- **4,0- 4,5** pour les ensilages humides (> 65% d'humidité)
 - plus bas pour les graminées, le maïs et les céréales que pour les légumineuses
- **4,5- 5,0** pour les ensilages préfanés(55-65% d'humidité)
- pas un critère de stabilité pour les ensilages demi-secs (< 55% d'humidité)

2- Acides

- a) acide lactique 6 -8% pour les ensilages humides (> 65% d'humidité)
3-4% pour les ensilages demi-secs (< 55% d'humidité)
1-3% pour les grains humides
- b) acide acétique < 2% (excellent) et < 4% (bon) pour les fourrages
< 0,1% pour les grains humides
- c) acide butyrique < 0,1% (excellent) et < 0,5% (bon à moyen)
- d) acide propionique 0-1%

Proportion des acides totaux ²

- a) acide lactique / acides totaux > 75% (excellent) et > 50% (bon)
- b) acide acétique / acides totaux < 15% (excellent) et < 30% (bon)
- c) acide butyrique / acides totaux < 1,5% (excellent) et < 5% (bon à moyen)

3- Protéine

- a) Azote ammoniacal (N-NH₃ en % de N total)
 - < 5% pour le maïs et les céréales
 - < 10-15% pour les graminées et légumineuses
 - [< 5% (excellent), 5-10% (bon) et 10-15% (satisfaisant)] ³
- b) Azote soluble (en % de N total) < 50% (excellent), 50-60% (bon) ³
- c) Protéine liée à la fibre(N-ADF en % de N total)
 - < 12% la fermentation a procédé normalement.
 - Utiliser la protéine brute pour balancer les rations.
 - > 15% il y a eu des dommages dus au chauffage excessif.
 - Utiliser la protéine disponible pour balancer les rations.

4- Température de l'ensilage

Pas plus que 10-15°C au-dessus de la température ambiante lors de la mise en silo

5- Analyse microbienne

- (ufc / g = unités formatrices de colonies / g d'ensilage, tel que servi)
- a) Bactéries aérobies totales : < 100 000 ufc / g d'ensilage
 - b) Moisissures : < 100 000 ufc / g d'ensilage
 - c) Levures : < 100 000 ufc / g d'ensilage

¹ Adapté de : Mahanna, 1994, sauf

² Adapté de : Fleig, cité par Woolford, 1984, p. 192

³ Source : Demarquilly, 1986

Tableau 8

Diagnostic des problèmes courants de l'ensilage

SYMPTOMES SPÉCIFIQUES	CAUSES PROBABLES
Ensilage chaud > 50°C	La production de chaleur résulte d'une respiration prolongée ou de la croissance des moisissures, des levures et des bactéries. Le chauffage peut être dû à un remplissage trop lent, une infiltration d'air, un taux de reprise insuffisant, un faible taux d'humidité, une maturité avancée lors de la récolte, un hachage trop long, une mauvaise distribution et une mauvaise compaction.
Caramélisation	La caramélisation, c'est-à-dire un ensilage de couleur foncée avec odeur de tabac ou la présence de grains noircis dans l'ensilage de maïs, est un signe de dommage dû au chauffage excessif. Elle est due à la présence d'une trop grande quantité d'oxygène dans la masse d'ensilage, suite à une teneur en matière sèche trop élevée, un hachage trop long ou une mauvaise compaction.
Ensilage moisi	Les moisissures croissent en présence d'oxygène et de substrat adéquat. Les conditions qui favorisent leur développement sont les suivantes : récoltes qui ont subi un stress, populations de levures et de moisissures élevées, remplissage lent du silo, faible taux de reprise, hachage trop long, faible taux d'humidité et mauvaise compaction.
Odeur de lait ranci	Le rancissement est causé par une fermentation clostridienne qui donne lieu à la production d'acide butyrique. On l'observe dans les ensilages où la fermentation lactique est insuffisante suite à une teneur en humidité élevée, une faible teneur en sucre soluble ou une faible population de bactéries lactiques.
Odeur de vinaigre	L'odeur de vinaigre résulte d'une fermentation dominée par les bactéries qui transforment les sucres en acide acétique (vinaigre). Ce type de fermentation est favorisé par une teneur en humidité élevée, une faible population de bactéries lactiques et une faible teneur en sucre.
Odeur d'alcool	L'odeur d'alcool résulte d'une fermentation dominée par les levures. Ces dernières fermentent les sucres en alcool et peuvent aussi métaboliser l'acide lactique. Il en résulte alors une hausse du pH qui favorise la croissance de d'autres organismes responsables des pertes à l'entreposage. Le problème est surtout rencontré dans les ensilages trop secs et mal compactés dont le taux de reprise journalière est insuffisant.
Ensilage gelé	Le gel est observé dans les ensilages à faible teneur en matière sèche. On l'associe aussi à une respiration intense et à des dommages aux parois cellulaires. Il constitue un problème surtout dans les silos verticaux.
Instabilité aérobie (perte à la mangeoire)	L'instabilité aérobie de l'ensilage résulte d'une reprise lente associée à une population élevée de moisissures ou de levures. Elle est favorisée par les conditions suivantes : récolte ayant subi un stress, teneur en matière sèche élevée, mauvaise compaction et faible teneur en sucre suite à une récolte à un stade de maturité avancé.
Perte par écoulement	Les pertes par écoulement sont causées principalement par une humidité trop élevée, un fourrage lacéré par des couteaux de fourragère mal aiguisés et des tissus meurtris suite à une sur-compaction.
Consommation volontaire faible	Une faible consommation volontaire peut être due à plusieurs facteurs : fermentation clostridienne, contenu en azote ammoniacal élevé, ensilage trop sec ou trop humide, taux élevé de fibre, maturité avancée et présence de moisissures, de mauvaises herbes toxiques ou de nitrates.

Source : Mahanna, 1997

COMMENT OBTENIR UNE MEILLEURE EVALUATION DE LA QUALITE DE L'ENSILAGE ?

Pour améliorer l'évaluation de la qualité de l'ensilage en vue de la formulation des rations, il y a deux possibilités, soit le prélèvement d'échantillons plus représentatifs et la réalisation d'analyses plus poussées. Cependant pour ne pas faire augmenter inutilement les coûts reliés à l'évaluation de la valeur de l'ensilage, il faut se baser sur certains critères avant d'entreprendre une telle démarche.

DES ECHANTILLONS PLUS REPRESENTATIFS

La représentativité des échantillons dépend de la méthode de prélèvement et du temps où on les prélève.

Temps de prélèvement des échantillons

Les échantillons d'ensilage pour fins d'analyse sont généralement prélevés lors du remplissage du silo plutôt qu'après la fermentation pour deux raisons : il est plus facile de prélever des échantillons à ce moment-là et ça permet d'obtenir les résultats avant de commencer à alimenter.

Lorsqu'on utilise les analyses avant fermentation, on assume que dans un fourrage ensilé correctement et qui fermente normalement, il y a peu de changement dans les teneurs en fibre (ADF et NDF) et en protéine brute pendant la fermentation, même si on est conscient que certaines fractions de la protéine (protéine soluble, azote ammoniacal) et des hydrates de carbone (sucres solubles) peuvent changer de façon significative.

On devrait prélever de nouveau des échantillons après la fermentation chaque fois qu'il y a des risques de changements importants de la valeur nutritive pendant l'entreposage. C'est le cas :

- Lorsque le fourrage est ensilé trop humide et qu'il se produit du coulage.
Les ensilages très humides présentent des risques élevés de perte d'éléments nutritifs par coulage, de dégradation de la protéine et d'augmentation de la teneur en fibre ADF dû à une fermentation poussée.

- Lorsque le fourrage est ensilé trop sec et chauffe de façon excessive.
Les ensilages très secs présentent des risques élevés d'augmentation de la teneur en protéine liée (N-ADF) dû au chauffage excessif et d'augmentation de la teneur en fibre ADF suite au développement des moisissures.

- Lorsque la fermentation est mauvaise pour toute autre raison (tableau 8)
Toute mauvaise fermentation entraîne des pertes accrues d'éléments nutritifs.

Ainsi, même si des échantillons ont été prélevés lors du remplissage du silo, on devrait en prélever de nouveau avant d'utiliser l'ensilage pour l'alimentation, dans les silos qui ont coulé, qui ont chauffé de façon excessive ou qui ont mal fermenté pour toute autre raison.

Méthode de prélèvement d'échantillons

Dans l'ensilage haché, le prélèvement d'échantillons à la récolte est facile : il suffit de prélever quelques poignées d'ensilage au cours du déchargement de plusieurs wagons provenant d'un même champ et de les mélanger pour former un seul échantillon d'environ un litre et de placer le tout dans un sac de plastique étanche, en prenant soin de chasser l'air. En procédant de façon systématique, on peut ainsi avoir des analyses qui sont très représentatives de l'ensemble du contenu du silo.

Par contre la méthode de prélèvement d'échantillons à la reprise dépend du type de silo. En silo tour, il suffit de placer une chaudière dans la chute pendant quelques secondes, à quelques reprises et de regrouper ces échantillons. Par contre, en silo horizontal (silo meule ou silo presse), on recommande de prélever une grosse poignée de fourrage à au moins 10-12 endroits à la surface ouverte du silo, à une profondeur de 40-50 cm. Dans les deux cas, l'échantillon prélevé de cette façon est plus représentatif du fourrage consommé par les animaux que l'échantillon prélevé lors de la récolte, mais il n'est pas nécessairement représentatif de l'ensemble du silo. En effet, il est impossible de prélever un échantillon représentatif de l'ensemble d'un silo tour après la fermentation de l'ensilage. Par contre, il est possible de le faire dans le cas des ensilages sous plastique (silo meule et silo presse). Pour y arriver, il faut perforer le plastique à au moins cinq endroits quelques semaines avant le début de l'alimentation, de façon à prélever des échantillons à 40-50 cm de profondeur (éviter d'échantillonner trop en surface). Ce n'est pas une tâche facile et il faut de plus prendre soin de bien réparer le plastique.

Dans l'ensilage de balles rondes, on utilise une perceuse équipée d'un cylindre affûté pour prélever des échantillons dans plusieurs balles provenant d'un même champ, et le tout est bien mélangé pour former un seul échantillon. Le prélèvement d'échantillons après fermentation n'exige pas plus d'ouvrage que le prélèvement au moment de la récolte, si ce n'est la réparation du plastique. Par contre cela présente des avantages, à condition que les différents lots d'ensilage aient été bien identifiés au préalable.

Considérant que la qualité de conservation de l'ensilage sous plastique est beaucoup plus affectée par la durée d'entreposage que l'ensilage en silo tour, on devrait prélever des échantillons avant de commencer à alimenter les ensilages sous plastique qui ont été entreposés plus de 8 mois (alimentation d'été). Ça devrait aussi être le cas chaque fois que l'ensilage a tendance à chauffer au moment de la reprise. En effet les changements de valeur nutritive de l'ensilage sont dus non seulement à la fermentation initiale, mais aussi à la détérioration pendant la période d'entreposage et après l'ouverture du silo.

De plus on devrait vérifier périodiquement la teneur en matière sèche de l'ensilage afin d'utiliser les valeurs réelles dans la formulation des rations. À ce point de vue c'est l'ensilage de balles rondes qui est le plus problématique, car la teneur en matière sèche peut varier beaucoup d'une balle à l'autre.

Méthode de conservation des échantillons

Souvent les échantillons d'ensilage sont congelés avant d'être expédiés au laboratoire, afin qu'ils ne se détériorent pas dans le transport. Cependant une recherche récente a démontré que la congélation des échantillons d'ensilage de maïs prélevés avant fermentation peut faire augmenter le teneur en fibre (O'Neil et Allen, 1993 cité par Undersander, 1997). Les échantillons prélevés lors de la récolte devraient donc être seulement réfrigérés aussitôt après le prélèvement et expédiés au laboratoire dans les jours qui suivent.

De plus les échantillons pour les analyses microbiologiques ne doivent pas être congelés mais simplement réfrigérés afin de garder les microorganismes vivants, alors qu'on recommande de sécher ou congeler les échantillons destinés aux analyses de toxines afin que la production de toxine ne se continue pas.

DES ANALYSES PLUS POUSSÉES

L'ensilage modifie profondément les glucides et la protéine du fourrage. De plus il en résulte la présence de produits de la fermentation (acide lactique, acides gras volatils, acides aminés libres) qui peuvent influencer le métabolisme animal. Pour avoir une image complète de la valeur alimentaire d'un ensilage, il faudrait disposer des analyses qui nous informent sur la valeur nutritive, la qualité de fermentation et même la composition microbiologique de l'ensilage, ce qui est pratiquement impensable. Cependant tout le monde est d'accord sur le fait qu'il faudrait des analyses plus complètes avec l'ensilage qu'avec le foin pour bien caractériser la qualité du produit qui est servi aux animaux. Les analyses de routine actuelles donnent une information adéquate dans le cas du foin, mais limitée dans le cas de l'ensilage (Chase, 1997).

Matière sèche

Traditionnellement on détermine la teneur en matière sèche par séchage des échantillons à haute température (80 à 100°C pendant 24 heures), ce qui entraîne la perte des composés volatils (3 à 10% de la matière sèche). On sous-estime donc la teneur en matière sèche des ensilages plus ou moins selon le degré de fermentation. Il en résulte aussi une surestimation des teneurs en composés non volatils (protéine, fibre...). Pour corriger la situation, des auteurs ont suggéré de développer des équations pour corriger la teneur en matière sèche obtenue par séchage, en prenant comme référence la teneur en matière sèche obtenue par distillation au toluène (Haigh, 1995) alors que d'autres ont suggéré de réaliser un séchage

moins poussé des échantillons fermentés (55°C pendant 24 heures) de sorte que l'humidité restant dans l'échantillon compense la perte de produits volatils (Mertens, 1992).

Protéine

La protéine brute représente le minimum requis. La protéine liée (N-ADF) est essentielle dans les ensilages qui ont chauffé anormalement. La protéine soluble devrait faire partie des analyses disponibles. C'est une analyse essentielle puisque la teneur en protéine soluble de l'ensilage varie beaucoup. L'analyse de l'azote ammoniacal fournit une information utile concernant la qualité de la fermentation.

Hydrates de carbone structuraux

On utilise la fibre NDF pour prédire l'ingestibilité et la fibre ADF pour prédire l'énergie des fourrages, mais on est conscient que l'évaluation de l'énergie basée uniquement sur l'analyse de la fibre ADF n'est pas adéquate. L'analyse de la lignine permettrait d'utiliser des équations de prédiction de l'énergie plus précises que celles utilisées actuellement. Cependant son coût est très élevé.

