



**DEMI-JOURNÉE D'INFORMATION SCIENTIFIQUE
SUR LES FOURRAGES**

Jeudi le 6 février 2003

Organisée conjointement par le
Comité des plantes fourragères du CRAAQ
et le
Conseil Québécois des Plantes Fourragères (CQPF)

COMPTE-RENDUS DES CONFÉRENCES
Victoriaville, Québec

AVANT-PROPOS

Voici les comptes-rendus des conférences de la onzième édition de la demi-journée d'information scientifique sur les fourrages organisée conjointement par le comité des plantes fourragères du CRAAQ et le Conseil québécois des plantes fourragères (CQPF). Depuis 1997, cette activité est organisée annuellement et vous est présentée sous forme d'une demi-journée qui fait suite à l'assemblée générale annuelle du CQPF. Au cours de cet après-midi, onze conférenciers vous présenteront de nouveaux résultats de recherche sur des sujets variés. Cette demi-journée se veut une occasion d'échange entre les représentants de l'industrie, les conseillers agricoles, les chercheurs, les producteurs ainsi que les autres intervenants intéressés à la production, le développement et la recherche en plantes fourragères au Québec. Vous trouverez dans le présent cahier des comptes-rendus qui résument ou complètent ce qui vous est présenté au cours de cet après-midi. Que cette journée soit remplie d'informations intéressantes vous permettant de continuer à valoriser les plantes fourragères dans l'Est du Canada.

Gaëtan Tremblay, Vice-président, Comité Plantes Fourragères du CRAAQ.

TABLE DES MATIÈRES

1- Les plantes fourragères en ondes sur Agri-Réseau Grandes Cultures, Sylvie Denis (MAPAQ, Alma) et Gaëtan Tremblay (AAC, Sainte-Foy).....	3
2- La génomique des plantes fourragères. Serge Laberge (AAC, Sainte-Foy)	5
3- Changements climatiques: défis et opportunités pour les plantes fourragères au Québec. Gilles Bélanger (AAC, Sainte-Foy), A. Bootsma, P. Rochette, Y. Castonguay et D. Mongrain	6
4- Semis direct du trèfle Kura suivant l'application d'herbicides. Guillaume Laberge et Philippe Seguin (Université McGill).....	9
5- Un moyen efficace pour réduire la DACA des fourrages Alain Fournier, Marc Coulombe, Denis Ruel et Gilles Aucoin (MAPAQ)	12
6- Impact de la chaux sur les prairies et pâturages extensifs. Réal Michaud (AAC, Sainte-Foy) et André Brunelle (MAPAQ)	17
7- Développement d'un séchoir prototype à grosses balles rectangulaires. Sébastien Descôteaux et Philippe Savoie (AAC, Sainte-Foy)	23
8- Caractérisation des ensilages d'herbes produits au Québec. Carole Lafrenière et Robert Berthiaume (AAC, Lennoxville).....	25
9- Ensilabilité et qualité du trèfle d'alexandrie (<i>T. alexandrinum</i>). Christian Gonthier, Arif F. Mustafa, et Philippe Seguin (Université McGill).....	29
10- Qualité de conservation de l'ensilage de maïs protégé avec un bioenrobage. André Amyot (IRDA, Deschambault), P. Denoncourt, B. Ouattara et M. Lacroix	30
11- Ensilages à teneur en matière sèche élevée, compressés et conservés en sacs de plastique. Gaëtan Tremblay (AAC, Sainte-Foy), R. Michaud, G. Allard, G. Lefebvre, J.-P. Thériault, P. Bernier, E. Viel et P. Maltais	35

Les plantes fourragères en ondes sur Agri-Réseau Grandes cultures

Sylvie Denis¹, agronome et Gaétan Tremblay², Ph.D.

¹Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 801, Chemin Pont Taché nord, Alma, QC, G8B 5W2, Sylvie.Denis@agr.gouv.qc.ca; ²Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Sainte-Foy, QC, G1V 2J3, tremblaygf@agr.gc.ca



Agri-Réseau est un réseau québécois de sites Internet dont la mission est d'accélérer la diffusion de l'information de pointe auprès des entreprises et des professionnels québécois de l'agriculture et de l'agroalimentaire. Les maîtres d'œuvre d'Agri-Réseau sont le MAPAQ et le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).

Sur les sites d'Agri-Réseau, vous trouverez toute une gamme de renseignements en français que vous pourrez consulter en ligne et même télécharger dans certains cas. À titre d'exemple, Agri-Réseau diffuse un grand nombre de documents, allant des fiches techniques résumant les connaissances sur un sujet précis jusqu'aux articles plus étoffés et aux rapports de recherche et de développement. Vous trouverez également des textes de conférences, des présentations multimédias, des communiqués de presse, des banques de photos et des statistiques. Agri-Réseau publicise aussi les événements à venir dans le domaine spécifique de chaque site. Chaque site spécialisé s'adapte aux besoins d'information de son secteur. Un moteur de recherche permet de localiser l'information dans tous les sites simultanément.

En janvier 2003, près de 1 000 personnes étaient abonnées à au moins un site d'Agri-Réseau. En moyenne, on compte plus de 500 utilisateurs par jour. Depuis le 16 novembre 2001, 1 649 753 pages ont été vues par la clientèle, ce qui représente environ 4000 pages vues par jour. À titre d'exemple, le document « Stratégies permettant de maximiser la valeur alimentaire des fourrages » par Robert Berthiaume et coll. a été consulté 3154 fois.

La gestion de chacun des sites d'Agri-Réseau repose sur un groupe de pilotage, généralement des intervenants du secteur, coordonné par un pilote de site. Le groupe de pilotage oriente le contenu des sites selon les besoins du secteur, définit la politique éditoriale de leur site, structure l'information, approuve la mise en onde des documents et recrute des collaborateurs.

Parmi les 13 sites présentement en ligne, le site Grandes cultures regroupe 4 grands secteurs : les céréales, le maïs-grain, les oléoprotéagineuses et les plantes fourragères. Madame Sylvie Denis est pilote pour le site des grandes cultures et M. Gaëtan Tremblay est le pilote adjoint du secteur des plantes fourragères. Le site des plantes fourragères compte présentement une centaine de documents, traitant par exemple des semis, de la fertilisation, de la production et de l'exploitation, de la récolte et de la conservation, de la commercialisation, des pâturages, et des budgets de production.

Agri-Réseau vous offre une opportunité unique d'augmenter l'impact de vos efforts de vulgarisation et de diffusion en déposant sur son site des documents d'information pertinents et objectifs. Pour devenir auteur, il vous faut un nom d'usager et un mot de passe. Pour les obtenir, demandez-les par courriel à sylvie.denis@agr.gouv.qc.ca. Votre nom d'usager avec un mot de passe ainsi que la procédure de dépôt de documents vous seront retournés par courrier électronique. Chaque pilote adjoint de site, en l'occurrence Gaëtan Tremblay pour le secteur des plantes fourragères, s'assure que les documents dont il approuve la publication répondent aux exigences de base de la politique éditoriale d'Agri-Réseau. Les textes sont reproduits tels que soumis par leurs auteurs.

Agri-Réseau est un service public. Comme l'information publiée dans les sites d'Agri-Réseau est principalement fournie par des sources extérieures, Agri-Réseau ne peut garantir que l'information fournie est exacte, récente ou à jour et décline toute responsabilité quant à l'utilisation de cette information. L'utilisateur est en tout temps responsable de vérifier l'information et demeure seul responsable des conséquences de son utilisation.

Toute contribution à Agri-Réseau se fait sur une base bénévole et ne fait l'objet d'aucune rétribution. Les auteurs conservent la propriété de leur texte et en retirent tout le crédit. L'auteur doit s'assurer que :

- Des références complètes accompagnent le texte, s'il y a lieu.
- Les droits d'auteur sur le texte n'ont pas déjà été cédés (par exemple, à une revue agricole, éditeur, organisme, etc.).
- La publication ou l'événement dans le cadre duquel le texte a déjà été publié ou présenté est dûment et clairement cité.

Le document ne doit pas être orienté à des fins strictement commerciales. Toutefois, votre document peut porter votre adresse de courriel ou l'adresse de votre site Web et le visiteur pourra alors y accéder directement.

Agri-Réseau n'est pas une tribune pour soulever des polémiques. Par exemple, un document expliquant comment sont produits des OGM peut être déposé mais un document d'opinion pour ou contre les OGM ne sera pas approuvé. Enfin, tout document déposé sur Agri-Réseau doit être écrit dans un bon français afin de préserver la qualité du site.

Nous vous invitons donc à visiter le site des grandes cultures. Pour y accéder, faites le www.agrireseau.qc.ca et cliquez sur le site Grandes cultures. Et nous comptons sur votre contribution pour alimenter le site plantes fourragères afin de diffuser les informations de pointe utiles aux producteurs et aux intervenants du milieu.

La génomique des plantes fourragères

Serge Laberge

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Sainte-Foy, QC, G1V 2J3, laberges@agr.gc.ca

Les sciences biologiques sont en pleine révolution grâce à l'émergence depuis quelques années de nouvelles disciplines à haut débit que sont la génomique, la protéomique, la métabolomique et la bioinformatique qui permettent l'analyse des constituants moléculaires présents chez les organismes vivants. Ces disciplines permettent entre autre d'identifier des marqueurs d'ADN et/ou des gènes impliqués dans des processus importants chez les plantes telles que la résistance aux stress abiotiques et la qualité nutritive. Depuis quelques années nous avons amorcé un projet de recherche visant à déterminer la structure et la fonction des principaux gènes impliqués dans la résistance au froid et la qualité nutritive chez la luzerne. En premier lieu des populations de luzerne améliorées et contrastantes pour leur résistance supérieure au froid ont été produites et servent de matériel de départ pour la découverte et l'analyse de gènes impliqués dans la résistance au froid. Des séquences d'ADN de haute qualité provenant des gènes exprimés dans les collets de luzerne à basses températures ont été produites de manière fiable et économique et constitue donc "*les séquences étiquetées et exprimées*". Ces séquences proviennent de plants acclimatés à différents niveaux de leur tolérance optimale et aussi de plants contrastés pour ce caractère. Ces séquences d'ADN ont par la suite servies à construire *une biopuce à ADN* qui permet de déterminer quels gènes s'expriment à basses températures et quels gènes s'expriment d'avantages dans les plants de tolérance supérieure. Cette technique permet aussi de suivre l'évolution de l'expression génétique globale lors de l'acclimatation au froid de la luzerne. Une base de données bioinformatique a été construite et contient les données sur la séquence des gènes, leur fonction déterminée par homologie de séquences et leur niveau d'expression à basses températures. Les différents logiciels utilisés pour analyser cette base de données nous ont permis d'identifier en majeure partie les gènes exprimés aux basses températures et d'identifier des gènes candidats ayant potentiellement un rôle majeur dans la résistance au froid. Ces gènes seront ultérieurement validés par des technologies de transgénèse végétale afin de déterminer leur importance pour la résistance au froid chez la luzerne.

Changements climatiques : défis et opportunités pour les plantes fourragères au Québec

Gilles Bélanger¹, Andy Bootsma², Philippe Rochette¹, Yves Castonguay¹ et Danielle Mongrain¹

¹ Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2560 Boul. Hochelaga, Sainte-Foy (QC) G1V 2J3,

belangergf@agr.gc.ca; ² Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 960 Av. Carling, Ottawa (ON) K1A 0C6.

Les modèles météorologiques prédisent des changements climatiques au Québec au cours des cinq prochaines décennies de 2 à 6°C au cours de l'hiver et de 1 à 4°C au cours de l'été (Étude pan-canadienne, Tome V, Page 6). Ces changements climatiques projetés auront vraisemblablement des effets positifs aussi bien que négatifs sur la production de plantes fourragères au Québec.

Pour estimer l'impact des changements climatiques, nous avons calculé des indices agroclimatiques de la période actuelle (1961-1990) et de deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) pour 21 stations climatiques représentatives des régions agricoles du Québec. L'information détaillée du calcul des indices agroclimatiques est disponible dans deux rapports de recherche financés par le Fonds d'action pour le changement climatique du gouvernement canadien. Les indices agroclimatiques associés à la saison de croissance tels que unités thermiques maïs (UTM), degrés-jours de croissance (DJC) et déficit hydrique sont décrits par Bootsma et al. (2001). Les indices agroclimatiques reliés à la survie hivernale des plantes fourragères sont décrits par Bélanger et al. (2001).

Saison de croissance plus longue et plus sèche

Sur l'ensemble du territoire agricole québécois, les UTM devraient passer de 2390 sous les conditions actuelles à 3088 en 2040-69, soit une augmentation de 29%. Les DJC devraient augmenter de 26 à 31% avec le changement climatique, soit des augmentations de 397 à 513 degrés-jours . La période entre deux coupes de plantes fourragères est d'environ 450 à 500 degrés-jours. On peut donc prévoir qu'avec le changement climatique, une coupe additionnelle de plantes fourragères pourra être prise dans toutes les régions agricoles du Québec, ce qui pourrait se traduire par des augmentations de rendement annuel de 2 à 5 T/ha de matière sèche. En moyenne au Québec, le déficit hydrique devrait passer de 79 mm sous les conditions actuelles à 106 mm en 2040-69.

Hivers plus doux avec moins de neige et plus de glace

La somme des degrés-froid ($T < 5^{\circ}\text{C}$) au cours de la période d'endurcissement exprime le potentiel d'endurcissement des plantes fourragères. La somme de degrés-froid au cours de la période d'endurcissement devrait diminuer de 13 à 29% selon les régions, causant ainsi une diminution de l'endurcissement. Le nombre de jours d'exposition à des températures létales sans

couverture de neige devrait augmenter dans toutes les régions du Québec, augmentant ainsi le risque de dommages. L'augmentation du nombre de jours à risque variera de 16 dans le Bas-Saint-Laurent/Gaspésie à 28 dans le Centre du Québec. Les températures plus douces prévues pour les périodes futures devraient également causer une augmentation des pluies hivernales.

Potentiel agroclimatique sous un climat modifié

Rendements

Le changement climatique prédit au cours des prochaines cinq décennies devrait occasionner des augmentations de rendement de maïs et de plantes fourragères. Il ne faut toutefois pas oublié que ces prédictions ne prennent pas en compte l'impact de l'augmentation de la concentration en CO₂ sur les rendements des cultures et l'impact des changements climatiques sur les ravageurs. De plus, la réalisation de ce potentiel agroclimatique dépendra de la capacité de production des sols et d'un apport et d'une distribution adéquate de précipitations sous des conditions de déficit hydrique qui iront en s'accentuant.

Distribution

La longueur de la saison de croissance sera modifiée de façon importante avec le changement climatique. Ainsi, les dates du dernier gel printanier seront de 12 à 20 jours plus tôt alors que les dates du premier gel automnal seront de 15 à 18 jours plus tard. Cette modification de la longueur de la saison de croissance permettra de choisir des cultivars ou hybrides plus tardifs, et permettra de cultiver des espèces nouvelles.

Risques

Le risque accru pour des espèces fourragères sensibles à l'hiver (par exemple, la luzerne) pourrait avoir un impact sur le choix des espèces cultivées. Le risque de mortalité hivernale est présentement plus élevé dans le Sud de Québec que dans les autres régions du Québec. Avec le changement climatique, la plupart des régions agricoles du Québec auront un niveau de risque comparable à ce que nous avons aujourd'hui dans le Sud du Québec.

Les données climatiques prédictes pour les prochaines années et utilisées pour nos recherches ne prennent pas en compte l'augmentation de la variabilité climatique et les événements climatiques extrêmes comme les sécheresses, les vagues de froid intense, et le verglas. Il existe peu d'indications sur la fréquence, la durée et l'intensité prévue d'événements climatiques extrêmes avec le changement climatique prévu (Étude pan-canadienne, Tome V, Page 9). Toutefois, quelques travaux de recherche suggèrent que les phénomènes climatiques extrêmes pourraient augmenter dans les prochaines années, augmentant ainsi les risques climatiques de la production agricole.

Conclusion

Les changements climatiques prévus pour les cinq prochaines décennies devraient avoir un effet important sur la production des plantes fourragères au Québec. Les augmentations de rendement et le développement de nouvelles cultures dans plusieurs régions du Québec constituent des opportunités intéressantes. Par ailleurs, les risques accrus associés à la production agricole représentent un défi pour le monde agricole.

Références

- Bélanger, G., Rochette, P., Bootsma, A., Castonguay, Y. et Mongrain, D. 2001. Impact des changements climatiques sur les risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes. Rapport final - Projet A084. Fonds d'action pour le changement climatique. 65 p.
- Bootsma, A., Gameda, S. et McKenney, D.W. 2001. Adaptation de la production agricole au changement climatique dans le Canada Atlantique. Rapport final – Projet A214. Fonds d'action pour le changement climatique. 35 p.
[<http://res2.agr.ca/ecorc/staff/bootsma/frreport.pdf>]
- Étude pan-canadienne. 1999. Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat au Québec. Tome V. Http://www.ec.gc.ca/climate/ccs/que_resume.htm

Semis-direct de trèfle Kura suivant l'application d'herbicides

Guillaume Laberge et Philippe Séguin

Département de phytologie, Campus Macdonald de l'Université McGill,
2111 Lakeshore Rd., Ste-Anne-de-Bellevue, QC, H9X 3V9.

Introduction

Les producteurs laitiers de l'est du Canada utilisent principalement les concentrés et les plantes fourragères conservées - foin et ensilage - pour l'alimentation de leur troupeau. Cette façon de faire engendre des coûts importants. Bien qu'il soit reconnu que l'exploitation de pâturages puisse constituer une alternative moins coûteuse et rentable durant la période estivale, peu de producteurs ont recours à ce mode de production. Les pâturages sont trop souvent peu productifs et de piètre qualité nutritionnelle parce que dominés par les graminées et les mauvaises herbes. Tout l'art de la gestion de pâturages consiste à maintenir un ratio optimal de légumineuses et graminées. Le producteur doit rénover ses pâturages pour y réintroduire des légumineuses lorsque celles-ci se font rares. Les légumineuses fourragères présentement recommandées pour les pâturages de l'est du Canada, le trèfle rouge, le trèfle blanc et le lotier, ne persistent que quelques années dans les champs sous nos conditions. Celles-ci tolèrent mal la paissance prolongée, les dommages imposés par le froid et la sécheresse estivale. L'adoption de nouvelles légumineuses persistantes pourraient augmenter la productivité des pâturages de la région et faire du pâturage un outil de production plus attrayant. Le trèfle Kura (*Trifolium ambiguum*) est un candidat intéressant d'une grande persistance. Les méthodes de semis adaptées aux conditions de sol difficiles doivent aussi être affinées afin de pouvoir rénover facilement les pâturages permanents. Une méthode réaliste est le semis direct de légumineuse suivant l'application d'herbicides.

Le trèfle Kura (*Trifolium ambiguum*) est une plante fourragère vivace de grande valeur nutritive pouvant persister de nombreuses années dans les pâturages. Des populations de trèfle Kura ont survécu jusqu'à une vingtaine d'années. Cette légumineuse résiste aux périodes de sécheresse, aux froids hivernaux et à la paissance. Ses qualités de persistance et de résistance sont attribuées à son réseau de racines et rhizomes dont la biomasse peut atteindre de 5 à 10 tonnes par hectare. Le Kura y accumule les réserves lui permettant de survivre aux perturbations. Les plants se propagent sous terre, les clones remplaçant les plantes mères avec les années, ce qui assure la longévité de la population. Les difficultés relatives à la culture du trèfle Kura sont la lenteur de l'établissement, des rendements faibles lors de l'année du semis et la faible compétitivité des plantules à l'établissement. Il est essentiel de développer des techniques permettant d'établir de manière fiable les cultures de trèfle Kura. Le trèfle Kura a une lente nodulation et fixe peu d'azote lors de la première saison, la fertilisation azotée suivant le semis aide au bon établissement de la culture.