Hydrates de carbone non structuraux

L'analyse des sucres solubles résiduels nous informe sur la quantité de cette fraction de sucres très dégradables restant dans l'ensilage. L'analyse de l'amidon serait utile dans le cas de l'ensilage de maïs.

Acides produits par la fermentation

Le pH donne une bonne idée du degré de fermentation. Cependant il faut l'interpréter en fonction de la teneur en matière sèche de l'ensilage. Les teneurs en acides organiques permettent de préciser la qualité de la fermentation. Ces analyses peuvent être utiles surtout dans le cas où on voudrait identifier la cause de la mauvaise qualité de l'ensilage.

Analyses microbiologiques

Le compte du nombre de moisissures et de levures présentes dans l'ensilage avant l'ouverture du silo peut nous informer sur le risque de détérioration de l'ensilage lorsqu'il sera exposé à l'air.

Analyse des toxines

Dans les cas d'ensilages contenant beaucoup de moisissures, l'analyse des toxines permet de préciser si ces ensilages peuvent être servis aux animaux sans risque.

En résumé

Pour améliorer l'évaluation de la valeur nutritive de l'ensilage, en vue de la formulation des rations, il faudrait mieux prédire leur valeur énergétique et avoir plus d'information sur les fractions de la protéine, ce qui implique au moins deux analyses supplémentaires à celles qui sont actuellement disponibles dans la plupart de nos laboratoires : 1° L'analyse de la lignine permet de déterminer avec un peu plus de précision l'énergie des fourrages. 2°) L'analyse de protéine soluble permet de préciser la valeur protéique de l'ensilage. Si on voulait pousser encore plus loin le degré de précision, il faudrait avoir plus d'information sur les hydrates de carbone non structuraux présents dans l'ensilage après fermentation et avoir une façon de corriger la teneur en matière sèche de l'ensilage en fonction du degré de fermentation.

Le principal problème reste toujours l'évaluation de la valeur énergétique des fourrages. On est conscient que l'évaluation faite à partir de la fibre (même avec l'analyse de la lignine) n'est pas très précise. Face à l'impossibilité de faire des tests de digestibilité *in vivo* sur une base routinière, les mesures de digestibilité *in vitro*, notamment par les méthodes enzymatiques, constituent une alternative. Cependant les recherches actuelles sont plutôt orientées vers le développement d'équations permettant d'évaluer la digestibilité des fourrages par spectroscopie dans le proche infra rouge. Ces recherches permettront peut-être de déterminer plus précisément et plus rapidement la valeur énergétique des fourrages ainsi que les différentes fractions de la protéine brute et des hydrates de carbone.

Pour résoudre les problèmes de mauvaise conservation de l'ensilage, l'analyse des acides organiques produits par la fermentation, de même que l'analyse des moisissures et celle des toxines, peuvent être envisagées.

EFFET DE LA FERMENTATION SUR LA PERFORMANCE

Dans l'alimentation des animaux, la maximisation de la consommation volontaire des aliments est reconnue comme étant un facteur de base afin d'atteindre une performance maximale. La consommation de la ration est influencée par différents facteurs qui sont liés soit à l'animal, aux aliments ou à l'environnement, ou tout simplement à la forme et au mode d'entreposage et de distribution utilisés dans l'entreprise. À titre d'exemple, l'odeur d'un aliment influencera le moment où l'animal commencera son repas alors que le goût de l'aliment affectera la durée du repas.

Du point de vue physique, les aliments très fibreux seront consommés en quantités plus faibles. En effet avec l'usage de rations hautement fourragères, la consommation totale d'aliments serait d'avantage affectée par la proportion de fibre de la ration, qui influencera le taux de passage à travers le système digestif, que par la digestibilité de cette fibre. En conséquence, on a avantage à hacher les fourrages trop fibreux pour en favoriser la

consommation. Ce phénomène réduit la période de rétention ruminale de cette fraction et accélère le transit digestif.

Quels sont les facteurs de variation de la consommation qui sont reliés à l'ensilage ? Après avoir reconnu l'appétence comme étant un facteur et la propriété physique comme second critère, on mentionnera la disponibilité des nutriments de même que la présence des produits de fermentation.

CARACTÉRISTIQUES PROPRES AUX ENSILAGES

Une analyse complète des ensilages permet d'avoir une bonne connaissance de leurs caractéristiques nutritionnelles et de mieux orienter la formulation des rations. Un meilleur équilibre des rations favorise une meilleure utilisation des aliments et une meilleure efficacité de production.

Matière sèche

Les rations très humides, à base d'aliments fermentés, sont généralement moins bien consommées. L'effet ne serait pas dû uniquement à la dilution apportée par l'eau mais serait relié aux produits de fermentation de l'ensilage tels les acides organiques et les composantes azotées dégradées. Généralement on indique que la concentration en matière sèche de la ration totale devrait se situer à plus de 50 à 55%.

Grosueur des particules

Pour stimuler l'activité de mastication et la production de salive chez le ruminant, l'animal a besoin d'un minimum de fibre efficace dans la ration. La première fonction de l'évaluation de la longueur des particules de fourrage est de déterminer de façon adéquate le niveau de fibre efficace apportée. En deuxième temps la grosueur des particules doit correspondre à une grosueur permettant d'obtenir une compaction suffisante pour exclure l'oxygène de la masse et ainsi assurer une densité acceptable de l'ensilage.

Il existe différentes méthodes pour déterminer la longueur des particules. L'Université de Pennsylvanie a développé un séparateur de particules à 3 plateaux pour séparer les différentes longueurs de particules d'aliment. La portion de l'échantillon demeurant sur la passe supérieure sera grossière, celle se retrouvant entre les plateaux sera moyenne et celle traversant les 2 plateaux sera fine. Les objectifs à atteindre seront différents selon que l'on a un ensilage d'herbe, un ensilage de maïs ou un mélange de RTM (tableau 9).

Tableau 9 Recommandation des grosseurs de particules pour des ensilages ou une RTM selon la méthode du séparateur à fourrages "Penn state particule size separator"

Plateaux	Maïs ensilage	Ensilage de foin	RTM
Plateau du haut (> 0,75 pouce)	<ul style="list-style-type: none"> • 2 à 4 % s'il n'est pas le seul fourrage • 10 à 15 % si broyé ou roulé 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 à 15% en silo hermétique • 15 à 25 % pour silo horizontal (matériel plus humide) 	6 à 10 % ou plus
Plateau du centre (0,31 à 0,75 pouce)	40 à 50 %	30 à 40 %	30 à 50 %
Plateau du bas (> 0,31 pouce)	40 à 50 %	40 à 50 %	40 à 60 %

Source : Heinrichs, 1996

Il est important de se rappeler que le pourcentage de matériel grossier est basé sur le poids et non le volume de la masse ensilée. Aussi lorsque l'on veut analyser ou résoudre un problème relié au programme alimentaire, la proportion des différentes grosseurs de particules dans la RTM doit être évaluée en tenant compte des pertes à la mangeoire. En effet, même si le niveau des grosses particules est élevé, ça ne veut pas dire que l'animal les a bien consommées. Il faut faire attention puisqu'il y a souvent beaucoup de grosses particules comme les morceaux d'épi et les feuilles longues dans les refus ou pertes à la mangeoire. Ces pertes peuvent être composées d'environ 50% de grosses particules.

Ex : Pour le groupe de fortes productrices d'un troupeau où la consommation est de 24 kg de matière sèche sous forme de RTM; la teneur en grosses particules doit être d'environ 8%. De plus, on considère une perte à la mangeoire qui peut être de l'ordre de 6% dont 50% sont des grosses particules. Voici un exemple de calcul du pourcentage de grosses particules qui tient compte des aliments réellement consommés par l'animal.

Sur	24 kg	à 8%	=	1,92 kg de grosses particules offertes
	24 kg	à 6%	=	1,44 kg de pertes en mangeoires
	1,44 kg	à 50%	=	0,72 kg de pertes de grosses particules
	1,92 kg	- 0,72 kg	=	1,20 kg de grosses particules consommées
	1,20 kg	÷ (24 kg - 1,44 kg)	=	5,3% de grosses particules consommées

Cet exemple démontre que le seuil minimum de 8% de grosses particules est trop conservateur lorsque l'on tient compte des pertes à la mangeoire.

Texture

La définition de la texture des fourrages met en parallèle la longueur théorique de coupe (LTC) ainsi que la proportion de particules ayant plus des 3,8 cm ou 1,5 pouces. Les tableaux qui suivent proposent une classification des fourrages en fonction de leur texture et des recommandations concernant l'utilisation de chaque classe de fourrage. Ces dernières ont comme objectif de maintenir la fermentation ruminale à un niveau adéquat en terme de pH, maximisant ainsi la croissance des populations microbiennes (Shaver, 1990).

Tableau 10 Guide d'alimentation des ensilages de foin

LTC	% PARTICULES > 1,5 pouces	RECOMMANDATIONS
3/8"	15 à 20%	• Longueur de coupe idéale pour les ensilages où on vise 28% de fibre NDF dans la ration.
1/4"	7-10%	• Ajout de 2 à 3 kg de foin long. • Objectif de 29% de fibre NDF dans la ration. • Considérer l'utilisation de substances tampons.
3/16"	< 7%	• Viser 50% de la ration fourragère avec le foin long. • Objectif de 30% de fibre NDF dans la ration. • Considérer l'utilisation de substances tampons

Source : Shaver, 1990

Tableau 11 Guide d'alimentation des ensilages de maïs

LTC	% PARTICULES > 1,5 pouces	RECOMMANDATIONS
1/4"	7 - 10%	Lorsque l'ensilage de maïs représente plus de 25% de la matière sèche fourrage, on vise 30% de fibre NDF dans la ration

Source : Shaver, 1990

Composition chimique

La concentration en fibre ADF est reliée à la digestibilité d'un fourrage alors que la concentration en fibre NDF est reliée à l'ingestibilité de ce même fourrage. Généralement on observe une augmentation de consommation de matière sèche digestible avec des fourrages récoltés à un stade jeune. L'ingestibilité accrue du jeune fourrage explique de 70 à 80% de l'augmentation de consommation, alors que la meilleure digestibilité en explique de 20 à 30%.

Tableau 12 Caractéristiques de rations selon la concentration en NDF et l'espèce pour une production maximale de lait pour des vaches de 600 kg de poids vif

NDF Fourrage (%)	Fourrage (%)	NDF RTM (%)	CVMS fourrage /100 kg	Production maximale de lait (kg / jour)	
				Légumineuses	Graminées
40	47,4	25,3	2,06	46,6	
45	44,4	26,7	1,83	42,3	
50	41,9	27,9	1,65	38,8	42,9
55	39,6	29,0	1,50	36,0	39,5
60	37,5	30,0	1,38	33,6	36,6
65	35,6	30,9	1,27	31,7	34,1
70	34,0	31,7	1,18		32,0
75	32,4	32,4	1,10		30,0

Source : Jalbert et al, 1986

La consommation maximale de nutriments se produit lorsque la ration contient de 50 à 60% de concentrés.

Séquence de distribution

La distribution de quelques 2 à 3 kilos de foin long comme premier repas du matin est une pratique répandue. Cela réduirait sensiblement la fréquence et l'incidence des acidoses et des indigestions, tout en améliorant les rendements en lait. Cet apport de foin stimule la mastication et la sécrétion de salive, permettant au rumen une adaptation plus souple aux aliments acidifiants (grains, ensilage) qui suivront au cours du prochain repas. Il est également souhaitable de combiner à des aliments riches en protéines dégradables au rumen des aliments riches en hydrates de carbone qui se dégradent intensivement dans le rumen.

ÉVALUATION DES BESOINS ET DISTRIBUTION DES FOURRAGES

Dans la préparation d'une ration pour une ferme laitière ou une ferme bovine, on doit tenir compte de l'inventaire des aliments et de l'inventaire des animaux. De cette façon la distribution des aliments sera faite en considérant la qualité des fourrages et les besoins des animaux. Lors du calcul des diètes, les différents aliments en inventaire seront attribués aux différentes classes d'animaux en tenant compte de leur disponibilité dans le temps et de la capacité d'ingestion des animaux à nourrir. Finalement une bonne utilisation des fourrages implique une planification des changements dans la ration fourragère qui permet aux animaux de s'adapter à toute nouvelle ration.

Considérons une ferme laitière qui possède l'infrastructure d'entreposage de foin sec et d'ensilage de maïs. Si on a engrangé 8 000 à 10 000 balles de foin, on retrouve probablement du foin de différentes espèces, récolté à différentes coupes et à différents stades de maturité. Nous verrons dans la section suivante les impacts de la date de coupe et les variations associées aux graminées et légumineuses. Bien sûr, on évitera d'alimenter la 3^e coupe de luzerne aux vaches en fin de lactation et l'ensilage de maïs sera réservé aux vaches en lactation et aux taures de 6 mois et plus si l'état de chair est à rebâtir.

On peut considérer deux méthodes de calcul pour établir le scénario de la ration fourragère.

1. L'indice d'ingestion de matière sèche tient compte de la valeur relative de l'aliment et de sa qualité énergétique. Un bon foin nous permet d'assumer une consommation volontaire de l'ordre de 2,3 à 2,4 kg de matière sèche par 100 kg de poids vif s'il est l'aliment fourrager unique. En contre partie un foin de maturité avancée sera consommé en moindre quantité (1,8 à 2,0 kg de matière sèche par 100 kg de poids) selon la catégorie de vache alimentée (en lactation ou tarie).
2. La deuxième méthode pour estimer la consommation des fourrages est basée sur le niveau de fibre NDF servi. Les niveaux de consommation de NDF varieront selon le type de fourrage consommé : 1,1% x NDF par 100 kg poids vif pour les légumineuses, 1,3% pour les graminées ou 1,2% pour un mélange de légumineuses et de graminées.

Ainsi un foin de légumineuse à 55% de NDF sera consommé à raison de 7,15 kg de NDF (650 kg x 1,1%) ou 13,0 kg de M. S. et un foin de graminée à 60% de NDF fournira une possibilité de consommation de 8,45 kg de NDF (650 kg x 1,3%) ou 14,0 kg de M. S.

Pour conclure par un exemple plus global, revenons à l'hypothèse de servir un volume de fourrage en foin sec accompagné d'ensilage de maïs à un troupeau de 40 vaches.