La recherche en cours compare l'établissement et les rendements du trèfle Kura à ceux du trèfle rouge et du trèfle blanc suivant leur introduction lors d'une opération de rénovation de pâturage utilisant le semis direct. Différentes stratégies de rénovation avec semis direct et

herbicides furent essayées à l'intérieur même de l'expérience afin de déterminer les meilleures méthodes à adopter pour chaque espèce.

Matériel et Méthodes

Des parcelles expérimentales furent établies dans un champ de la ferme Macdonald en 2001 et en 2002. Les sites étaient dominés par des graminées hautes; brome, dactyle et fléole. Les semis sans labour furent faits une semaine après l'application d'herbicides. Les herbicides réduisent la compétition de la végétation résidante et permettent aux légumineuses de s'établir. Les rendements sont évalués sur deux saisons. Les traitements furent disposés en un plan aléatoire complet avec restrictions « split-split ». Chaque site contient quatre répétitions. Les parcelles mesurent 5m x 1,6m.

Les traitements furent les suivants. Comme **traitement principal** -«main plot»- on retrouve les différentes **espèces et variétés de légumineuses** :

- Trèfle Kura, var.«Cossack», (13 kg/ha)
- Trèfle Kura, var.«Endura», (13 kg/ha)
- Trèfle rouge, var.«Scarlett», (10 kg/ha)
- Trèfle blanc, var. «Shasta», (3 kg/ha)

Les traitements disposés en **sous-parcelle** -« sub-plot »- sont les **herbicides**. Les traitements d'herbicides évalués forment un spectre d'intensité de suppression, présentés ici de la suppression la plus forte à la plus faible :

- Glyphosate, 3,30 kg i.a./ha
- Glyphosate, 0,8 kg i.a./ha
- Paraquat, 0,9 kg i.a./ha

En **sous-sous-parcelle** -«sub-sub-plot »- sont disposés les traitements de fertilisation. La fertilisation s'effectue sur la moitié des parcelles en deux applications en surface de nitrate d'ammonium; une première application en juin (60 kg de N/ha) deux semaines après les semis et une seconde (40 kg de N/ha) la première semaine de juillet.

Résultats

Les deux variétés de trèfle Kura ont aussi bien performé que le trèfle blanc lors de l'année du semis. Ces deux espèces ont eu des rendements faibles l'année du semis, mais on tout de même pu s'établir. Les rendements obtenus avec le Kura en semis direct en 2001- environ une demi tonne de trèfle par hectare - furent néanmoins élevés si l'on considère que cela correspond aux rendements normalement obtenus la première année lorsque cette espèce est établie en semi pur. Le trèfle rouge est l'espèce la plus facile à établir et l'espèce donnant les rendements les plus élevés lors de son établissement. L'année du semis, les rendements totaux (légumineuses + graminées) les plus élevés furent obtenus aussi dans les parcelles semées avec du trèfle rouge.

Il y eut des différences marquées entre les résultat des traitements d'herbicides. Le Paraquat ne supprime pas suffisamment la compétitivité des graminées pour permettre un bon établissement des légumineuses. La dose forte de Glyphosate, au contraire, permet un trop grand établissement du trèfle rouge qui, en situation réelle, provoquerait la météorisation chez les ruminants. Le trèfle blanc et le trèfle Kura sont plus lents à s'établir et leurs parcelles, lorsque traitées avec une dose forte de Glyphosate, se font envahir par les mauvaises herbes. Les parcelles traitées avec une dose faible de Glyphosate ne sont généralement pas envahies par les mauvaises herbes et la compétition de la végétation résidente est suffisamment réduite pour permettre l'établissement des légumineuses dans des proportions désirables. La fertilisation azotée eut un effet bénéfique sur l'établissement du trèfle Kura dans les parcelles traitées au Glyphosate, doses fortes et faibles.

Lors de la deuxième saison de croissance, les rendements du trèfle Kura var. Cossack furent supérieurs à ceux du trèfle blanc et du trèfle Kura var. Endura, les rendements de ces deux derniers étant équivalents. Pour la première fois au cours de l'expérience, il était possible de voir une différence significative entre la production des cultivars de Kura. Le trèfle rouge demeurait l'espèce la plus productive au cours de la deuxième saison. Ces différences entre les rendements des légumineuses ne furent pas reflétés dans la production totale des parcelles de la seconde saison. La production totale fut la même indépendamment de l'espèce introduite durant la rénovation, seul l'apport ou la proportion des légumineuses dans la production totale variait. Les conditions de sécheresse exceptionnelles rencontrées durant l'été 2002 expliquent probablement cet aplanissement des différences dans la production totale.

Cette expérience se poursuit mais démontre déjà le potentiel du trèfle Kura. Le cultivar Cossack donna des rendements supérieurs au trèfle blanc, l'espèce normalement recommandé, dès la deuxième année de croissance. Le trèfle Kura pourrait combler le besoin pour des légumineuses persistantes dans les pâturages permanents ou extensifs de l'est du Canada.

Un moyen efficace pour réduire la DACA des fourrages...

Alain Fournier¹, Marc Coulombe², Denis Ruel³ et Gilles Aucoin⁴

¹Bureau régional de Nicolet, MAPAQ, ²Centre de services de Victoriaville, MAPAQ; ³Centre de services de Nicolet, MAPAQ; ⁴Centre de services de Drummondville, MAPAQ

La fièvre du lait chez la vache laitière est bien connue des éleveurs laitiers. Elle affecterait de 5 à 7 % des hautes productrices et entraînerait des pertes monétaires importantes qui sont de l'ordre de 500 \$ par vache affectée. Cette maladie métabolique est caractérisée par l'affaissement de la vache qui sera dans l'impossibilité de se relever sauf s'il y a injection de calcium. Puisque la demande en calcium quadruple pour la bonne laitière qui passe d'un stade tari à un stade de production, il n'est pas surprenant d'observer certains sujets avoir de la difficulté à soutenir cette épreuve colossale. Cependant, la fièvre du lait ne représente qu'une partie de ce problème d'hypocalcémie (baisse de calcium sanguin). Parmi les solutions envisagées pour dénouer cette impasse, l'utilisation de fourrages de graminées à faible teneur en potassium avec un niveau élevé de chlore dans l'alimentation des vaches en préparation au vêlage aurait un avenir prometteur. L'équipe du MAPAQ de la région Centre-du-Québec en collaboration avec la compagnie synAgri a essayé d'y voir plus clair par la réalisation de trois essais au champ à l'été 2001 et 2002, chez un groupe de producteurs de cette même région.

Cette technique a été initialement proposée par le chercheur Everett D.Thomas de Miner Institute. Elle consiste à fertiliser des fourrages de graminées sur des sols à faible teneur en potassium avec un produit à base de chlore comme le chlorure de calcium (CaCl_2) et ainsi rendre la différence alimentaire cations-anions (DACA) des fourrages à une valeur près de zéro. Le calcul de la DACA est effectué en milliéquivalents par kilo d'aliment en utilisant la formule suivante : $\text{DACA (mEq/kg)} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$. L'utilisation de ce type de foin aide à réduire la quantité de sels anioniques nécessaire pour l'atteinte d'une DACA négative, et permet dans un même temps de diminuer le coût et la fadeur de la ration.

Notre projet, réalisé en trois projets, avait pour objectif d'évaluer l'accroissement de la teneur en chlore et la diminution de la DACA de fourrages de graminées produits chez des producteurs laitiers de la région Centre-du-Québec avec l'aide d'un fertilisant à base de chlore.

La première phase s'est déroulée au cours de l'été 2001 chez Robert Reeks de Bécancour et Jacques et Germain Bernier de Sainte-Élisabeth-de-Warwick. Elle consistait à fertiliser un champ de graminées avec 160 kg/ha de chlorure de calcium entre la première et la deuxième coupe de foin. Pour les fins de l'expérience, chez chacune des entreprises, nous avons établi un plan entièrement aléatoire. Les champs ont été divisés en 6 parcelles d'environ 0,3 ha chacune dont 3 parcelles fertilisées avec le chlorure de calcium et les 3 autres servant de parcelle témoin sans apport de chlore. Les résultats combinés des 2 essais (voir tableau 1) nous montrent en effet que le niveau de chlore dans les fourrages traités avec le chlorure de calcium a plus que doublé (0,66 à 1,37 %). Le manque de répétitions dans notre plan d'expérience nous a empêché de déceler une différence significative au niveau de la DACA. Le calcium a cependant été augmenté significativement par la fertilisation chlorée.

Tableau 1. Résultats combinés des deux essais de fertilisation au chlore (CaCl_2) pour des parcelles de graminées

Parcelles	Traitées (CaCl_2)	Témoin	Erreur type
Fibres ADF (%)	31,8	33,2	0,69
Protéine brute (%)	14,7	14,0	0,58
Calcium (%)	0,76*	0,62	0,03
Phosphore (%)	0,34	0,32	0,01
Magnésium (%)	0,22	0,20	0,01
Potassium (%)	3,3	2,9	0,13
Soufre (%)	0,22	0,22	0,01
Chlore (%)	1,37**	0,66	0,14
DACA (mEq/kg)	314	428	45

* indique que les moyennes étaient significativement différentes à un niveau P de 0,05 et ** à un niveau de 0,01.