INVENTAIRE DES FOURRAGES DISPONIBLES

Quantité et qualité

	ADF	NDF
5 000 balles de foin mélangé de 1 ^{er} coupe	38%	56%
3 000 balles de foin de légumineuses de 2 ^e coupe	36%	52%
400 tonnes d'ensilage de maïs	28%	48%

Exemple : Besoins en matière sèche par jour

Troupeau de	Jours en lactation	Poids / tête (kg)	Poids corporel total (kg)
40 vaches			
10 vaches	< 100 jours	650	6500
10 vaches	100-200 jours	650	6500
12 vaches	> 200 jours	650	7800
8 vaches tarées	Tarissement	650	5200
10 taures	En gestation	480	4800
12 taures	8-16 mois	325	3900
14 génisses	< 8 mois	160	2240
			36 940

Besoin en matière sèche par année

Selon la méthode de CVMS (consommation volontaire de matière sèche) basée sur une ingestion de 2% du poids vif, le volume de fourrage servi pour le troupeau sera distribué selon le ratio de 50% par le foin et 50% par l'ensilage de maïs.

$$\begin{aligned} 2\% \text{ de } 36\,940 \text{ kg} &= 738,8 \text{ kg M. S.} \\ 50\% \text{ en foin} &= 370 \text{ kg M. S. de foin} \\ 50\% \text{ en ensilage de maïs} &= 370 \text{ kg M. S. d'ensilage de maïs} \end{aligned}$$

Cela représente 412 kg de foin (tel que servi) et 1156 kg d'ensilage de maïs à 32% M. S. par jour.

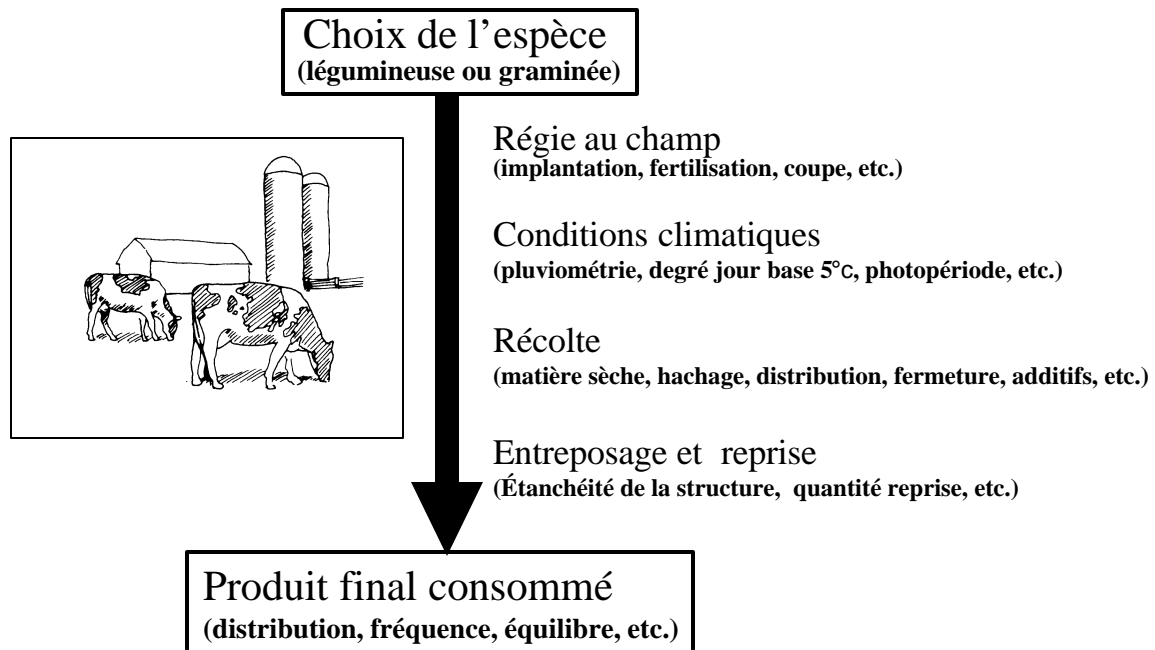
Sur une base annuelle on obtiendra une quantité approximative de 150 tonnes de foin et 420 tonnes de maïs ensilage.

Une deuxième méthode de calcul est celle basée sur le contenu en NDF. À titre d'exemple, si la qualité en NDF d'un fourrage est de 55%, la norme d'ingestion volontaire est de 1 à 1,2% de NDF par 100 kg de poids vif. Si on applique l'équation sur le poids total de 36 940 kg on obtiendra une quantité de 406 kg de NDF (avec 1,1%). Le volume de 738,8 kg de M.S. sera la partie fourragère de la ration quotidienne, partagée également entre le foin et l'ensilage de maïs.

VALORISATION DE L'ENSILAGE PAR L'ANIMAL

La fermentation des fourrages sous forme d'ensilage permet de minimiser les pertes de feuilles et d'éléments nutritifs occasionnées par les intempéries (pluie, vent, etc.) et par le processus de séchage (andainage, fanage, râtelage). Il faut cependant être conscient que de nombreux autres facteurs tels que ceux cités à la figure suivante, viendront influencer la qualité finale de l'ensilage servi aux ruminants. Parmi ces critères, on en retrouve deux très importants qui influenceront le rendement et la qualité nutritive du produit final. Le choix de l'espèce et la régie associée à son exploitation (implantation, fertilisation, régie de coupe, etc.) influenceront la quantité d'éléments nutritifs produite à l'hectare. En raison de la demande importante de nutriments (protéine et énergie) pour la vache laitière, on ne

recherche pas à maximiser le rendement de matière nutritive mais à l'optimiser en fonction des besoins propres à chaque classe d'animaux se trouvant sur l'entreprise. Pour les vaches laitières en début de lactation, on recherchera un fourrage riche en protéine (18 à 20 %) et concentré en énergie (1,40 Mcal/kg et plus) ; pour la génisse laitière un fourrage de graminées ou mélange (14 à 16 % de protéine) d'excellente qualité énergétique (1,30 Mcal/kg et plus) sera recherché en raison de la plus faible demande protéique de la génisse. Bien que le choix de l'espèce et de la régie de coupe (nombre de coupes et stade de coupe) soient des critères de toute première importance, il ne faudrait cependant pas négliger les autres critères décrits dans le schéma suivant. Ceux-ci auront un impact important sur la quantité de produit final consommée sous forme de foin ou d'ensilage et sur la performance du ruminant.



QUALITÉ FOURRAGÈRE SELON L'ESPÈCE ET LE STADE DE COUPE

De nombreuses graminées sont cultivées au Québec (la fléole des prés, le brome inerme, le dactyle pelotonné, l'alpiste roseau, etc.). Cependant, c'est la fléole des prés qui obtient le premier rang en terme d'ensemencement au Québec. En utilisant le stade gonflement début épiaison comme point de référence pour comparer nos différentes graminées, nous constatons certaines divergences entre elles. La fléole des prés est la graminée qui contient le moins de protéine, le plus de fibre NDF (consommation plus faible du fourrage), de fibre ADF et lignine (digestibilité plus faible). La fléole contient généralement plus de tiges que de feuilles comparativement aux deux autres graminées, ce qui expliquerait sa concentration plus faible en protéine et plus élevée en fibres. On note aussi au tableau 13 une différence importante en terme de potassium, la fléole étant la graminée qui en accumule le moins (2,9 % versus 3,55 %). Le plus faible taux de protéine (figure 1) et le niveau plus élevé de fibre ADF (figure 2) de la fléole des prés comparativement aux deux autres graminées, lui confèrent une plus faible valeur nutritive, peu importe le stade. Puisque la fléole contient

moins de feuilles et plus de tiges à tous les stades de croissance que les deux autres espèces, il n'est pas surprenant de constater que le brome et le dactyle demeurent plus nutritifs à la première coupe. Le dactyle est la graminée contenant le moins de fibre ADF (la plus digestible) pour les trois stades de croissance étudiés (figure 2). Cependant, cette dernière graminée demande une régie de coupe agressive, puisqu'elle est la plus hâtive des graminées québécoises. Si on ne la récolte pas hâtivement, elle devient rapidement très fibreuse et moins bien consommée. Le dactyle est aussi la graminée qui contient le moins de sucres ou d'énergie rapidement fermentescible pour la fermentation sous forme d'ensilage.

Figure 1 Effet du stade de croissance sur le taux de protéine de trois graminées fourragères québécoises - Première coupe

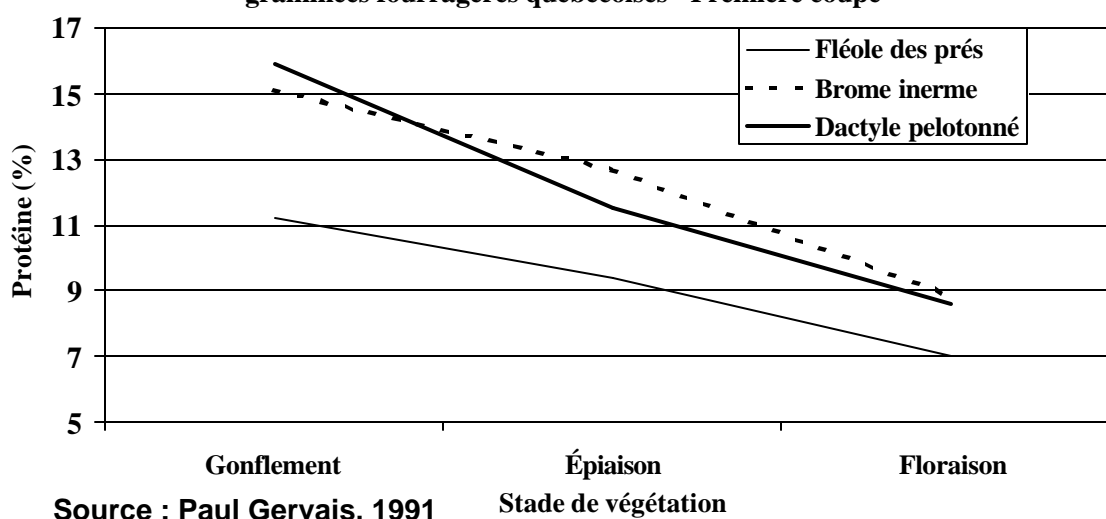
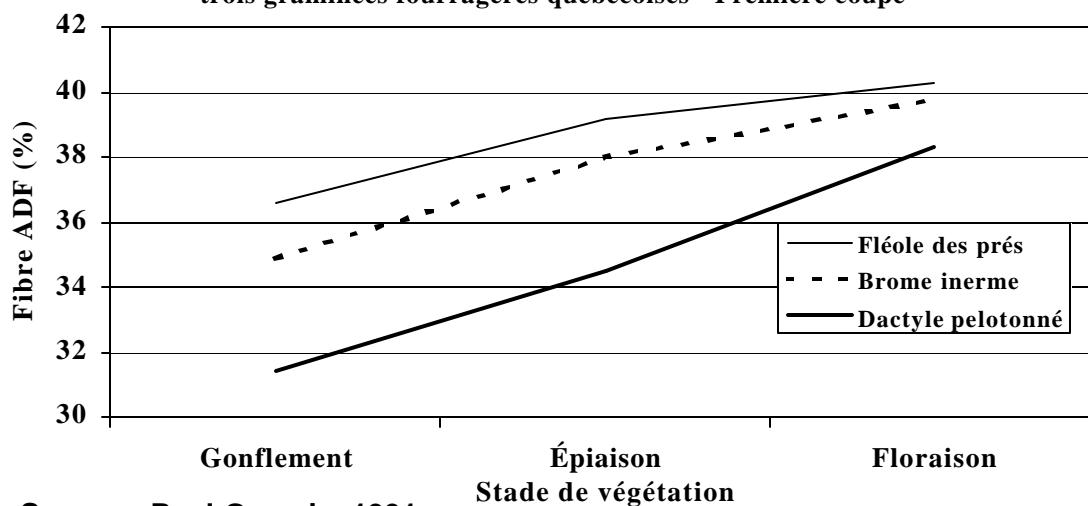


Tableau 13 Composition chimique de différentes graminées cultivées au Québec au stade gonflement à la première coupe.

	Fléole de prés	Brome inerme	Dactyle pelotonné
Protéine brute (%)	11,2	15,1	14,9
Matière grasse (%)	2,3	1,8	2,45
Fibre NDF (%)	65,1	63,2	58,5
Fibre ADF (%)	36,6	34,9	31,4
Lignine (%)	4,4	3,4	2,7
Calcium (%)	0,34	0,32	0,37
Phosphore (%)	0,31	0,39	0,36
Magnésium (%)	0,09	0,10	0,13
Potassium (%)	2,90	3,55	3,55

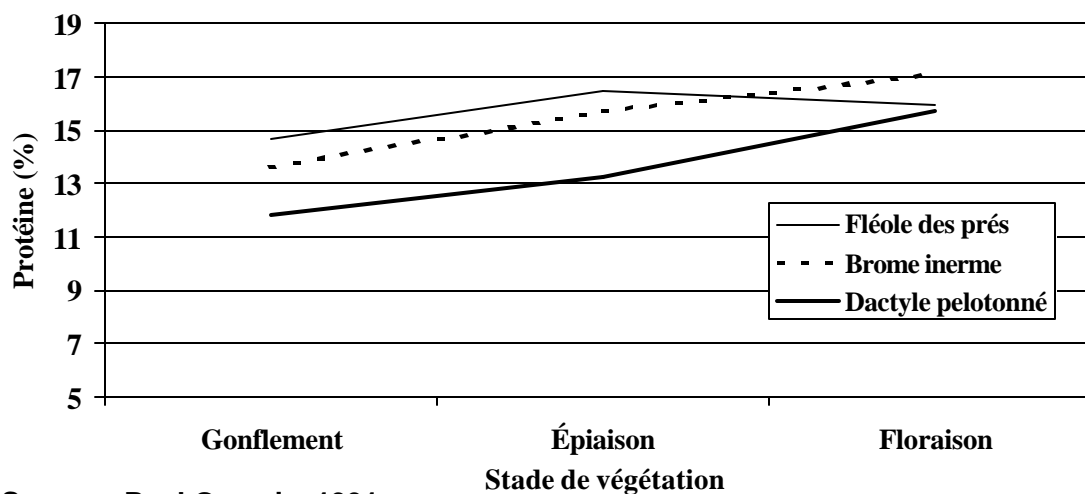
Source : Gervais, 1991

Figure 2 Effet du stade de croissance sur le niveau de fibre ADF de trois graminées fourragères québécoises - Première coupe



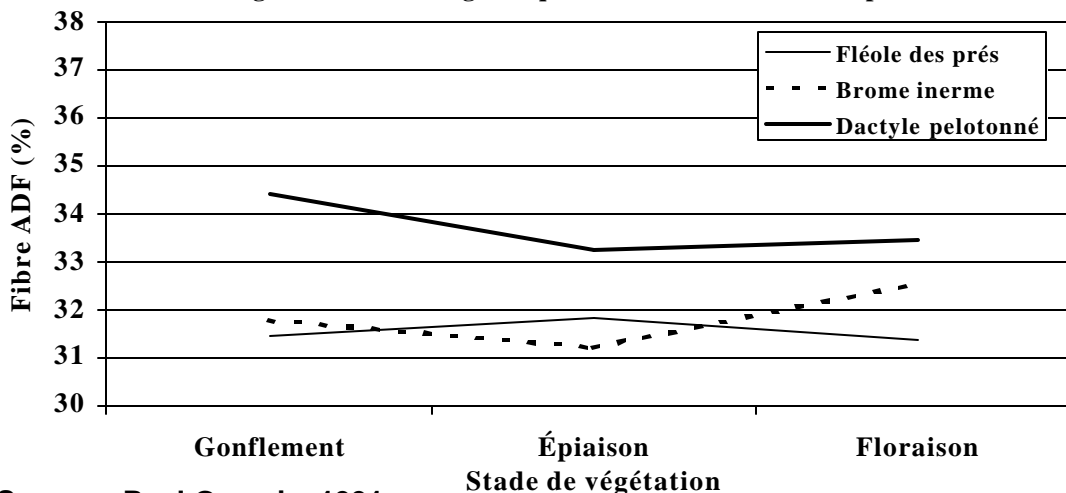
Source : Paul Gervais, 1991

Figure 3 Effet du stade de croissance sur le taux de protéine de trois graminées fourragères québécoises - deuxième coupe



Source : Paul Gervais, 1991

Figure 4 Effet du stade de croissance sur le niveau de fibre ADF de trois graminées fourragères québécoises - Deuxième coupe



Source : Paul Gervais, 1991

En ce qui concerne la deuxième coupe, on note des différences importantes dans la composition nutritive des différentes graminées étudiées plus tôt. Les dates de coupe surviennent généralement 6 semaines après la première coupe pour atteindre le même stade visé en première coupe (stade gonflement début épiaison). Contrairement à la première coupe, la protéine des graminées de deuxième coupe augmente significativement avec l'avancement de la maturité (figure 3). La fléole est la graminée contenant le plus de protéine, à égalité avec le brome, pour la deuxième coupe. Le dactyle est la graminée en contenant le moins. La fibre ADF (figure 4) et la lignine, qui sont reliées de près à la digestibilité de la plante, ne changent pas avec l'avancement de la maturité de la plante en deuxième coupe et sont en général de plus faible teneur qu'à la première coupe (1^{re} coupe = 37,4 % et 2^e coupe = 31,5 % pour la fibre ADF).

Le développement des plantes est influencé par la durée d'ensoleillement (photopériode). L'augmentation de la durée d'ensoleillement jusqu'au solstice d'été (20 ou 21 juin) induit la phase reproductive chez plusieurs espèces de plantes. Ce phénomène entraîne la production de plus de tiges (6% de protéine pour les tiges au stade gonflement pour la fléole) au détriment de la production de feuilles (18 % de protéine pour les feuilles au stade gonflement pour la fléole) avant le solstice d'été. Ce phénomène entraîne indirectement la baisse de qualité des fourrages avec l'avancement de maturité des fourrages durant cette période. Puisque la durée de la photopériode diminue après le solstice d'été, les plantes ont moins tendance à produire de tiges après cette période et peuvent même demeurer végétatives, comme le dactyle et l'alpiste roseau qui sont considérés comme non remontantes.

Du côté des légumineuses pérennes cultivées au Québec, on note la présence de la luzerne, du trèfle rouge, du lotier corniculé et du trèfle ladino (principalement utilisé pour les pâturages). La teneur en protéine des trois espèces est assez similaire au stade bouton (tableau 14). Par contre, le lotier et le trèfle rouge contiennent moins de fibre ADF, un indicateur de la digestibilité des fibres de la plante. Le trèfle rouge est la plante contenant le moins de lignine et devrait donc être la plante la plus digestible des trois pour ce stade de croissance. Les minéraux sont similaires d'une espèce à l'autre à l'exception du calcium qui est plus faible pour le lotier et du potassium pour la luzerne.

La protéine des trois légumineuses diminue avec l'avancement de la maturité (figure 5). Cependant c'est chez la luzerne qu'elle demeure la plus élevée. De même la fibre ADF (digestibilité du fourrage) de la luzerne est généralement supérieure à celle des autres légumineuses (figure 6). Le trèfle rouge contient moins de fibre ADF et moins de lignine que les deux autres légumineuses et serait donc plus digestible que ces dernières, peu importe le stade de récolte ou la coupe (fibre ADF, moyenne de la 1^{re} et la 2^e coupe = 28,7 % pour le trèfle rouge et 32,2 % pour les deux autres légumineuses). Le niveau de protéine de nos trois fourrages n'augmente pas de façon significative avec l'avancement de la maturité à la deuxième coupe (figure 7). Le pourcentage de protéine de nos trois légumineuses est cependant plus élevé en deuxième coupe (18,5 %) qu'en première coupe (16,2 %). La luzerne est la légumineuse ayant la plus forte concentration en protéine pour la première et la deuxième coupe. Pour la fibre ADF et la lignine, la concentration dans nos trois légumineuses est beaucoup plus faible en deuxième coupe qu'en première coupe (1^{re} coupe = 34 % de fibre ADF versus 2^e coupe = 28 % de fibre ADF) ; donc, la deuxième coupe serait plus digestible que la première coupe. La deuxième coupe serait aussi plus consommée que la première coupe en raison de sa plus faible teneur en fibre NDF (1^{re} coupe = 45,9 % de fibre NDF, 2^e coupe = 42,4 %).

Tableau 14 Composition chimique de différentes légumineuses cultivées au Québec au stade bouton à la première coupe

	Luzerne	Lotier corniculé	Trèfle rouge
Protéine brute (%)	18,8	18,8	17,8
Fibre NDF (%)	43,9	37,0	44,7
Fibre ADF (%)	32,3	29,2	28,0
Lignine (%)	7,4	7,5	5,3
Calcium (%)	1,64	1,24	1,73
Phosphore (%)	0,28	0,30	0,26
Magnésium (%)	0,20	0,20	0,21
Potassium (%)	2,24	2,53	2,91

Source : Gervais, 1994

Figure 5 Effet du stade de croissance sur le taux de protéine de trois légumineuses fourragères québécoises - Première coupe

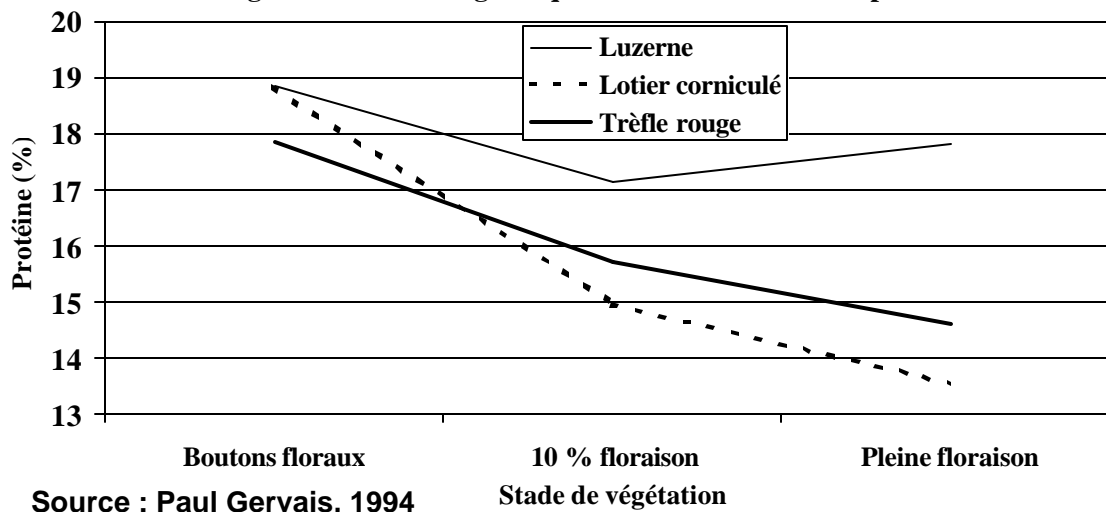
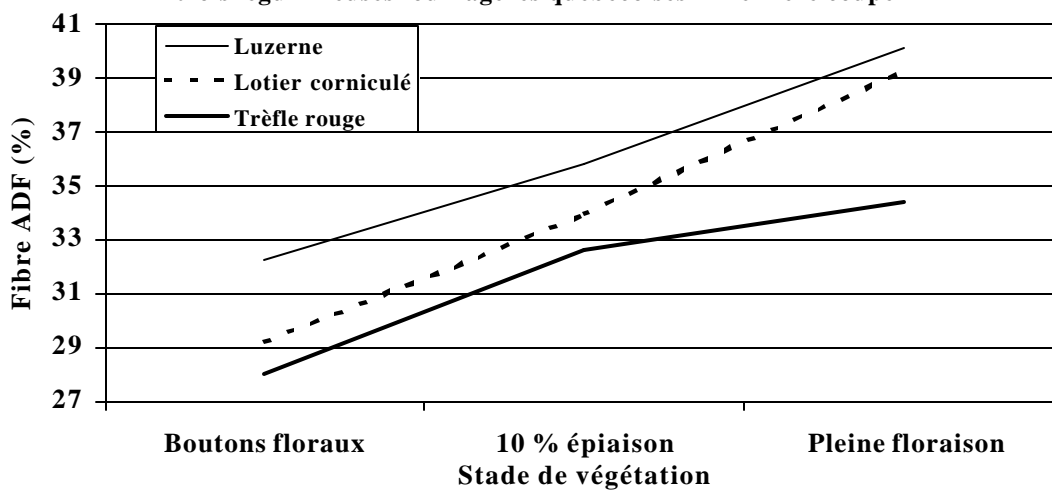
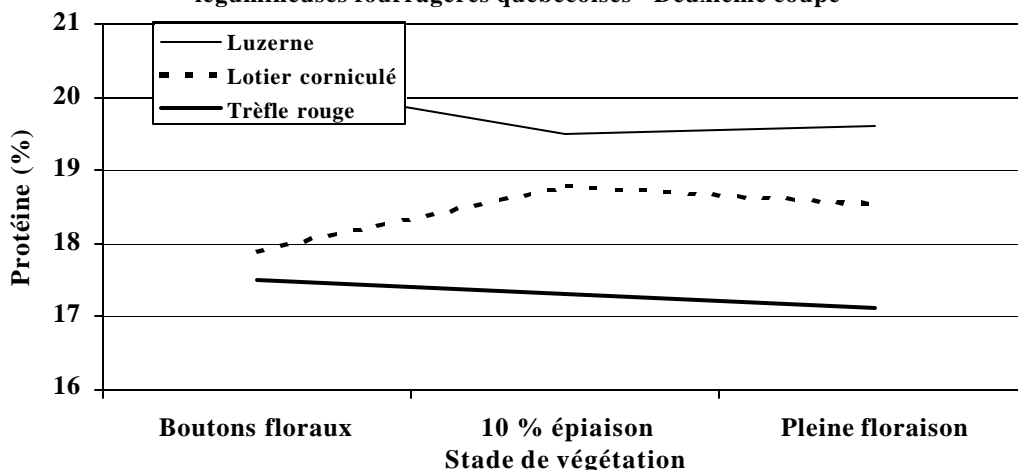


Figure 6 Effet du stade de croissance sur le niveau de fibre ADF de trois légumineuses fourragères québécoises - Première coupe



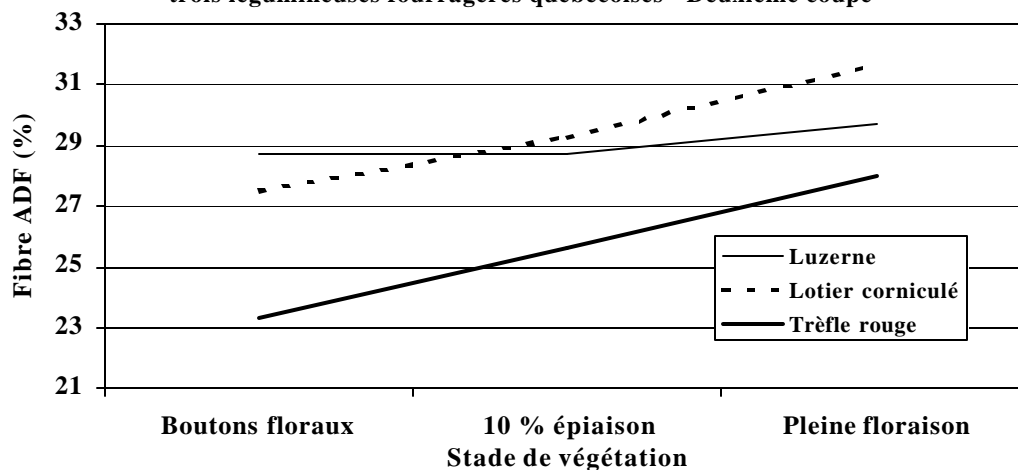
Il existe des différences importantes dans la composition nutritive des diverses espèces mentionnées précédemment qui valent la peine d'être mentionnées. Il existe aussi des différences au niveau des variétés qui n'ont pas été mentionnées dans le présent document mais qui font l'objet de travaux présentement et qui nous indiquent que certaines variétés de luzerne par exemple seraient plus digestibles que d'autres. Il n'est donc pas surprenant de constater à quel point le choix de l'espèce et surtout du stade de maturité en première coupe demeurent importants pour valoriser cette ressource que sont les fourrages. Tel que démontré dans les lignes précédentes, le stade de coupe a moins d'impact sur le potentiel nutritif (protéique et énergétique) des fourrages en deuxième coupe qu'en première coupe.