Tableau 2. Entreprises ayant participé au projet de fertilisation au chlorure de calcium de parcelles de graminées durant l'été 2002

Nom de l'entreprise	Localité
Jacques et Germain Bernier de Ferme Berni 2001 inc.	Sainte-Élizabeth-de-Warwick
Jean-Marcel Rondeau et Dany Grimard de Ferme Rondeau 2000 inc.	Saint-Albert-de-Warwick
Serge Bourque de Ferme J.B. Bourk inc.	Plessisville
Julien Flibotte de Ferme Julien Flibotte & fils inc.	Saint-Cyrille-de-Wendover
Gilbert et Stéphane Jutras de Ferme Jutras	Sainte-Perpétue
Réal et Christian Jutras de Ferme Valnico inc.	Sainte-Brigitte-des-Saults
Jean et Paul Rousseau de Ferme Rhétaise inc.	Nicolet
Renée Ruch et Alfred Rufer de Ferme Rufer	Saint-Guillaume
Carl et Sébastien Trépanier de Ferme J.G. Trépanier & fils inc.	Princeville

La deuxième phase s'est déroulée à l'été 2002 chez 9 entreprises laitières (tableau 2). Chez chacun des participants l'expérience consistait à fertiliser un champ de graminées (3 acres environ) avec la même quantité de chlorure de calcium que l'année précédente (160 kg/ha). Des petites parcelles témoins incluses dans la grande parcelle traitée étaient recouvertes d'un plastique lors de la fertilisation et ne recevaient pas le fertilisant à base de chlore. Les champs sélectionnés pour faire partie de l'essai devaient contenir moins de 150 kg/hectare de potassium afin d'obtenir un fourrage ayant une faible teneur en potassium. Les résultats présentés au tableau 3 nous montrent que ce dernier objectif a été atteint car les échantillons contenaient environ 2 % de potassium pour les parcelles traitées et témoins. De plus, les résultats de la DACA et de la teneur en chlore des fourrages ont été significativement différents. Dans la partie traitée, la teneur en chlore a plus que doublée (non traités = 0,53 %, traités = 1,20 %) et leur DACA a diminué considérablement passant de 234 à 77 mEq/kg. Le calcium, le phosphore et le potassium ont été influencés à la hausse avec l'application de CaCl_2 .

Tableau 3. Résultats combinés des neuf essais de fertilisation au chlore (CaCl_2) pour des parcelles de graminées

Parcelles	Traitées (CaCl_2)	Témoin	Erreur type
Rendement matière sèche (kg/ha)	3633	3633	237
Protéine brute (%)	13,4	12,2	0,66
Fibre ADF (%)	29,9	29,7	0,69
Fibre NDF (%)	52,0	52,5	1,11
Calcium (%)	0,57*	0,45	0,05
Phosphore (%)	0,29*	0,27	0,01
Magnésium (%)	0,18	0,17	0,01
Potassium (%)	2,02*	1,88	0,05
Chlore (%)	1,21***	0,56	0,09
Soufre (%)	0,20	0,20	0,01
DACA (mEq/kg)	84**	232	39

* Indique que les moyennes étaient significativement différentes à un niveau P de 0,05, ** à un niveau de 0,01 et *** à un niveau de 0,001.

La troisième et dernière phase du projet a été réalisé chez Ferme Val des Bois (Jean-Luc Boisclair) de Sainte-Perpétue à l'été 2002. Le champ utilisé pour les fins de l'expérience a été subdivisé en 9 parcelles d'environ 0,75 d'hectare chacune. Un plan d'expérience entièrement aléatoire avec trois répétitions de trois traitements a été utilisé pour vérifier si le chlorure d'ammonium (NH_4Cl) pouvait être aussi efficace que le chlorure de calcium (CaCl_2) pour augmenter la teneur en chlore de fourrages. Les trois traitements étaient les suivants :

- CaCl_2 : 160 kg/ha de chlorure de calcium et 110 kg de ammonitraté calcique appliqués à la volée au printemps,
- NH_4Cl : 125 kg/ha de chlorure d'ammonium appliqué à la volée au printemps,
- Témoin : 110 kg/ha de ammonitraté calcique.

Les résultats de l'essai ont été similaires pour les deux fertilisants chlorés (tableau 4). Le niveau de chlore des fourrages produits sur ces parcelles a été augmenté significativement comparativement aux parcelles témoins. La DACA a aussi été diminuée significativement de façon substantielle.

Tableau 4. Résultats des parcelles réalisées chez Ferme Val des Bois.

Parcelles	CaCl_2	NH_4Cl	Témoin	Erreur type
Rendement matière sèche (kg/ha)	3775	3590	4155	205
Protéine brute (%)	11,8	12,0	11,9	0,37
Fibre ADF (%)	31,5	31,4	31,8	0,41
Fibre NDF (%)	53,7	55,1	54,1	0,88
Calcium (%)	0,70	0,55	0,63	0,04
Phosphore (%)	0,23	0,23	0,25	0,005
Magnésium (%)	0,22	0,19	0,19	0,01
Potassium (%)	1,51	1,51	1,55	0,06
Chlore (%)	1,07 ^a	0,85 ^a	0,29 ^b	0,12
Soufre (%)	0,15 ^a	0,17 ^b	0,15 ^a	0,004
DACA (mEq/kg)	19 ^a	73 ^a	254 ^b	37

* Les valeurs ayant une lettre différente sont significativement différente à un niveau de probabilité de 0,05 selon le test de comparaisons multiples de LSD protégé.

Il est donc possible par le biais d'une fertilisation chlorée, de produire des fourrages qui correspondent aux besoins des vaches en préparation au vêlage qui peuvent aider à prévenir l'apparition de l'hypocalcémie. Cette maladie n'a pas fini de faire des ravages dans nos troupeaux laitiers, car le problème s'accentue avec l'augmentation de production des vaches. L'utilisation d'un tel type de fourrage permet de réduire considérablement l'usage des sels anioniques, ce qui diminue le coût de la ration de préparation au vêlage tout en favorisant une meilleure consommation des vaches durant cette période de grand stress pour l'animal.

Pour terminer, voici quelques règles d'application de cette technologie à la ferme;

1. Déterminer les quantités de foin ainsi que la superficie nécessaires pour l'alimentation des vaches en prépartum (trois semaines avant le vêlage).

2. Choisir le champ qui possède ces caractéristiques :
 - a) Espèces cultivées : Brome et/ou mil.
 - b) Analyse de sol à 150 kg/ha de K et moins.
 - c) Pas d'application de lisier ou fumier après la dernière récolte de l'année précédente.
3. Fertilisation du champ pour la récolte d'un foin amélioré :
 - 90 à 150 kg/ha de 34-0-0 ou 110 à 180 kg/ha de 27,5-0-0
 - 160 kg/ha de chlorure de calcium
4. Identifier ce foin avec des cordes de couleurs différentes lors de la récolte.
5. Entreposage dans un endroit spécifique facile d'accès.

L'application de ces quelques règles devrait permettre la récolte d'un foin amélioré avec une DACA (différence alimentaire cations/anions) de 100 meq/kg et moins. Ce foin sera destiné aux vaches en prépartum et aidera à réduire l'incidence de l'hypocalcémie dans la période qui entoure le vêlage avec l'usage d'une stratégie alimentaire anionique. Il est important d'effectuer l'analyse des minéraux en chimie humide car l'utilisation de l'infra-rouge n'est pas très précise pour la prédiction de la teneur en minéraux des fourrages.

Bibliographie :

- Keith Kelling, John Peters, Mike Rankin, et Dan Undersander. 2002. Potassium in Forages .
<http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/PotassiumFOF.htm>
- Lefèvre, D., B. Allard, E. Block et W. K., Sanchez., 1999. L'alimentation en période de transition : la clé d'une lactation profitable. 23^e symposium sur les bovins laitiers. p.23.
- Thomas, E. D. 1998. How to fertilize grasses for close-up dry cows. Hoard's Dairyman. February 25, p.167.
- Thomas, E. D., C. J. Sniffen, C. J. Majewski et C. S. Ballard. 1998. Reed canarygrass response to nitrogen and chloride fertilization. <http://whminer.serverbox.net/research/reports/>
- Thomas, E.D. 1999. A new look at managing potassium levels in grasses. Hoard's Dairyman. January 25, 1999. Pp. 53.

Impact de la chaux sur les prairies et pâturages extensifs

R. Michaud¹ et A. Brunelle²

¹AAC, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures / Sainte-Foy-Normandin, 2560 boul. Hochelaga, Sainte-Foy, Qué. G1V 2J3; ²MAPAQ, 460 boul. Louis-Fréchette, 2^e étage, Nicolet, Qué. J3T 1Y2

Le Québec comporte environ 1 million d'hectares en prairies et pâturages cultivés avec une régularité acceptable. À cela, s'ajoute plus de 300 000 ha connus sous le vocable de pâturages naturels et terre à foin non cultivées. Les prairies et pâturages extensifs sont par définition peu fertilisés et probablement très rarement chaulés. L'acidité du sol affecte la productivité en réduisant l'efficacité des éléments fertilisants déjà présents dans le sol et en augmentant la disponibilité de l'aluminium et du manganèse à des niveaux parfois toxiques, une situation qui est accentuée par le mauvais drainage. Il est possible que l'acidification progressive du sol nuise au maintien des espèces désirables favorisant ainsi l'apparition d'une végétation indigène moins productive.

Le chaulage est la méthode la plus efficace pour résoudre le problème de l'acidité, du point de vue économique et agronomique. L'incorporation de la chaux au sol donne généralement de meilleurs résultats que les applications en surface. Cependant celle-ci n'est pas toujours possible en raison de la pierrosité ou autre facteur.

Nous avons posé l'hypothèse que l'application de chaux en surface, sur de vieilles prairies, aurait un impact positif d'une part, sur le rendement, la composition botanique et la valeur alimentaire du fourrage produit et d'autre part, sur l'évolution du pH et des teneurs en éléments minéraux du sol. Deux niveaux de fertilisation K ont également été évalués en combinaison avec la chaux.

Deux prairies ont été sélectionnées pour cette étude menée de 1998 à 2000. Les critères pour le choix des sites étaient : a) des prairies d'au moins cinq années ; b) une végétation au moins 90 % herbacée et c) un sol dont le pH eau était égal ou inférieur à 5,5. Un site a été établi à l'Avenir et un autre à St-Bonaventure. Les sites peuvent être caractérisés comme suit :

L'avenir : Loam schisteux de Blanford ; drainage imparfait ; pH eau de 5,6 ; pH tampon de 6,3 ; 3,8% de M.O. ; 25 kg/ha de P ; 80 kg/ha de K et de Mg ; CEC 13,22 meg/100g.

St-Bonaventure : Loam sableux de St-Sylvère ; drainage imparfait ; pH eau de 5,5 ; pH tampon de 6,2 ; 2,7% M.O. ; 348 kg/ha de P ; 260 kg/ha de K et 175 kg/ha de Mg ; CEC 14,37 meg/100g.

À chaque site, on a utilisé 7 traitements correspondant à 3 traitements de chaux (0, 3 et 6 t/ha de chaux) combinés à 2 niveaux de K (50 ou 100 kg/ha de K₂O appliqué annuellement) et une parcelle témoin ne recevant ni chaux ni potassium. Un dispositif en blocs casualisés comprenant trois répétitions a été utilisé pour un total de 21 parcelles par site. Chaque parcelle avait une superficie de 4 x 8 m. Le sol de chaque parcelle a été échantillonné à trois profondeurs (0-5, 5-12, 12-20 cm) et caractérisé pour pH eau, pH tampon, P, K, Ca, Mg, Al et CEC.

Lors des deux coupes réalisées annuellement, chaque parcelle a été récoltée par échantillonnage en utilisant deux quadrats d'une superficie totale d'environ un mètre carré par parcelle. Le rendement en matière verte a été noté et un sous-échantillon d'environ 500 g prélevé pour la détermination de la matière sèche. Ce sous-échantillon a été moulu et conservé pour fins d'analyses chimiques du fourrage (N, P, K, Mg, Ca, ADF et NDF). Un deuxième sous-échantillon représentatif de la parcelle a également été prélevé et utilisé pour déterminer la composition botanique caractérisée sur une base de matière sèche selon les proportions graminées, légumineuses et mauvaises herbes à feuilles larges.

Un sommaire des résultats est illustré aux figures présentées. Voici en résumé les points saillants :

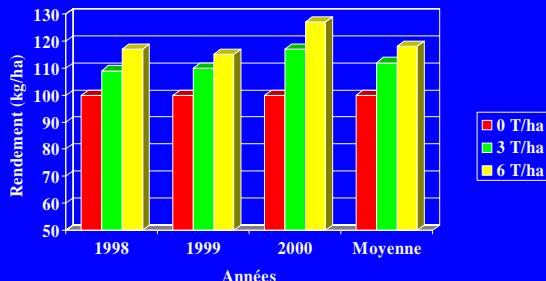
- Le chaulage et la fertilisation K ont eu un effet positif sur le rendement. L'effet a été plus marquant pour le chaulage et particulièrement à l'Avenir où il y a eu en moyenne près de 20% d'augmentation de rendement sur trois ans pour le traitement 6 T/ha de chaux.
- Il n'y a pas eu d'interaction dose de chaux X application de K.
- Au site de l'Avenir, le chaulage a contribué à réduire le pourcentage de mauvaises herbes au profit de la graminée.
- Le chaulage et la fertilisation K ont eu peu ou pas d'effets marquants sur la qualité des plantes (N, ADF, NDF et P : résultats non présentés).
- La fertilisation en K a contribué à des augmentations en K et à de légères diminutions en Ca et Mg du fourrage.
- L'application de chaux en surface a augmenté le pH et le niveau de Ca du sol. L'effet a été plus prononcé en surface (5 cm) mais il faut également souligner des augmentations au niveau de la couche 12 cm. Il y a donc une certaine migration vers le bas.
- Le chaulage a contribué à réduire le niveau d'Al mais n'a eu aucun effet sur le P, K et Mg du sol.
- Il y eu diminution du K dans le sol avec les années pour le traitement 0 K.
- Le K du sol a été augmenté avec l'apport de K et cette augmentation a été plus marquée dans les couches de sol les plus en surface.

Conclusions

Cette étude démontre les effets bénéfiques du chaulage sur les vieilles prairies. La fertilisation K est importante mais ne peut résoudre tous les problèmes de production. La fertilisation K a augmenté ou du moins limité la baisse de K dans le sol mais il faut retourner au sol ce qui a été prélevé par la plante.

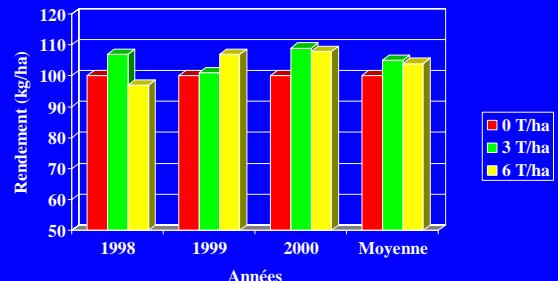
La chaux n'est pas un substitut aux engrains mais un produit de base qui améliore les conditions chimiques et physiques du sol. Une déficience de chaux est un facteur qui limite la capacité de production et la rentabilité des investissements dans les engrains.

Effet de la chaux sur le rendement - L'Avenir (en % du traitement 0 T/ha)



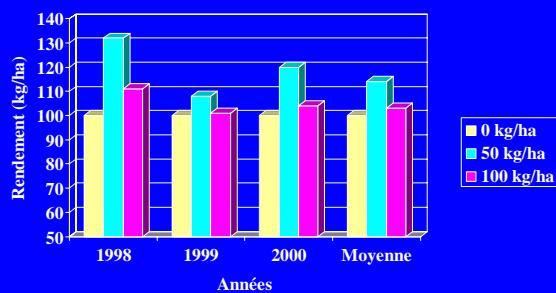
Augmentation moyenne de rendement jusqu'à 20 %

Effet de la chaux sur le rendement - St-Bonaventure (en % du traitement 0 T/ha)



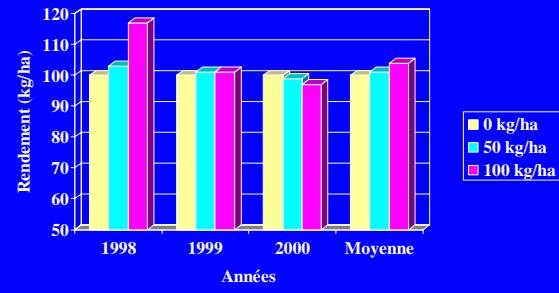
Augmentation moyenne de rendement de 4 - 5 %

Effet du K sur le rendement - L'Avenir (en % du traitement 0 kg/ha)



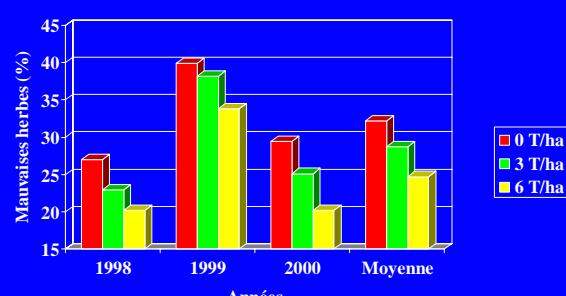
Pas d'interaction chaux x K
K n'est pas le facteur limitant

Effet du K sur le rendement - St-Bonaventure (en % du traitement 0 kg/ha)



Pas d'interaction chaux x K
Effets significatifs de K en 1998 seulement

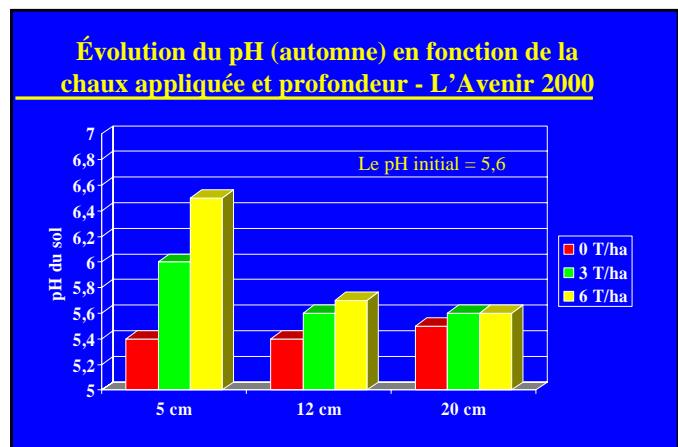
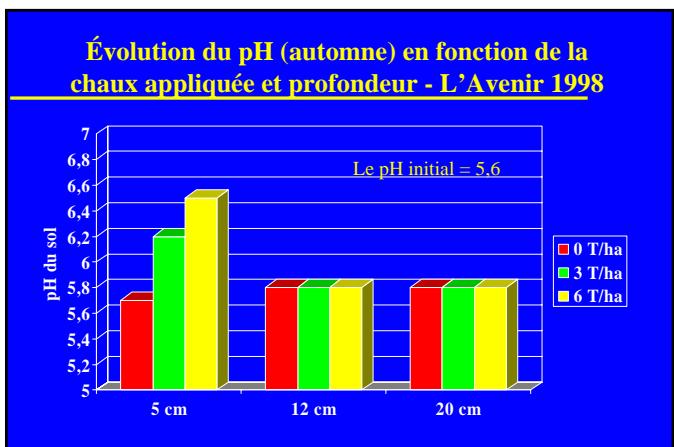
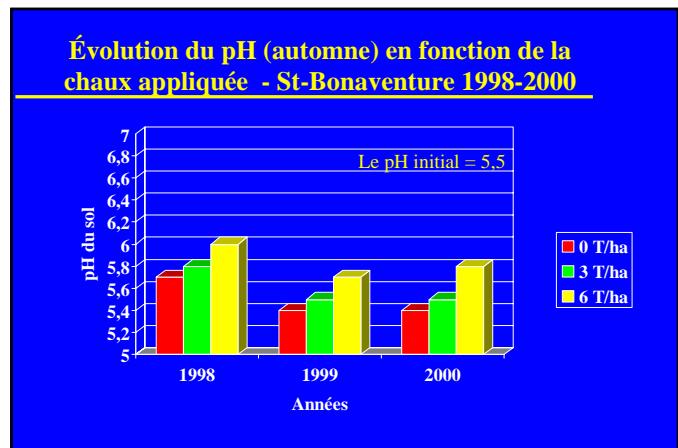
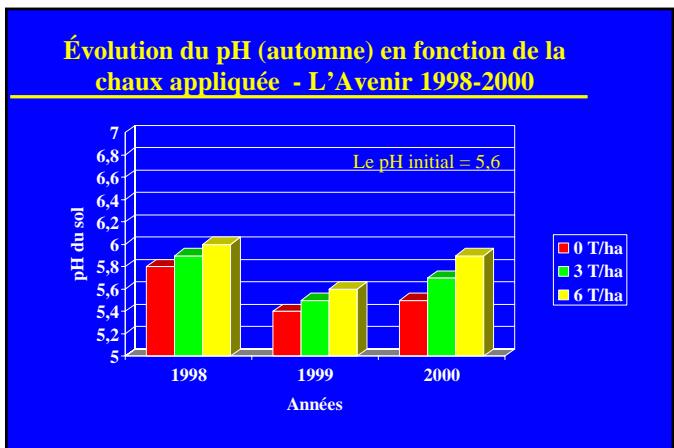
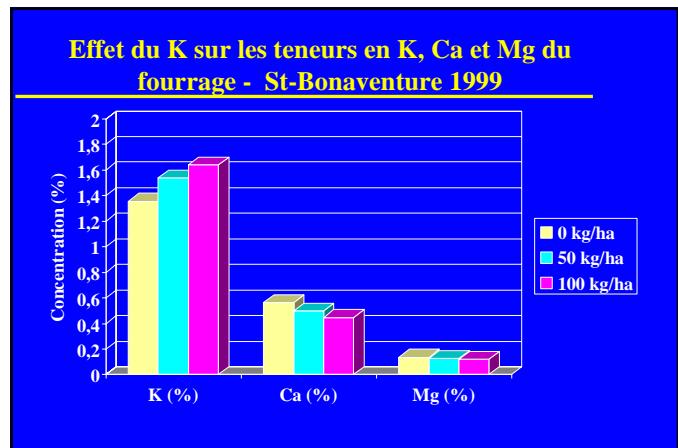
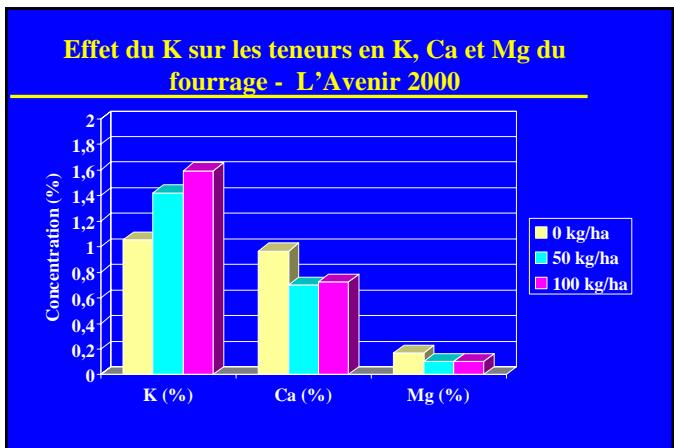
Effet de la chaux sur le pourcentage de mauvaises herbes - L'Avenir 1998-2000