Figure 7 Effet du stade de croissance sur le niveau de protéine de trois légumineuses fourragères québécoises - Deuxième coupe



Source : Paul Gervais, 1994

Figure 8 Effet du stade de croissance sur le niveau de fibre ADF de trois légumineuses fourragères québécoises - Deuxième coupe



Source : Paul Gervais, 1994

POTENTIEL DES FOURRAGES

Il existe plusieurs façons de définir le potentiel des fourrages. A titre d'exemple, le potentiel des fourrages pourrait se traduire par la quantité maximale ou optimale de lait ou de viande produite à l'aide de fourrages (définition typiquement québécoise). Il pourrait aussi se définir comme l'atteinte du plein potentiel de l'animal (vaches ou génisses laitières, bovins de boucherie, etc.), tout en respectant l'impératif voulant que le bovin soit un ruminant (fibres efficaces, définition américanisée). Cependant, peu importe la définition que l'on utilise, l'atteinte de l'un ou l'autre de ces objectifs nécessite la production de fourrages de qualité. Pour être en mesure de mieux définir ce concept abstrait, différentes approches seront utilisées pour parvenir à accroître notre compréhension de ce sujet.

Ensilage versus foin

Pour une même qualité, le fourrage conservé sous forme de foin ou sous forme d'ensilage demande une approche différente de la part du nutritionniste et de l'éleveur puisque ces deux types d'aliments sont différents. Tel qu'indiqué au début du texte, le processus de fermentation entraîne la production de certains composés rendant l'ensilage différent du foin. Pour bien saisir cette différence, tentons d'en définir la nature à l'aide d'une analyse de foin et d'ensilage de luzerne (tableau 15). Comme mentionné dans la première partie du texte de conférence, l'ensilage est produit par la fermentation d'une partie des sucres solubles du fourrage par la population de microbes présente et / ou ajoutée (additifs) au moment de la récolte du fourrage. Les sucres sont donc utilisés par les bactéries pour former des acides (acides gras) qui entraîneront une baisse de pH de l'aliment, permettant ainsi sa conservation. Une partie des sucres de la plante (de 60 à 75%) sera perdue en partie lors du processus de fermentation et ne pourra être utilisée comme combustible rapidement fermentescible par les microbes du rumen. Plus la fermentation sera poussée (intense) comme dans le cas d'un ensilage humide, plus cette fraction aura tendance à diminuer au profit de la production d'acides. Ces acides sont peu ou pas fermentés par la population microbienne au niveau du rumen. Ils ne seront donc pas utilisés dans le processus de fabrication de protéine microbienne dans le rumen, d'où une moindre production de protéine microbienne arrivant à l'intestin. Le processus d'ensilage entraîne donc la production d'un aliment contenant moins d'énergie rapidement fermentescible (sucres passent de 8 à 10 % à un niveau de 2 à 4 %) et plus de protéine rapidement dégradable (azote non-protéique qui passe de 28% à 57%) que le foin, d'où un certain déséquilibre entre la disponibilité de la fraction protéique et énergétique qui peut se traduire par une perte de performance. Pour mieux saisir l'ampleur du problème, voyons les résultats des études effectuées par certains chercheurs pour cerner cette problématique et tenter d'atténuer cette désynchronisation.

Tableau 15 Comparaison nutritive d'une analyse de foin et d'ensilage de luzerne de même valeur protéique et énergétique

Caractéristiques	Foin de luzerne	Ensilage de luzerne
Nutriments		
Matière sèche (%)	90	35
Protéine brute (%)	20	20
Protéine soluble (%)	40	60
Azote non-protéique (%)	28	57
Protéine dégradable (%)	71	77
Fibre NDF (%)	40	40
Sucres solubles (%)	8 à 10	2 à 4
Acides gras volatils (%)	---	6 à 8

Source : Banque de données du logiciel CPM 1998

L'étude de Vagnoni et Broderick publiée en 1997 dans le Journal of dairy science permet d'y voir un peu plus clair. Les fourrages (foin et ensilage de luzerne) de l'étude ont été récoltés dans la même parcelle. La récolte sous forme d'ensilage permet généralement de préserver la qualité du fourrage en limitant la perte de feuilles ; nous pouvons constater ce phénomène au tableau 16. La teneur en fibre ADF et en fibre NDF est plus faible (5 % moins de fibre ADF et 8 % moins de fibre NDF) dans l'ensilage comparativement au foin.

Tableau 16 Composition des diètes données au cours de l'expérience

Composantes	Expérience 1	
	Ensilage de luzerne	Foin de luzerne
Matière sèche (%)	41,4	85,0
Fibre NDF (%)	38,6	42,0
Fibre ADF (%)	29,9	31,4
Protéine brute (%)	20,1	19,8
NPN (%) *	56,9	ND

* NPN représente l'azote non-protéique ; ND signifie non effectuée

Source : Vagnoni et Broderick, 1997

Il est important de noter que la proportion d'azote ou de protéine sous forme d'azote non protéique est beaucoup plus élevée dans les ensilages (50 %) que dans les foin (généralement 10 %) (Broderick, 1995). Ce critère caractérise les ensilages puisqu'il y a dégradation des protéines du fourrage lors de sa fermentation par les bactéries présentes dans le silo. Donc, de 50 à 60 % de la protéine des ensilages est déjà pré-digéré sous forme d'ammoniac et d'azote non protéique. Il est reconnu que cette forme d'azote est moins utile pour les microbes du rumen que sous la forme de protéine vraie comme dans le foin. Cet azote soluble est dégradé instantanément et nécessite donc l'apport d'énergie (d'hydrates de carbone ou sucres) très rapidement disponible pour pouvoir être utilisé par les microbes du rumen et ne pas être perdu (éliminé du rumen et excrété dans l'urine de la vache), ce qui n'est généralement pas une mince affaire. De plus, une partie importante des sucres de la plante est utilisée pour la fermentation de l'ensilage et transformée sous forme d'acide (acide gras volatils), ce qui accentue le manque de sucres disponibles pour la fermentation ruminale. La perte d'acides aminés essentiels lors de la fermentation du fourrage sous forme d'ensilage peut aussi s'avérer importante en raison du fait que des besoins en acides aminés exprimés par certaines populations microbiennes du rumen ne seraient pas comblés.

Afin de vérifier si l'apport d'une quantité plus importante de sucre permet d'atténuer le manque de combustible des bactéries du rumen suite à la consommation d'un repas, Vagnoni a effectué une expérience avec les deux types de fourrages de légumineuses (ensilage et foin). L'expérience consistait à ajouter une plus grande proportion de maïs-grain humide (MGH) finement moulu à la ration. Cette stratégie a permis d'accroître la productivité de vaches en milieu de lactation alimentées avec les deux types de fourrages de luzerne (tableau 18). Les vaches étaient sous traitement avec l'hormone de croissance.

Les résultats de l'effet de la diète sur la fermentation ruminale sont présentés au tableau 17. A première vue, on note que le pH ruminal qui devrait être au minimum à 6,3 pour favoriser une meilleure digestion de la fibre des fourrages n'a pas été maintenu à ce niveau même si les diètes contenaient suffisamment de fibres. Le pH ruminal était significativement plus faible pour les rations contenant plus de maïs-grain humide finement moulu. La concentration d'ammoniac (NH₃) ruminal était plus élevée pour les rations à base d'ensilage de luzerne, indiquant ainsi une moins bonne efficacité d'utilisation de la protéine de la ration. La ration contenant plus de maïs-grain humide a permis de mieux valoriser cet azote rapidement disponible de la luzerne et principalement de l'ensilage. Les auteurs de l'article ont aussi mesuré la protéine microbienne arrivant à l'intestin ; ils mentionnent que celle-ci s'accroît, passant de 1925 à 2262 grammes par jour (tableau 17) en augmentant la quantité d'amidon (24 % à 40 %) dans la ration pour la ration à base d'ensilage. Les auteurs mentionnent aussi que l'importance de cette réponse suggère que la dégradation ruminale très rapide de la fraction azotée de l'ensilage a excédé l'énergie disponible pour la synthèse de protéine microbienne dans la ration à 24 % de maïs.

Tableau 17 Effet des diètes sur la fermentation ruminale et la production de protéines microbiennes à l'intestin (expérience 1)

Composantes	Foin de luzerne + 24 % MGH	Ens. de luzerne + 24 % MGH	Foin de luzerne + 40 % MGH	Ens. de luzerne + 40 % MGH
pH	6,12	6,14	5,98	6,04
NH ₃ ruminal (mM)	10,3	13,8	8,5	11,5
Protéine microbienne intestinale (g / jour)	1981	1925	2081	2262

Source : Vagnoni et Broderick, 1997

La consommation de la ration à base de foin a été supérieure à celle à base d'ensilage, et ce, peu importe le niveau de maïs-grain humide (tableau 18). Cette observation n'est pas surprenante puisque la présence d'acides gras volatils et de sous-produits de dégradation des protéines entraîne généralement une plus faible consommation des rations à base d'ensilage. Ce qui est intéressant de noter, c'est la baisse de production observée avec l'usage de la ration avec ensilage de foin comparativement au foin pour la ration avec 24 % de maïs-grain humide qui pourtant devrait être plus digestible. On note aussi un accroissement de la consommation et de la production avec l'ajout de plus de maïs-grain humide, ce qui était à prévoir puisque l'on augmente la digestibilité de la ration. On observe une production similaire pour la ration à base d'ensilage et à base de foin avec l'ajout de plus de maïs à la ration (40 %). L'ajout de plus de maïs aux deux rations fourragères favorise une hausse du taux de protéine du lait. Peu importe le niveau de maïs dans la ration, la production laitière était similaire pour les rations à base de foin ou d'ensilage (interaction fourrage X maïs, N.S. ; effet type de fourrage N.S.)

Tableau 18 Effet de la diète sur la performance animale

Composantes	Foin de luzerne + 24 % MGH	Ens. de luzerne + 24 % MGH	Foin de luzerne + 40 % MGH	Ens. de luzerne + 40 % MGH
Consommation (kg)	22,8	21,9	24,2	23,5
Lait (kg / jour)	29,6	28,2	31,6	31,8
Mat. Grasse (%)	3,84	3,94	3,81	3,88
Protéine (%)	3,35	3,29	3,50	3,40

Source : Vagnoni et Broderick, 1997

L'étude effectuée à la Ferme de recherche de Normandin par Petit et Tremblay et publiée en 1995 démontre le même phénomène (tableau 19). Un ensilage de graminée en silo meule (25 % de matière sèche) d'excellente qualité (16 % de protéine et 33 % de fibre ADF) a été servi à volonté à des vaches laitières en début de lactation (4 à 15 semaines de lactation). L'ensilage était complété avec différents types de concentrés énergétiques et protéiques afin d'évaluer celui ayant le plus d'effets bénéfiques avec ce type d'ensilage (tableau 19). Le type de concentré n'a pas eu d'effet sur la consommation des vaches laitières et sur leur production, puisqu'il n'y avait pas de différences significatives entre les traitements. Par contre, la pulpe de betterave qui contient une quantité importante de pectine (hydrate de carbone de structure) plutôt que d'amidon (hydrate de carbone de réserve) comme les céréales, a eu un effet significatif intéressant sur la concentration des composantes du lait. L'azote non protéique de l'ensilage de graminées de cette expérience a donc été plus valorisé par l'utilisation de pulpe de betterave que de grains. La synthèse protéique ruminale a été améliorée avec l'utilisation de pulpe de betterave car il y avait une moins forte concentration d'ammoniac dans le rumen avec la diète qui contenait de la pulpe de betterave plutôt que du maïs ou de l'orge et de l'avoine n'en contenant pas (Petit et Tremblay, 1995B). L'usage d'une protéine de plus faible dégradabilité telle la farine de poisson n'a pas été plus avantageuse que le tourteau de soya dans cette expérience.

Tableau 19 Effet de la vitesse de dégradation des hydrates de carbone structuraux et de la dégradabilité protéique du concentré sur la performance de vaches laitières en début de lactation.

	Traitements			
	Maïs + tourteau de soya	Orge et avoine + tourteau de soya	Pulpe de betterave + tourteau de soya	Pulpe de betterave + farine de poisson
Matière sèche consommée				
Ensilage (kg/jour)	15,6	15,5	16,4	16,1
Concentré (kg/jour)	4,2	4,7	4,7	4,6
Production de lait (kg)	26,0	26,9	26,3	26,9
Matière grasse du lait (%)	3,71 a	3,86 a	4,26 b	4,21 b
Protéine du lait (%)	2,86 a	2,94 a	3,13 b	3,07 b

Source : Petit et Tremblay, 1995A

Lors d'une étude effectuée au champ (Luchini et al, 1997), on a analysé différentes composantes de 60 silos (21 silos fosse, 20 silos à atmosphère contrôlée et 19 silos tours conventionnels) sur 43 fermes laitières commerciales (tableau 20). Les ensilages étaient d'excellente qualité (43 % de fibre NDF et 19,9 % de protéine). On observe la production de plus d'azote non protéique avec l'augmentation de l'humidité de l'ensilage (62 % pour les silos fosse et environ 55 % pour les deux autres types de silo). La production de plus d'acides organiques (acide lactique, acétique et autres) et d'ammoniac dans les ensilages de silo fosse est aussi un signe de l'intensification de la fermentation avec l'augmentation de l'humidité de l'ensilage et qui correspond généralement à une dégradabilité plus élevée de la protéine de ce type d'aliment.

Tableau 20 Effets du système d'entreposage sur différentes composantes de l'ensilage

Composantes	Silo fosse	Silo à ATM contrôlée	Silo tour conventionnel
Matière sèche (%)	36,8	54,0	49,6
Protéine brute (%)	19,4	20,7	19,7
Azote non protéique (%)	62,3	55,4	55,0
Ammoniac (%)	13,1	6,8	7,1
Acides organiques (%)	8,9	4,8	6,7

Source : Luchini et al, 1997

Au cours d'une autre expérience tout aussi intéressante citée dans Hoard's Dairyman et présentée par Glen A. Broderick, les deux fourrages avaient le même niveau de fibre NDF (tableau 21). Par contre, l'ensilage contenait plus de protéine que le foin (20,6 versus 18,1 %) ce qui traduit la préservation de plus de feuilles avec la technique d'ensilage comparativement au foin. L'azote non protéique était de 52 % pour l'ensilage et de 8 % pour le foin. Les rations sont présentées au tableau 21. La différence majeure entre les rations était l'ajout de farine de poisson dans le but de vérifier si l'apport d'une source de protéine non dégradable permet d'accroître la performance des animaux.