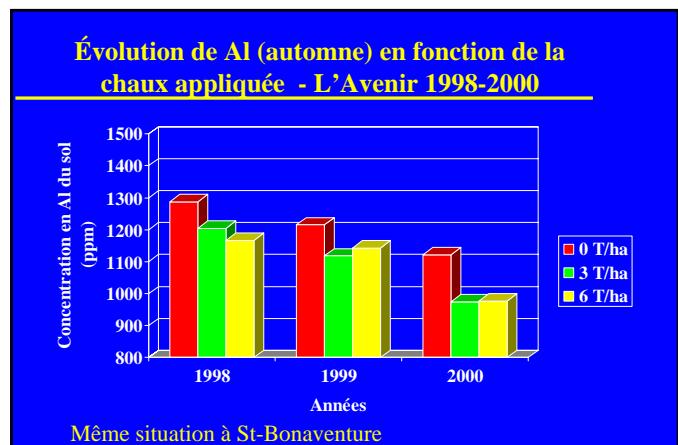
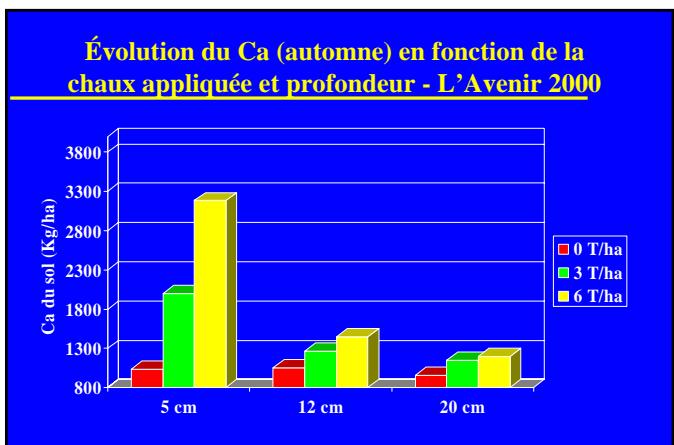
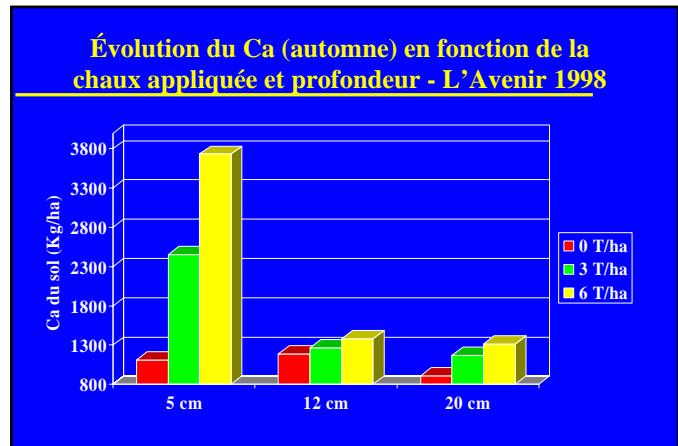
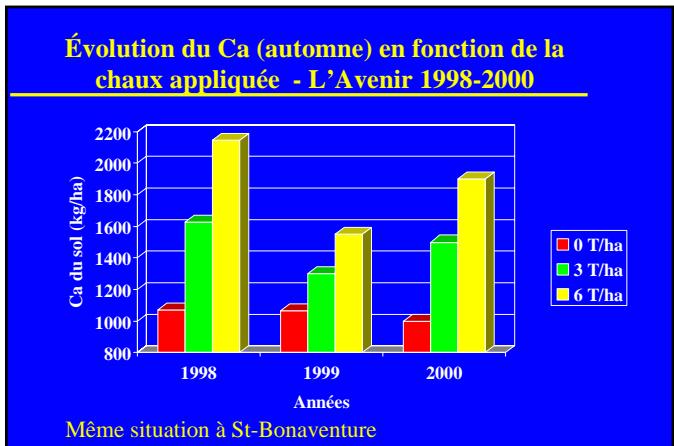
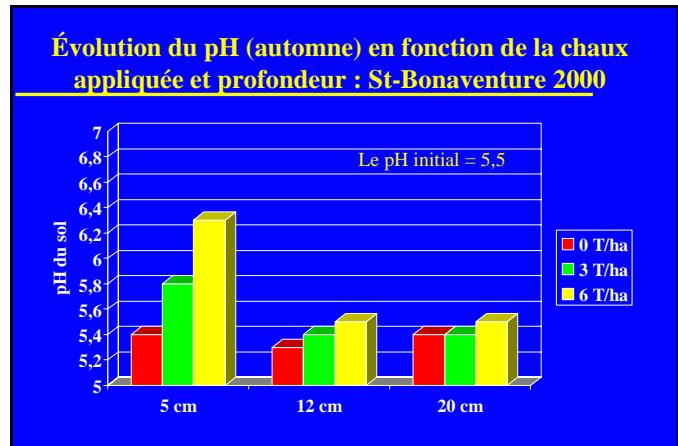
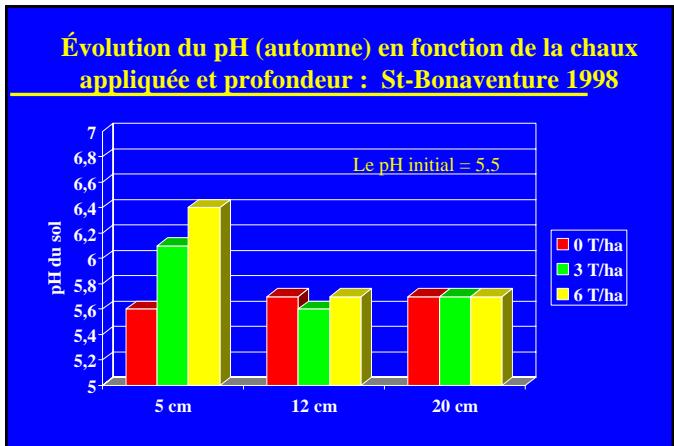


Teneurs en % de P, K, Ca et Mg dans les fourrages - 2 sites, 3 années

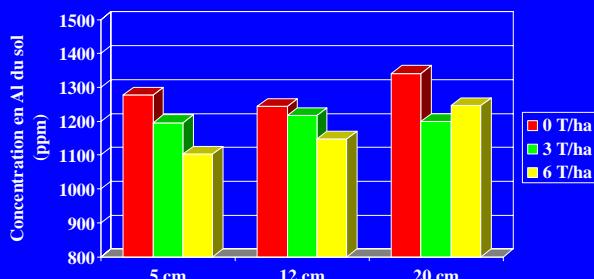
		P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
L'Avenir	1998	0,12	1,49	1,29	0,13
	1999	0,11	1,41	0,92	0,12
	2000	0,10	1,44	0,75	0,11
St-Bonaventure	1998	0,21	2,03	0,39	0,08
	1999	0,18	1,55	0,49	0,13
	2000	0,22	1,97	0,35	0,11