Tableau 21 Comparaison des différentes rations

Composantes	Sans farine de poisson		Avec farine de poisson	
	Ensilage de légumineuse	Foin de légumineuse	Ens. de légumineuse	Foin de légumineuse
Aliments	(base 100 % matière sèche)			
Ensilage de lég.	68 %	-----	68 %	-----
Foin de lég.	-----	68 %	-----	68 %
Maïs grain humide	31 %	31 %	28 %	28 %
Farine de poisson	-----	-----	3 %	3 %
Minéraux	1 %	1 %	1 %	1 %
Nutriments	(base 100 % matière sèche)			
Protéine brute (%)	17,1	15,5	18,7	17,1
Fibre NDF (%)	31	31	31	31
Enl (Mcal / kg)	1,63	1,61	1,61	1,61

Source : Broderick, 1997

Les résultats de l'expérience sont présentés au tableau 22. Sans l'apport de farine de poisson, les vaches avec la ration d'ensilage de légumineuses ont mangé moins que le groupe avec la ration à base de foin. Elles ont aussi produit moins de lait, moins de protéine et ont perdu plus de poids. Par contre, l'efficacité alimentaire et la production de gras du lait des deux rations à base d'ensilage ont été supérieures aux rations à base de foin, indiquant une meilleure digestibilité du fourrage fait sous forme d'ensilage. L'ajout d'une source de protéine non dégradable (farine de poisson) a cependant été très bénéfique pour la ration à base d'ensilage en permettant d'augmenter la production laitière de 2 kg. Des essais de digestibilité in vitro (en laboratoire) ont permis de démontrer la formation de 29% de plus de protéine microbienne par le substrat contenant du foin de luzerne versus celui contenant de l'ensilage. Une meilleure efficacité d'utilisation des protéines du foin contenant plus de protéine vraie que l'ensilage serait à l'origine de ce phénomène.

Pour conclure, l'usage d'une source de combustible ou sucres rapidement disponibles (ensilage de maïs, maïs-grain humide, pulpe de betterave, etc.), tout en respectant le concept de fibres efficaces, serait nécessaire pour valoriser la fermentation des ensilages à forte teneur en protéine rapidement disponible pour les microbes du rumen. De plus, l'utilisation d'une source de protéine de faible dégradabilité permettrait de maintenir un juste équilibre entre la fraction dégradable et non dégradable de la protéine ingérée. Il est aussi possible que le supplément protéique ait un effet stimulateur sur la fermentation microbienne par l'apport d'une certaine fraction protéique de dégradabilité plus lente qui favoriserait la production d'acides aminés et de peptides requis par certaines population de microbes du rumen. Donc, il y aurait plus de protéines microbiennes arrivant à l'intestin avec une fraction non dégradable contenant un meilleur équilibre en acides aminés essentiels, ce qui favoriserait une meilleure performance animale. Tel que démontré dans cette dernière expérience, la production de plus de lait, de protéine du lait et une plus faible perte de poids permettent d'en justifier l'apport.

Tableau 22 Performances des vaches alimentées avec les quatre rations

Composantes	Sans farine de poisson		Avec farine de poisson	
	Ensilage de légumineuse	Foin de légumineuse	Ens. de légumineuse	Foin de légumineuse
Ingestion de M.S. (kg)	22,2	24,0	23,3	24,2
Production de lait (kg)	35,3	36,1	37,3	36,9
Prod. de matière grasse (kg)	1,20 (3,4%)	1,18 (3,3%)	1,27 (3,5%)	1,22 (3,3%)
Production de protéine (kg)	1,04 (2,9%)	1,09 (3,0%)	1,13 (3,0%)	1,13 (3,1%)
Changement poids (kg / jour)	- 0,41	0,45	0,09	0,50
Efficacité alimentaire *	1,6	1,5	1,6	1,5

* L'efficacité alimentaire est exprimée en kg de lait par kg de mat. sèche ingéré

Source : Broderick, 1997

Différence entre graminées et légumineuses

Afin de mieux comparer ces deux familles de plantes fourragères, rien de tel qu'une expérience afin d'en distinguer les différences. L'étude de Orozco-Hernandez et al (1998), effectuée à la station de recherche de Deschambault, permet de comparer un ensilage de fléole et un ensilage de luzerne récoltés à un stade comparable et entreposés dans des conditions similaires. Les deux ensilages humides ont été entreposés dans des silos boudins additionnés d'acide formique lors de la fauche pour favoriser une bonne fermentation de ce matériel très humide. Le pH des deux ensilages qui n'était pas significativement différent d'un fourrage à l'autre, témoigne d'une excellente fermentation ou de l'ajout d'acide formique. La fibre ADF n'était pas significativement différente pour les deux ensilages témoignant d'une qualité comparable. La fibre NDF est toujours plus élevée pour les graminées que pour les légumineuses pour un stade de croissance comparable, ce qui a pu être constaté lors de cette expérience. Une plus grande proportion d'hémicellulose dans les graminées explique cette différence (tableau 23). Si on s'en tient au principe que la fibre NDF constitue un facteur limitant la consommation, l'ensilage de graminées devrait théoriquement être moins consommé que l'ensilage de luzerne.

Il est aussi normal d'observer des niveaux de protéine différents, avec près de 40 % de plus de protéine pour la luzerne comparativement à la fléole. L'ensilage de luzerne contient aussi plus d'ammoniac, cependant les niveaux d'ammoniac observés dans cette expérience, tout comme le pH, nous indiquent que les deux ensilages ont très bien fermenté. La lignine n'a pas été analysée lors de cette expérience mais celle-ci est généralement plus élevée dans les légumineuses que les graminées. Une lignification plus importante entraîne une plus faible digestibilité des fibres des légumineuses par rapport aux fibres des graminées, ce qui compense partiellement pour le plus fort contenu en fibre (NDF) des graminées. Dans une étude similaire effectuée par Weiss et Shockey (1991), il y avait près de 50 % plus de lignine dans de l'ensilage de luzerne comparativement à de l'ensilage de dactyle fait à un stade de croissance comparable.

Tableau 23 Composition des légumineuses versus les graminées

Composantes	Ensilage de fléole (début gonflement)	Ensilage de luzerne (début bouton)
Matière sèche (%)	24,4	26,3
pH	4,0	4,2
Fibres ADF (%)	27,5	26,7
Fibres NDF (%)	49,7 ^a	34,3 ^b
Hémicellulose (%)	22,2 ^a	7,6 ^b
Protéine brute (%)	14,4 ^a	20,0 ^b
N-NH ₃ (% de la protéine)	4,6 ^a	5,9 ^b
PB soluble (% de la protéine)	50,8 ^a	44,1 ^b

Source : Orozco-Hernandez et al, 1997

L'effet du contenu en fibre NDF de l'ensilage de fléole se fait sentir avec une consommation plus faible de cet ensilage (tableau 24). Lors du dernier NRC (1989), Merten a énoncé le concept que les vaches laitières consommaient en général $1,2 \pm 0,1$ kg de fibre NDF par 100 kg de poids vif. Ce concept se confirme puisque les légumineuses sont consommées à environ 1,1 kg de fibre NDF / 100 kg de poids vif et de 1,3 kg de fibre NDF / 100 kg de poids vif pour les graminées. Les vaches laitières consommeraient donc plus de fibre NDF en provenance des graminées en raison de leur meilleure digestibilité. Les quantités de lait produites, de matière grasse et de protéine n'ont pas été différentes d'un fourrage à l'autre, indiquant une plus haute digestibilité de la fibre des fourrages de graminées comme prévue en raison de leur plus faible lignification. Weiss et Shockey (1991) ont observé le même phénomène avec l'ensilage de dactyle et de luzerne de très bonne qualité.

On peut donc conclure qu'il ne devrait pas exister de différence en terme de productivité (lait, gras, protéine) à un stade comparable de coupe pour les deux espèces. En raison du niveau plus élevé de fibre (NDF) des graminées, on peut s'attendre à une plus faible consommation de celles-ci comparativement aux légumineuses. Cependant, le degré de lignification moins élevé des graminées permet de compenser pour cet effet négatif. Les résultats de recherche récents de Jerry H. Cherney et Debbie J.R. Cherney de l'Université Cornell dans l'état de New York confirment ces résultats. Par contre, l'effet d'encombrement du rumen par la fibre NDF des graminées aura un impact négatif croissant sur la consommation totale, à mesure que la qualité du fourrage décroîtra.

Tableau 24 Performance des vaches de milieu de lactation alimentées avec un ensilage de fléole et de luzerne d'excellente qualité

Composantes	Ensilage de fléole (début gonflement)	Ensilage de luzerne (début bouton)
Ingestion fourrage base M.S. (kg)	18,5 ^a	20,0 ^b
Ingestion de NDF (% poids)	1,33 ^a	1,09 ^b
Changement de poids (kg / jour)	0,55	0,31
Lait produit (kg)	23,4	24,3
Mat. grasse du lait (%)	4,24	4,35
Protéine du lait (%)	3,37	3,33

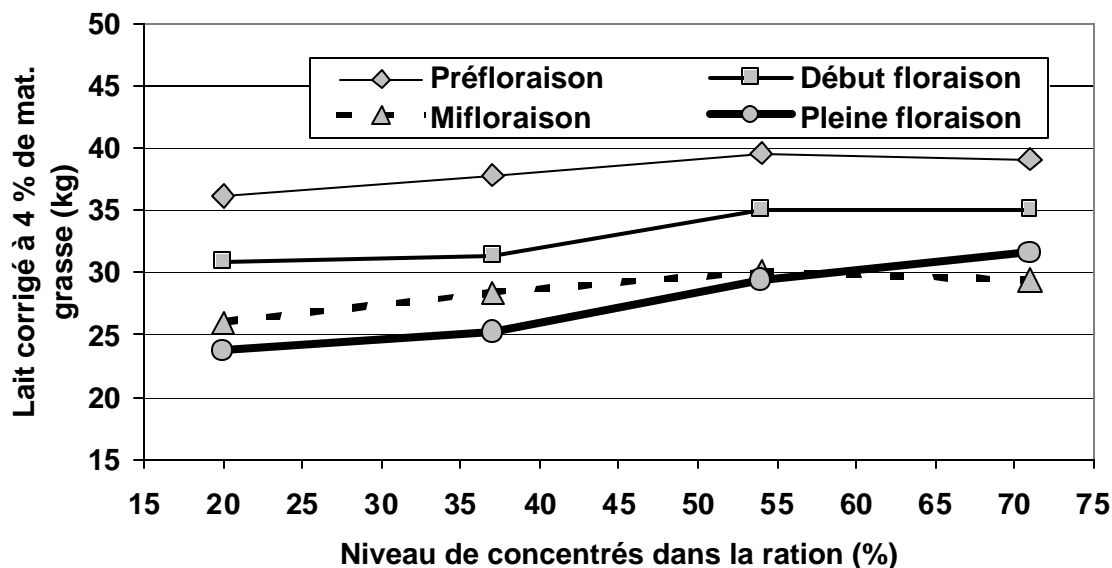
Source : Orozco-Hernandez et al, 1997

Proportion de fourrages dans la ration

La populaire étude de Kawas et al (1983) présentée au Symposium des bovins laitiers du CPAQ de 1986 a permis de renforcer l'idée généralement reconnue que la qualité fourragère est irremplaçable afin d'atteindre une performance élevée. Comme le démontre la figure 9, la quantité de lait produite à l'aide du foin de luzerne coupé en préfloraison a très peu été influencée par la proportion de concentré. La production permise à l'aide de ce fourrage est de 36,2 kg de lait pour des vaches de 10 à 12 semaines de lactation avec seulement 20 % de concentré. Le maximum de production est atteint à 54 % de concentré (39,6 kg de lait) pour ce fourrage. Dépassé ce niveau de concentré, la production ne bouge plus et demeure pratiquement stable (39,1 kg de lait). On observe le même phénomène pour les

fourrages coupés à des stades différents : dans chaque cas la limite du 54 % de concentré semble incontournable. De plus, avec les fourrages récoltés à un stade de maturité plus avancé, l'ajout de concentré ne permet pas d'atteindre le niveau de performance obtenu avec le meilleur fourrage (préfloraison) avec seulement 20 % de concentré. Il n'est donc pas souhaitable de penser combler le manque à gagner d'un fourrage de plus faible qualité avec plus de concentré, ni de dépasser certaines limites dans la quantité de concentré servie, celle-ci ne devant généralement pas dépasser 55 %.

Figure 9 Rendement en lait selon le niveau de concentrés dans la ration et le stade de maturité de la luzerne



Source : Kawas et al, 1983

Le projet de recherche d'Orozco-Hernandez et al (1997) avait aussi comme objectif de mesurer l'effet de l'apport de concentré sur la performance de vaches laitières de 13 à 17 semaines de lactation. L'ajout d'orge à la ration fourragère n'a pas amélioré la performance des vaches (tableau 25). On peut constater une baisse de la consommation des fourrages avec l'ajout de concentré à la ration, ce qui est en conformité avec ce que l'on observe généralement au niveau de la substitution de concentré par les fourrages. La consommation totale a augmenté avec l'ajout d'orge à la ration. On peut aussi dire que dans l'ensemble, l'ajout d'orge à la ration d'ensilage de fléole n'a pas été profitable puisque la production de lait est restée similaire (17 % d'orge) ou a baissé (34 % d'orge). Les composantes du lait (matière grasse et protéine du lait) ont cependant augmenté en pourcentage mais non en quantité. Les vaches ont cependant pris plus de poids avec la ration contenant le fourrage seul. Les résultats de production de l'expérience avec l'ensilage de luzerne ont été similaires à ceux de l'ensilage de fléole, ce qui signifie que l'on peut s'attendre à un niveau de performance similaire pour des vaches de mi-lactation alimentées avec de l'ensilage de fléole ou de l'ensilage de luzerne, pour un stade de maturité jeune.

Tableau 25 Effet de l'ajout d'orge à une ration d'ensilage de fléole d'excellente qualité

Éléments	Ensilage de fléole		
	0 % d'orge	17 % d'orge	34 % d'orge
Ingestion de fourrage (kg)	18,5 ^a	17,1 ^b	14,1 ^b
Ingestion totale (kg)	18,5 ^a	19,7 ^b	19,5 ^b
Production de lait (kg)	23,4 ^a	23,9 ^a	22,6 ^b
Gras du lait (%)	4,24 ^a	4,59 ^b	4,60 ^b
Gras du lait (kg)	0,99	1,09	1,02
Protéine du lait (%)	3,37 ^a	3,56 ^b	3,65 ^b
Protéine du lait (kg)	0,78	0,84	0,81
Changement de poids (kg)	0,55 ^a	0,34 ^b	0,14 ^b

Source : Orozco-Hernandez et al, 1997

CONCLUSION

Comme l'affirmait Bertrand Farmer en janvier 1992 dans le Guide de la régie de l'alimentation des bovins laitiers : "Le cœur de toute stratégie alimentaire repose sur la qualité des fourrages".