Très faibles teneurs en P aux 2 sites et en K au site de l'Avenir

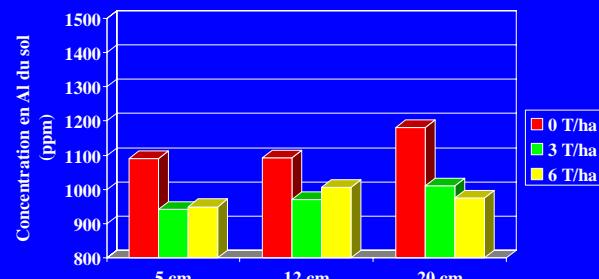




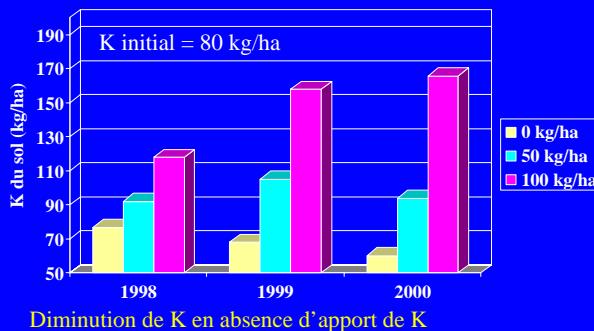
Évolution de l'Al (automne) en fonction de la chaux appliquée et profondeur - L'Avenir 1998



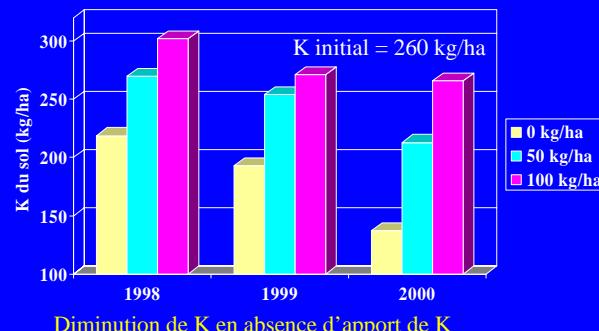
Évolution de l'Al (automne) en fonction de la chaux appliquée et profondeur - L'Avenir 2000



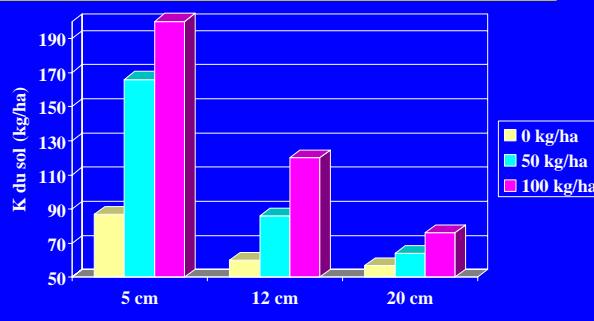
Évolution du K du sol (automne) en fonction du K appliqué - L'Avenir 1998-2000



Évolution du K du sol (automne) en fonction du K appliqué - St-Bonaventure 1998-2000



Évolution du K du sol (automne) en fonction du K appliqué et profondeur - L'Avenir 1999



MERCI

L'Association des Producteurs de
Pierre à Chaux du Québec

SynAgri (Nutrite)
Conceptra
MAPAQ
Agriculture et Agroalimentaire Canada -
Programme PPFI

Développement d'un séchoir prototype à grosses balles rectangulaires

Sébastien Descôteaux¹ et Philippe Savoie¹

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Sainte-Foy, QC, G1V 2J3

Le séchage artificiel permet de limiter l'exposition des fourrages à la pluie en diminuant la période de fanage au champ. Une exposition limitée au soleil améliore aussi la couleur et la composition chimique du foin. Le séchage artificiel est traditionnellement fait par une ventilation avec de l'air ambiant à travers du foin en petites balles carrées de faible densité. Typiquement, le foin est récolté en petites balles à une teneur en eau entre 25 et 30%; celle-ci est abaissée à une teneur en eau entre 15 et 20% en 4 à 6 semaines. Un tel séchage fonctionne bien pour l'autoconsommation où un tri est facile à faire entre les balles d'excellente qualité et celles qui seraient légèrement détériorées. Cependant dans une optique de foin de commerce où la présence de moisissures est inacceptable et où la densité doit être élevée afin de minimiser les frais de transport, cette technique n'est pas sans défaut.

L'objectif de ce projet de recherche est de développer un séchoir à grosses balles rectangulaires capable de sécher des balles d'une teneur en eau de 25 à 30% jusqu'à 10 à 15% en moins de 24 heures. Ce séchoir doit être efficace énergétiquement et avoir un coût de construction viable économiquement.

2001, Expérience #1

Durant l'été 2001, quatre (4) mini séchoirs ont été construits. Ces séchoirs consistaient en une colonne de séchage de 875 mm de hauteur avec une section carrée de 406 mm de côté. L'air chauffé par des éléments électriques était soufflé par un ventilateur centrifuge. Chaque séchoir était instrumenté de manière à mesurer la température à l'entrée et la sortie de la colonne de séchage de même qu'à six (6) hauteurs dans la colonne de séchage. Chaque mini-balle était séchée pendant environ 48 heures. À la fin du séchage, un échantillon représentatif de chacune des six hauteurs dans la colonne était prélevé afin de déterminer la teneur en eau finale.

L'analyse des résultats a indiqué que, lors du séchage, la chaleur sensible se transformait en chaleur latente par l'évaporation de l'eau dans le fourrage. Lorsque la densité de la balle augmentait, le gradient de température entre les couches de la balle augmentait. Le gradient de température était directement corrélé au gradient de teneur en eau; plus le gradient était élevé, plus la teneur en eau dans la balle variait. Le même effet a été observé avec la température; plus la température de l'air de séchage était élevée, plus la différence de teneur en eau entre les couches de la balle était élevée. On peut trouver une description plus détaillée de l'expérience 2001 dans la communication présentée par Descôteaux et al. (2002).

2001, Expérience #2

Afin de mesurer la variation de la teneur en eau dans le temps, des expériences de séchage ont été réalisées avec dix (10) plateaux superposés contenant chacun une couche de 5 cm de fourrage compressé entre deux grillages. Ces plateaux remplaçaient la colonne de séchage originale des minis séchoirs de l'expérience #1. En pesant les plateaux à intervalle régulier, il était donc possible de mesurer la teneur en eau dans le temps.

Cette expérience a permis de faire le lien entre la teneur en eau à l'équilibre du fourrage et les propriétés de l'air (humidité absolue et température). Les résultats ont indiqué que le sur-séchage était inévitable lorsque l'air chaud était soufflé dans une seule direction à travers la masse de foin. Lorsque l'air chaud était soufflé à partir du bas de la colonne, la couche inférieure devenait très sèche (4 à 6% de teneur en eau) avant que la couche supérieure n'atteigne la teneur en eau souhaitée, habituellement de 12%.

2002, Séchoir prototype à Normandin

Un séchoir prototype a été construit à la ferme de recherche de Normandin au Lac St-Jean. Ce séchoir peut sécher une ou deux rangées de six balles de section de 0,81 m x 0,89 m et d'une longueur de 2,29 m. Le séchoir est équipé d'un système de vannes permettant l'inversion de la direction de circulation de l'air. Le flux d'air peut donc circuler du haut vers le bas ou du bas vers le haut suivant la position des vannes. L'air est aspiré à l'intérieur d'un brûleur au propane pour y être chauffé et passe par la suite dans la masse de foin pour ressortir du séchoir par le ventilateur. L'étanchéité entre les parois latérales du séchoir et le fourrage est obtenue par un film plastique (polyéthylène) qui se déforme et se colle sur les balles à cause de la succion créée par le ventilateur. Un système électronique contrôle la température, le débit et les vannes de direction de l'air dans le séchoir.

Les essais réalisés durant l'été 2002 ont permis d'étudier l'influence de la hauteur de foin dans le séchoir (nombre de rangées de balles) et l'effet de l'inversion du flux d'air. Les résultats ont montré jusqu'ici qu'il est possible d'abaisser la teneur en eau de 10 unités de pourcentage en vingt-quatre heures ou moins. L'inversion du sens de ventilation a permis d'obtenir une teneur en eau finale plus uniforme.

Le séchoir étant maintenant bien rodé, il sera utilisé durant la saison estivale 2003 de manière à en améliorer l'efficacité énergétique. Les principaux facteurs à optimiser sont le débit et la température de l'air, de même que la fréquence de changements de la direction du flux d'air. Le but recherché est une teneur en eau finale la plus uniforme possible, avec une demande énergétique la plus faible possible.

Référence

Descôteaux, S., Y. Tremblay et P. Savoie. 2002. Séchage en grange de balles de foin denses. Pages 36-44. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, Victoriaville, le 7 février. Conseil québécois des plantes fourragères, Sainte-Foy, Québec.

Caractérisation des ensilages d'herbes produits au Québec

Carole Lafrenière^{*1} et Robert Berthiaume²

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ferme de recherche sur le bovin de boucherie, C.P. 160, Kapuskasing, Ont., P5N 2Y3; ²Centre de recherche et de développement sur la vache laitière et le porc, C.P. 90, Lennoxville, QC, J1M 1Z3.

Introduction

La conservation sous forme d'ensilage peut modifier le potentiel nutritionnel des fourrages. Durant le processus d'ensilement, plusieurs réactions sont inévitables dont la solubilisation de la protéine et ce de façon plus ou moins intense. Ces changements ont un impact majeur sur la synthèse microbienne ruminale. Ceci pourrait expliquer pourquoi deux fourrages aux caractéristiques nutritionnelles identiques donnent des performances animales différentes. Le plein potentiel des ensilages est donc rarement exploité. L'objectif de cet essai était de caractériser la protéine des ensilages produits au Québec selon le CNCPS de Cornell.

Matériels et méthodes

Des échantillons d'ensilages des saisons 1999 et 2000 ont été prélevés lors de la visite des contrôleurs du PATLQ sur différentes entreprises agricoles du Québec. D'autres échantillons ont été prélevés sur différentes fermes de l'Abitibi-Témiscamingue pour s'assurer de couvrir toute la gamme potentielle de teneur en matière sèche. Au total, 265 échantillons d'ensilages d'herbes ont été recueillis. Ces échantillons ont été congelés et acheminés au laboratoire. La répartition des échantillons selon la composition botanique et le type de silo est consignée au tableau 1. La composition botanique a été déterminée à l'aide du questionnaire que les propriétaires ont accepté de répondre et de l'équation 2 de Allard *et al.* (2001).