On peut distinguer quatre éléments essentiels à cette stratégie. On doit faire l'inventaire des fourrages disponibles et en prévoir une distribution qui évitera les changements alimentaires brusques, pour assurer une persistance en production. On doit favoriser une fermentation rapide pour obtenir un ensilage stable c'est-à-dire avec une bonne qualité de fermentation et des caractéristiques optimales de conservation. Il faut viser une ration dont les composantes de fibres ADF et NDF sont optimales selon la règle 35-45-55 (35% ADF et 45% NDF pour des légumineuses et 55% pour des graminées). Finalement la longueur de hachage doit être adéquate pour assurer la santé du rumen.

De plus l'alimentation à base d'ensilage doit tenir compte du fait que l'ensilage diffère du fourrage frais de deux façons : premièrement, l'ensilage contient moins de sucres solubles que le fourrage frais, puisqu'ils sont utilisés pour produire des acides organiques. Deuxièmement, une partie plus ou moins importante de la protéine brute du fourrage est dégradée en azote non protéique (acides aminés, amines, ammoniac) pendant la fermentation.

De même, les principales différences entre l'ensilage et le foin se résument de la façon suivante. Dans les ensilages,

- 1- Les hydrates de carbone non structuraux comportent moins de sucres solubles mais incluent les acides organiques produits par la fermentation.
- 2- Les teneurs en protéine dégradable, protéine soluble et protéine liée sont plus élevées et la protéine « by-pass » plus faible.
- 3- Il y a donc plus de protéines rapidement dégradables, mais moins d'énergie rapidement disponible.
- 4- Les produits de fermentation tels l'ammoniac, les acides et les amines peuvent affecter la consommation volontaire alors que les populations microbiennes peuvent affecter la stabilité aérobie.

Les échantillons prélevés à la récolte donnent une information valable sur la valeur nutritive de l'ensilage lorsque la fermentation est bonne, en ce qui concerne les paramètres actuellement analysés. Cependant, on devrait prélever de nouveaux échantillons à la reprise chaque fois que l'ensilage présente des signes de détérioration suite à une mauvaise fermentation ou à un entreposage prolongé.

Les analyses de routine actuelles donnent une information limitée sur la valeur nutritive de l'ensilage. Pour obtenir une meilleure évaluation de la qualité de l'ensilage, différentes alternatives peuvent être envisagées.

BIBLIOGRAPHIE

- Amyot, A. 1997. Qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes enrubannées au moment du pressage. MAPAQ, Direction de la recherche et du développement. Rapport final de recherche, Projet #R-1105-94-078, mars 1997, 42 p.
- Beaulieu R., J. R. Seoane, P. Savoie, D. Tremblay, G. Tremblay et R. Thériault. 1993. Effects of dry matter content on the nutritive value of individually wrapped round bale timothy silage fed to sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 73 : 343-354.
- Broderick, G. A. 1995. Performance of lactating dairy cows fed either alfalfa silage or alfalfa hay as the sole forage. *J. Dairy Sci.* 78 : 320-329.
- Broderick, G. A. 1997. Hay versus silage : What the cow said. *Hoard's Dairyman*, March 10, page 172.
- Campbell, C. P. et J. G. Buchanan-Smith. 1991. Effect of alfalfa grass silage dry matter content on ruminal digestion and milk production in lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 71 : 457-467.
- Charmley, E., D. M. Veira, R. Berthiaume et R. E. McQueen. 1995. Effect of a mixture of salts of carboxylic acids on silage conservation, voluntary intake and growth rate of cattle fed grass silages. *Can. J. Anim. Sci.* 75 : 397-404.
- Chase, L. E. 1993. Feeding programs for dairy cattle fed silage-based rations. Proceedings from the National Silage Production Conference : 157-164. NRAES Publication 67, Cooperative Extension , Ithaca, NY.
- Chase, L. E. 1997. What should we analyse silage for ? Proceedings from the « Silage : field to feedbunk » North American Conference : 257-261. NRAES Publication 99, Cooperative Extension, Ithaca, NY.
- Cherney, Jerry H. et Cherney Debbie J.R. 1998. Intensive grass management. 1. Lactating cows. Dairy nutrition program. The dairy professional program at Cornell.
- Derbyshire, J. C., C. H. Gordon et D. R. Waldo. 1976. Formic acid as a silage preservative for milking cows. *J. Dairy Sci.* 59 : 278-287.
- Demarquilly, C. 1986. L'ensilage et l'évolution récente des conservateurs. *Bull. Tech. C.R.Z.V. (Theix)* 63 : 5-12.
- Erdman. R. 1993. Silage fermentation characteristics affecting feed intake. Proceedings from the National Silage Production Conference : 210-219. NRAES Publication 67, Cooperative Extension , Ithaca, NY.
- Fredeen, A. H., R. E. McQueen et D. A. Browning. 1991. Effects of enzymes and nutrients in a bacterial inoculant on quality of timothy or alfalfa silage and dairy cow performance. *Can. J. Anim. Sci.* 71 : 781-791.
- Gervais, P. 1991. Composition morphologique et chimique, à trois stades de croissance, de certains cultivars de quatre graminées fourragères pérennes cultivés au Québec. *Bulletin technique* 16. CPVQ Agdex 120/21.
- Gervais, P. 1994. Composition chimique, à trois stades de croissance, de certains cultivars de légumineuses fourragères pérennes cultivés au Québec. *Bulletin technique* 20. CPVQ Agdex 120/21.
- Haigh, P. M. 1995. A note on the relationship between oven and toluene determined dry matter concentrations in maize silage. *Irish J. Agric. Food Res.* 34 : 193.

- Heinrichs, A. J., 1996. Evaluating particule size of forages and TMRs using the Penn State particule size separator. Penn State Extension Circular. DAS 96-20.
- Heinrichs, A. J. et B. P. Lammers. 1997. Particule size recommendations for dairy cattle. Proceedings from the «Silage : field to feedbunk » North American Conference : 268-278. NRAES Publication 99, Cooperative Extension, Ithaca, NY.
- Jaakkola, S. 1990. The effect of cell wall degrading enzymes on the preservation of grass and on silage intake and digestibility in sheep. *J. Agric. Sci. in Finland*. 62 : 51-62.
- Jacobs. J. L., M. J. Haines et A. B. McAllan. 1992. The effect of different protein supplements on the utilization of untreated, formic acid-treated or enzyme-treated silages by growing steers. *Grass and Forage Sci.* 47 : 121-127.
- Jalbert J., E. Block, B. Farmer et M. Léonard. 1986. Stratégie alimentaire à considérer pour les troupeaux laitiers de très forte productivité. Symposium sur les bovins laitiers, 23 octobre, p. 31-95.
- Kawas, J.R., R. D. Shaver, J. A. Woodford, N. A. Jorgensen et D. A. Rohweder. 1983. Forage quality for dairy cattle. 44th Minnesota Nutrition Conference. Sept. p. 67.
- Leibensperger, R. Y. et R. E. Pitt. 1987. A model of clostridial dominance in ensilage. *Grass and Forage Sci.* 42 : 297-317.
- Leibensperger, R. Y. et R. E. Pitt. 1988. Modeling the effect of formic acid and molasses on ensilage. *J. Dairy Sci.* 71 : 1220-1231.
- Luchini, N. D., G. A. Broderick, R. E. Muck, N. F. Makoni et R. L. Vetter. 1997. Effects of storage system and dry matter content on the composition of alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 80 : 1827-1832.
- Mahanna, B. 1994. Proper management assures high quality silage, grains. 1994. Feedstuffs, January 10, p.13-23 ; January 17, p.17-20.
- Mahanna, B. 1997. Troubleshooting silage problems with seed to feed consideration. Proceedings from the «Silage : field to feedbunk » North American Conference : 346-382. NRAES Publication 99, Cooperative Extension, Ithaca, NY.
- Merchen, N. R., D. C. Weakley, N. A. Jorgensen et L. D. Satter. 1981. Sites of digestion of nutrients in alfalfa ensiled at different moisture levels. *J. Dairy Sci.* 64 : (Suppl.1) : 105.
- Mertens, D. R. 1992. Determining dry matter in diverse types of feeds. Proceeding of the National Forage Testing Association (NFTA) workshop, Denver, Colorado. p. B1-B13.
- Muck, R. E. 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. *J. Dairy Sci.* 71 : 2992-3002.
- Muck, R. E. and R. E. Pitt. 1993. Ensiling and its effect on crop quality. Proceedings from the National Silage Production Conference : 57-66. NRAES Publication 67, Cooperative Extension , Ithaca, NY.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Rev. Ed. National Research Council. National Academy press. Washington, D.C.
- O'Neil, K.A. et M.S. Allen. 1993. Effects of temperature and duration of sample storage before over-drying on forage fiber analysis. *J. Dairy Sci.* 76 : 535-543.
- Orozco Hernandez, J. R., G. J. Brisson et V. Girard. 1997. Timothy grass or alfalfa silage for cows in midlactation : Effect of supplementary barley. *J. Dairy Sci.* 80 : 2876-2884.
- Petit, H. V. et G. F. Tremblay. 1992. In situ degradability of fresh grass and grass conserved under different harvesting methods. *J. Dairy Sci.* 75 : 774-781.

- Petit, H. V., G. F. Tremblay, P. Savoie, D. Tremblay et J. M. Wauthy. 1993. Milk yield, intake, et blood traits of lactating cows fed grass silage conserved under different harvesting methods. *J. Dairy Sci.* 76 : 1365-1374.
- Petit, H.V. et G. F. Tremblay. 1995A. Milk production and intake of lactating cows fed grass silage with protein and energy supplements. *J. Dairy Sci.* 78 : 353-361.
- Petit, H. V. et G. F. Tremblay. 1995B. Ruminal fermentation and digestion in lactating cows fed grass silage with protein and energy supplements. *J. Dairy Sci.* 78 : 342-352.
- Rotz, C. A. 1996. Economics of alternative Silage System Dafosym, U.S. Dairy Forage Research center, p. 54-55.
- Shaver, R. D. 1990. Forage particle length in dairy rations. Page 58 in Proceedings from the Dairy Feeding Systems Symposium. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Harrisburg, PA.
- Stallings, C. C. et J. W. Thomas. 1982. Adjust for bound protein when balancing rations. Hoard's dairyman. September 25. p. 10.
- Stokes, M. R. 1992. Effects of an enzyme mixture, an inoculant, and their interaction on silage fermentation and dairy production. *J. Dairy Sci.* 75 : 764-773.
- Undersander, D. 1997. Perspectives on forage sampling and analysis. Proceedings from the « Silage : field to feedbunk » North American Conference : 262-267. NRAES Publication 99, Cooperative Extension, Ithaca, NY.
- Vagnoni, D. B. et G. A. Broderick. 1997. Effects of supplementation of energy or ruminally undegraded protein to lactating cows fed alfalfa or silage. *J. Dairy Sci.* 80 :1703-1712.
- Weiss, W.P. et W.L. Shockey. 1991. Value of orchardgrass and alfalfa silages fed with varying amounts of concentrates to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74 : 1933-1943.
- Wieringa, G. W. 1969. Influence of moisture and nutrient content of forage plants on fermentation process. Pages 133-137 in Proceedings of the 3rd General Meeting of the European Grassland Federation, Braunschweig, Allemagne.
- Wilkinson, J. M. 1981. Losses in the conservation and utilization of grass and forage crops. *Ann. Appl. Biol.* 98 : 365-375.
- Woolford, M. K. 1984. The silage fermentation. Marcel Dekker inc. New York , Microbiology series, v. 14, 350 p.

Annexe 1 Effet de la fermentation sur la composition chimique de l'ensilage humide

Source	Jacobs et al, 1992		Charmley et al, 1995		Jaakkola, 1990			
Silo	Silo horizontal foulé		Silo horizontal		Silos expérimentaux en fibre de verre de 3m ³			
Espèce(s)	Raygrass		Dactyle et trèfle rouge		Mil et trèfle rouge			
	Fourrage à la mise en silo	Ensilage	Fourrage à la mise en silo	Ensilage avec acide formique	Fourrage à la mise en silo	Ensilage non traité	Ensilage avec acide formique	Ensilage avec enzymes
Matière sèche (%)	20,63 (2)	22,7 (2)	28,3 (3)	27,8 (3)	19,9 (2)	19,0 (2)	20,1 (2)	20,7 (2)
Lignine (%)	----	----	----	----	1,7	2,0	1,8	2,0
Cellulose (%)	----	----	----	----	31,9	35,8	32,9	32,0
Hémicellulose (%)	24,53	25,98	31,2	19,5	29,9	28,9	27,2	26,8
ADF (%)	31,20	38,20	33,5	42,4	33,6	37,7	34,7	34,1
NDF (%)	55,73	64,18	64,7	61,9	63,5	66,6	61,9	60,9
Protéine brute (%)	12,29	14,14	15,00	15,06	12,7	13,1	12,4	12,8
N insol. / N total (%)		----	75,5	59,3				
N-NH ₃ / N total (%)		8,13	---	9,2				
N-ADF / N total (%)								
Pouvoir tampon (1)	----	----	----	----	----	----	----	----
Sucres sol. (%)	16,80	0,82	10,6	3,2	6,5	0,1	4,1	0,5
pH		3,92		4,6		4,81	3,98	4,15
Acide lactique (%)		15,08		2,30		0,8	5,2	9,2
Acide acétique (%)		1,71		2,67		6,1	1,2	3,4
Acide propionique (%)				0,32		1,28	0,04	0,41
Acide butyrique (%)				1,13		0,1	0	0
Acides totaux				6,42		8,25	6,4	13,0
A.lactique / A. acétique (%)		882		86		13	430	270
A.lactique / A. totaux (%)		90		36		10	80,8	71
A.acétique / A. totaux (%)		10		41		74	18,6	26
A.propionique / A. totaux (%)				5		15	0,6	3
A.butyrique / A. totaux (%)				18		1	0	0

(1) meq NaOH / kg M. S.

(2) M. S. au four

(3) M. S. par chromatographie en phase gazeuse

Annexe 2 Effet de la fermentation sur la composition chimique de l'ensilage préfané

Source	Fredeen et al, 1991		Fredeen et al, 1991		Stokes, 1992		Derbyshire et al, 1976	
Silo	Silo tour conventionnel		Silo tour conventionnel		Silo horizontal		Silo tour conventionnel	
Espèce(s)	Mil (début épiaison)		Luzerne (début floraison)		Mil, luzerne et trèfle		Dactyle	
	Fourrage à la mise en silo	Ensilage	Fourrage à la mise en silo	Ensilage	Fourrage à la mise en silo	Ensilage	Fourrage à la mise en silo	Ensilage
Matière sèche (%)	36,6 (2)	31,0 (2)	32,8 (2)	35,3 (2)	32,14 (2)	30,70 (2)	40,2 (3)	42,0 (3)
Lignine (%)	3,9	4,7	7,6	8,5	4,80	5,18	3,70	3,76
Cellulose (%)	32,7	36,0	31,8	33,3	26,94	28,66	30,3	30,7
Hémicellulose (%)	24,6	23,0	10,2	9,3	15,01	15,65	25,9	20,1
ADF (%)	36,6	40,7	39,4	41,8	31,74	33,84	34,0	34,4
NDF (%)	61,2	63,7	49,6	51,1	46,75	49,49	60,0	54,6
Protéine brute (%)	10,7	14,1	18,7	21,1	15,18	15,81	15,5	15,1
N insol. / N total (%)		-		--		----	47	28
N-NH ₃ / N total (%)		1,10		9,65		8,72		12,9
N-ADF / N total (%)		8,3		5,8		7,32		----
Pouvoir tampon (1)	295	-	445	--	401,4	970,5	----	----
Sucres sol. (%)	--	-	---	--	10,72	5,40	6,5	3,1
pH	6,17	4,90	5,88	4,92	5,63	4,25		4,7
Acide lactique (%)		5,13		4,92		9,71		5,44
Acide acétique (%)		1,05		3,27		1,92		2,19
Acide propionique (%)		0,025		0,119		----		0,14
Acide butyrique (%)		0,012		0,107		----		0,44
Acides totaux		6,217		8,416		----		8,21
A.lactique / A. acétique (%)		489		150		616		248
A.lactique / A. totaux (%)		82,5		58		83		66
A.acétique / A. totaux (%)		16,9		39		17		27
A.propionique / A. totaux (%)		0,4		1		----		2
A.butyrique / A. totaux (%)		0,2		1		----		2

(1) meq NaOH / kg M. S.

(2) M. S. au toluène

(3) M. S. au four

Annexe 3 Composition chimique de l'ensilage de luzerne et mil en silo tour conventionnel, à deux teneurs en matière sèche, et en silo hermétique (1)

Méthode d'entreposage	Silo tour conventionnel en béton		Silo hermétique
	Coupe directe	24 h de fanage	32 h de fanage
Matière sèche (%) (2)	27,5	46,1	56,4
Hémicellulose	13,06	18,58	14,66
ADF (%)	41,54	36,69	33,48
NDF (%)	54,60	55,27	48,14
Protéine brute (%)	15,84	16,69	16,76
N non protéique / N total (%)	58,99	54,38	50,40
N-NH ₃ / N total (%)	13,1	10,90	8,47
N-ADF / N total (%)	9,46	10,11	9,32
pH	4,65	4,97	4,79
Acide lactique (%)	4,04	3,64	2,57
Acide acétique (%)	5,06	0,94	2,21
Acide propionique (%)	----	----	----
Acide butyrique (%)	0,30	0,09	0,09
Acides totaux (%)	9,40	4,67	4,87
A. lactique / A. acétique (%)	79	387	116
A. lactique / A. totaux (%)	43	78	53
A. acétique / A. totaux (%)	54	20	45
A. butyrique / A. totaux (%)	3	2	2

Source : Campbell et Buchanan-Smith, 1991

(1) 80% de luzerne et 20% de mil

(2) M. S. au toluène

Conclusions :

- 1- L'ensilage à 27% M.S. a un pH plus bas et il contient environ 1,3 fois plus d'acide lactique et 3 fois plus d'acide butyrique que les deux autres ensilages.
- 2- Il contient aussi plus d'azote non protéique et plus d'azote ammoniacal alors que c'est l'ensilage à 56% de matière sèche qui en contient le moins, ce qui suggère que la protéolyse a été réduite, de même que la déamination microbienne durant la fermentation de l'ensilage le plus sec. Il resterait donc plus de protéine insoluble et donc potentiellement plus de protéine « by-pass » dans cet ensilage.
- 3- La teneur en azote lié à la fibre (N-ADF / N total) est comparable pour les trois ensilages et se situe à la limite (10%) au-delà de laquelle on considère généralement que la protéine est endommagée par la chaleur.
- 4- La teneur en ADF semble augmenter avec la diminution de la teneur en matière sèche de l'ensilage, c'est-à-dire qu'elle est plus élevée dans les ensilages dans lesquels la respiration et la fermentation sont plus intenses. De plus l'ensilage à 56% M.S. se distingue des deux autres par sa teneur en fibre NDF plus faible.

Interprétation de la qualité de fermentation :

- 1- L'ensilage en coupe directe présente plusieurs signes de détérioration (teneurs élevées en acide acétique, en acide butyrique et en azote ammoniacal) et son pH est plus élevé que le pH de stabilité (4,3). C'est un ensilage de mauvaise qualité.
- 2- L'ensilage préfané pendant 24 heures a subi une bonne fermentation lactique et le pH de stabilité a été atteint (5,0). Cependant sa teneur en acide butyrique le place à la limite entre un ensilage de d'excellente qualité et de bonne qualité.
- 3- L'ensilage préfané pendant 32 heures a aussi un pH suffisamment bas compte tenu de sa teneur en M.S. et une teneur en acide butyrique comparable au précédent, et sa teneur en acide acétique supérieur à 2% ne permet pas de le classer comme un ensilage d'excellente qualité.

Annexe 4 Composition chimique de l'ensilage de mil en balles rondes, à trois teneurs en matière sèche, et en silo meule

Méthode d'entreposage	Ensilage de balles rondes			Silo meule
	Demi-sec	Préfané	Humide	
Matière sèche (%) (1)	52,1	39,9	23,1	24,4
Lignine (%)	2,6 ^{ab}	2,5 ^b	2,8 ^a	2,9 ^a
Cellulose (%)	28,3 ^{ab}	28,5 ^{ab}	28,6 ^a	27,6 ^b
Hémicellulose (%)	20,9 ^a	20,2 ^a	17,9 ^b	17,7 ^b
ADF (%)	30,9 ^a	31,0 ^a	31,4 ^a	30,5 ^a
NDF (%)	51,9 ^a	51,2 ^{ab}	49,3 ^{bc}	48,2 ^c
Protéine brute (%)	15,8	16,1	16,5	16,5
N-NH ₃ / N total (%)	6,4	7,54	13,80	9,50
Sucres sol. (%)	4,62	3,28	1,19	1,28
pH	4,92	4,60	4,49	4,01
Acide lactique (%)	3,50	3,80	5,66	8,64
Acide acétique (%)	1,15	1,13	1,70	2,47
Acide propionique (%)	2,10	2,22	1,39	1,76
Acide butyrique (%)	0	0	1,58	0,22
Acides totaux (%)	6,75	7,15	10,33	13,09
A. lactique / A. acétique (%)	304	336	333	350
A. lactique / A. totaux (%)	52	53	55	66
A. acétique / A. totaux (%)	17	16	17	19
A. propionique / A. totaux (%)	31	31	13	13
A. butyrique / A. totaux (%)	0	0	15	2

Source : Beaulieu et al, 1993

(1) M. S. au toluène

Conclusions :

- 1- La teneur en protéine brute et la teneur en fibre ADF des différents ensilages est semblable.
- 2- L'ensilage en silo meule et l'ensilage humide en balles rondes ont une teneur en hémicellulose plus faible que les ensilages préfanés et demisecs en balles rondes.
- 3- C'est l'ensilage demi-sec en balles rondes qui a la teneur en NDF la plus élevée et l'ensilage en silo meule la plus basse.
- 4- L'ensilage demi-sec en balles rondes a un pH plus élevé, plus de sucres solubles résiduels et moins d'azote ammoniacal que les trois autres ensilages. C'est le résultat d'une fermentation moins poussée résultant d'une teneur en matière sèche plus élevée.
- 5- Les ensilages préfanés et demi-secs en balles rondes ne contiennent pas d'acide butyrique, mais plus d'acide propionique que l'ensilage humide en balles rondes.
- 6- L'ensilage en silo meule a un pH plus bas, moins d'azote ammoniacal, moins d'acide butyrique et plus d'acide lactique que l'ensilage humide en balles rondes, ce qui semble le résultat d'une meilleure fermentation.

Interprétation de la qualité de fermentation :

- 1- Les ensilages de balles rondes demi-secs et préfanés ont atteint le pH de stabilité, mais on ne peut pas les classer comme des ensilages d'excellente qualité à cause de leur teneur en acide propionique et en azote ammoniacal. Ce sont des ensilages de bonne qualité qui ont préservé plus de sucres que les deux autres ensilages.
- 2- L'ensilage humide de balles rondes a un pH plus élevé que le pH de stabilité (4,1) et une teneur élevée en azote ammoniacal et très élevée en acide propionique et en acide butyrique. C'est un ensilage de mauvaise qualité.
- 3- L'ensilage en silo meule a un pH plus bas que le pH de stabilité (4,2). Ses teneurs en acide propionique, en acide butyrique et en azote ammoniacal ne permettent pas de classer comme un ensilage d'excellente qualité, mais c'est sûrement un ensilage de bonne qualité.

Annexe 5 Composition chimique de l'ensilage de mil en silo meule (fourragère vs autochargeuse) et en balles rondes

Méthode de récolte et d'entreposage	Silo meule avec fourragère conventionnelle	Silo meule avec autochargeuse	Ensilage de Balles rondes
Matière sèche (%) (1)	35,4	33,3	54,3
Hémicellulose	18,2	20,3	22,4
ADF (%)	33,0	37,3	32,1
NDF (%)	51,2	57,6	54,5
Protéine brute (%)	16,4	16,8	15,8
N protéique / N total (%)	50,2	46,8	52,1
N-NH ₃ / N total (%)	9,6	14,3	6,1
pH	4,65	5,00	5,28
Acide lactique (%)	1,6	1,5	0,6
Acide acétique (%)	0,2	0,2	0
Acide propionique (%)	0	0	0
Acide butyrique (%)	0,2	0,1	0
Acides totaux	2,0	1,8	0,6
A.lactique / A. acétique (%)	800	750	---
A.lactique / A. totaux (%)	80	83	100
A.acétique / A. totaux (%)	10	11	0
A.propionique / A. totaux (%)	0	0	0
A.butyrique / A. totaux (%)	10	6	0
Perte de M.S. (%)	15,3	14,1	8,4

Source : Petit et al, 1993

(1) M. S. au toluène

Conclusions :

- 1- Tous ces ensilages ont une bonne odeur et une bonne apparence ; ils sont exempts de moisissure et bien acceptés par les animaux.
- 2- L'ensilage de balles rondes a un pH plus élevé et des teneurs plus faibles en acide lactique, en acides gras volatils et en azote ammoniacal, comparativement aux ensilages en silo meule, à cause de la teneur en matière sèche plus élevée de l'ensilage de balles rondes. Même la fermentation est plus extensive dans l'ensilage en silo meule, les teneurs en acides gras volatils sont anormalement basses.
- 3- Les deux ensilages en silo meule ont présenté des teneurs en azote protéique, en azote ammoniacal, en acide lactique et en acides gras volatils similaires.
- 4- Les pertes de matière sèche en entrepôt sont plus faibles avec l'ensilage de balles rondes qu'avec les ensilages en silo meule. Ceci résulte probablement de la fermentation moins poussée dans l'ensilage de balles rondes, vu sa teneur en matière sèche élevée.

Interprétation de la qualité de fermentation :

- 1- L'ensilage en silo meule avec fourragère conventionnelle a atteint le pH de stabilité (4,6). Cependant ses teneurs en azote ammoniacal et en acide butyrique ne permettent pas de le considérer comme un ensilage d'excellente qualité, mais en font un ensilage de qualité bonne à moyenne.
- 2- L'ensilage en silo meule avec autochargeuse a un pH 0,5 unités plus élevé que le pH de stabilité (4,5), ce qui semble la conséquence de la production d'une plus grande quantité d'azote ammoniacal. C'est un ensilage de mauvaise qualité.
- 3- L'ensilage de balles rondes a très peu fermenté, mais son pH est acceptable compte tenu de sa teneur en M.S. Ça semble un ensilage d'excellente qualité.



CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE
ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC

BON DE COMMANDE

pour les publications reliées aux plantes fourragères

Numéro de la publication	Titre de la publication	Quantité	Prix unitaire (taxes incluses)	Prix total
VV 014	Guide de référence en fertilisation, 2003 (350 pages) NOUVEAU !	1 à 24 25 à 49 50 et +	18,00 \$ 17,00 \$ 16,00 \$	
VS 025	Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec – 1998 (262 pages) En couleurs et d'un format de poche très pratique ! (117 espèces)		16,00 \$	
02-8906	Plantes fourragères : Culture (254 pages) Réimpression 1998		18,00 \$	
02-9402	Composition chimique de certains cultivars de légumineuses pérennes... - 1994 (157 pages)		12,00 \$	
Nom : _____			Total des achats	
Organisme : _____			Frais de poste et de manutention*	
Adresse : _____			Total à payer	
Ville : _____				
Code postal : _____ Numéro de téléphone : () _____				
Courriel : _____				

*Les **frais de poste et de manutention** s'appliquent à toute livraison au Canada et doivent être ajoutés selon le montant total des achats. Pour un total des achats de 100,00 \$ et moins, les frais sont de 4,01 \$ (taxes incluses). Pour un total de plus de 100,00 \$, les frais correspondent à 10 % du total des achats, jusqu'à concurrence de 20,00 \$ (taxes incluses).

Pour commander, veuillez remplir ce bon et l'accompagner d'un chèque ou d'un mandat-poste fait à l'ordre de DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS.

Après avoir vérifié la disponibilité des publications choisies, expédiez le tout à :

DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS
845, rue Marie-Victorin
Saint-Nicolas (Québec) G7A 3S8

Commandez aussi par téléphone au 1 800 859-7474, par télécopieur au (418) 831-4021 ou directement sur notre site Internet : www.craaq.qc.ca

MODE DE PAIEMENT

Pour votre sécurité, n'envoyez pas d'espèces par la poste.

- Chèque à l'ordre de : Mandat-poste
DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS
 Visa MasterCard

Numéro de la carte : _____

Date d'expiration : _____

Signature : _____

Le CRAAQ offre une collection complète de publications sur la plupart des sujets concernant les secteurs animal, végétal, de l'économie et de la gestion agricoles. Pour plus d'information, communiquez avec nous.

Service à la clientèle

(418) 523-5411 ou 1 888 535-2537
client@craaq.qc.ca
www.craaq.qc.ca