Tableau 1. Répartition des échantillons d'ensilage d'herbes selon le type de silo et la composition botanique.

Composition botanique	Silo-tour	Silo horizontal ^z	Balles rondes	Silo atmosphère contrôlé
Luzerne	24	0	19	4
Mélange luzerne	27	1	16	3
Trèfle rouge	3	3	16	0
Mélange trèfle rouge	13	7	10	0
Graminée	34	31	51	1
Total	101	42	112	8

^z Les silos horizontaux incluent aussi les silos-meules.

L'extraction des sucres solubles a été faite par agitation de 100 mg de fourrage sec dans 25 ml d'eau distillée pendant 1 heure. Cette suspension a été filtrée par gravité. Les sucres solubles ont été mesurés sur le filtrat par la méthode au phénol/acide sulfurique de Dubois *et al.* (1956). Les fibres ADF, NDF et l'ADL (lignine) ont été faites selon Goering et Van Soest (1970) en utilisant un appareil ANKOM. L'azote insoluble (tampon borate/phosphate) a été déterminé selon la méthode de Licitra *et al.* (1996) en utilisant l'appareil ANKOM. L'azote total de même que l'azote résiduel (ADF-protéines, NDF-protéines et tampon borate/phosphate-protéines) ont été déterminés selon la méthode 7,022 de l'AOAC (1980). Le pourcentage de protéines a été calculé en multipliant les valeurs d'azote (N) par 6,25. Les fractions azotées ont été calculées selon Block 1992 et Sniffen *et al.* (1992). Le pH de l'ensilage a été déterminé après 30 minutes de macération de 25 g d'ensilage dans 50 ml d'eau distillée.

Les ensilages (241) ont ensuite été caractérisées en utilisant la procédure FASTCLUSTER de SAS (1996). Un nombre limite de trois « clusters » a été imposé. Les paramètres nutritionnels et de conservation suivants ont été utilisés : les fractions AB1, B2, B3 et C, la lignine, les sucres solubles résiduels et le pH. Le test du Chi-deux a été utilisé pour vérifier la distribution des trois *clusters* par rapport à certaines variables qui pourraient expliquer les résultats des profils dont le type de silo, la composition botanique, l'ajout ou pas d'additif à ensilage et la matière sèche laquelle a été différenciée selon quatre (4) classes ($MS \leq 35\%$; $35\% < MS \leq 40\%$; $40\% < MS \leq 45\%$; $MS > 45\%$).

Résultats

Des différences significatives ont été observées entre les *clusters* pour chacune des caractéristiques nutritionnelles et pour le pH (tableau 2). D'un point de vue nutritionnel pour l'animal, le *cluster 1* apparaît meilleur que le *cluster 2* parce que le total des fractions azotées AB1 + B2 a été plus faible (tableau 2). Par contre, la fraction C du *cluster 1* de même que la lignine ont été supérieures à ce qui a pu être observé pour le *cluster 2* (tableau 2) indiquant un effet potentiellement négatif sur la digestibilité des ensilages. Les teneurs en sucres solubles ont été beaucoup plus élevées pour le *cluster 2* comparativement au *cluster 1* (tableau 2). Ceci pourrait se traduire par une meilleure productivité animale même si l'addition des fractions AB1 + B2 a été supérieure à celles du *cluster 1* (tableau 2). Le *cluster 2* a donc été classé « meilleur ». Quant au *cluster 3*, le total des fractions AB1 + B2 a été les plus élevés des trois *clusters* alors que la fraction B3 a été la plus faible (tableau 2). Toutefois, à cause d'une fraction C et d'une teneur en lignine plus faible que celle du *cluster 1*, le *cluster 3* a été classé « moyen ». Conséquemment, le *cluster 1* a été classé « faible ».

Le test du Chi-deux a été significatif ($P \leq 0,0001$) pour toutes les variables indiquant que leur distribution a été différente pour les *clusters*. Ainsi, le « meilleur » *cluster* (*cluster 2*) a été caractérisé par des ensilages de balles rondes dans une proportion de 88%; par une teneur en matière sèche de plus de 45% dans 84% des cas. Il faut cependant spécifier que l'ensilage de balle ronde n'a pas toujours donné les mêmes résultats puisqu'un nombre équivalent d'ensilage de balles rondes se retrouve dans le *cluster* « moyen ». Il est cependant possible que ces résultats puissent être expliqués par une teneur en matière sèche supérieure à 45% puisque la protéolyse diminue avec l'augmentation de la matière sèche (Jaster 1995). Quant à la composition botanique, les graminées et la luzerne ont représenté les proportions les plus élevées du *cluster 2*.

avec 33% et 27% respectivement. Moins de 20% des ensilages ont été classés dans ce *cluster* dit « meilleur ».

Tableau 2. Profil nutritionnel et pH de chacun des *clusters* d'ensilages d'herbes.

Paramètres	cluster 1	cluster 2	cluster 3
N ^z	34	45	162
----- % protéine brute -----			
A + B1	30,3 b ^y	21,9 c	40,7 a
B2	20,5 c	37,1 a	29,1 b
B3	25,6 a	23,7 a	14,1 b
C	23,8 a	17,2 b	16,2 b
----- % MS -----			
Lignine	7,3 a	6,0 b	6,1 b
Sucres solubles	3,9 b	7,0 a	3,1 b
pH	4,7 b	5,2 a	4,5 c

^z N= nombre d'ensilages d'herbes.

^y Les moyennes sur une même rangée suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes selon LSMEANS ($\alpha = 0,05$).

Le cluster « moyen » a été celui qui a regroupé le plus d'ensilages avec 67% de ceux-ci. Ces ensilages ont été majoritairement entreposés en silo-tour (89%). Par ailleurs, 46% des ensilages de ce groupe étaient des graminées. La fraction AB1 a été la plus élevée parmi les trois clusters (tableau 2) indiquant une fermentation lente. Cette observation est d'autant plus surprenante que 42% des ensilages avaient reçu des additifs à ensilage de type inoculant. L'ajout de bactéries lactiques devrait accélérer la diminution du pH et ainsi diminuer la protéolyse ce qui ne semble pas le cas.

Pour le *cluster* « faible » aucun type de silo n'a eu de prédominance. Par contre, la composition botanique de ce *cluster* a été dominée par les graminées, le trèfle rouge et le mélange des deux espèces. Ce qui a distingué ce *cluster* des autres a été principalement la fraction C dont la moyenne a dépassé les 20% de la protéine brute (tableau 2) indiquant que ces ensilages avaient « chauffé ». Bien que la fraction C ait été très élevée pour le *cluster 1*, elle a aussi été élevée pour les autres *clusters*. Ces observations ont soulevées beaucoup de questions d'autant plus que le problème semble assez généralisé. 79% des ensilages avaient plus de 15% d'azote lié à la fibre. Il est cependant difficile de croire que le « chauffage » de ces échantillons ait eu lieu durant leur

transport au laboratoire. Les échantillons ont été prélevés majoritairement durant l'hiver et ont été congelés pour leur envoi au laboratoire. À leur arrivée, les échantillons ayant décongelé ont été notés et n'ont pas été inclus à la banque de données.

Conclusion

Ces travaux ont permis une première ébauche pour classer les ensilages d'herbes sur une base nutritionnelle. Ces résultats sont intéressants mais il faudrait tester ces profils sur des animaux pour voir les performances. Il faudrait aussi ajouter à ces profils protéiques, les hydrates de carbone. Ces profils protéiques ont aussi indiqué un problème de « chauffage ». La fraction C a été élevée et cela indique que les ensilages ont « chauffé ». Des efforts de recherche et de vulgarisation devront être consacrés pour régler ce problème de régie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la Fédération des producteurs de bœuf du Québec et le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec pour leur appui financier au projet. Ils tiennent aussi à remercier les contrôleurs PATLQ qui ont échantillonné les silos de même que Mesdames Marcelle Mercier, Andrée Lebel, Mélanie Gilbert et Sandra Martel pour le travail d'analyse des échantillons.

RÉFÉRENCES

- Allard, G., Brégard, A., Gosselin, B et Pellerin, D. 2001. Proportion de légumineuses dans les fourrages? Des équations pour la calculer. Pages 22-24 *in* Comptes rendus des conférences. Demi-journée d'informations scientifiques sur les fourrages. Comité des plantes fourragères (CRAAQ) et Conseil Québécois des Plantes fourragères. Victoriaville, QC.
- AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official analytical Chemists. 1980.
- Block, E. 1992. Formulation of rations for dairy cows for amino acids absorbed post-ruminally. Compte-rendu du 2^{ième} Colloque de Zootechnie, Université Laval, Cité Universitaire, Ste-Foy, QC.
- Dubois, M.G., Hamilton, K.A., Rebers, P.A. et Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Anal. Chem. 28: 350-356.
- Goering, H. K. et Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis. Agriculture Handbook 379, U.S. Department of Agriculture. 19 pages.
- Jaster, E. H. 1995. Legume and grass silage preservation. Pages 91-115 *in* CSSA Special publication no. 22. Post-Harvest physiology and preservation of forages. Madison, Wisconsin.
- Licitra, G. Hernandez, T. M. et Van Soest, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionnnation of ruminant feeds. Ani. Feed Sci. Technol. 57: 347-358.
- Sniffen, C.J. O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G. et Russell, J. B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diet: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70: 3562-3577.

Ensilabilité et qualité du trèfle d'Alexandrie (*T. alexandrinum*)

Christian Gonthier¹, Arif F. Mustafa¹, et Philippe Séguin²

¹Département de Sciences Animales et ²Département de Phytologie, Campus Macdonald de l'Université McGill, 2111 Lakeshore Rd., Ste-Anne-de-Bellevue (QC) H9X 3V9

Une étude a été menée afin de déterminer l'ensilabilité et l'utilisation des nutriments de l'ensilage de trèfle d'Alexandrie (ETA) par les ruminants. Les caractéristiques d'ensilabilité ont été déterminées en ensilant les fourrages dans des mini-silos pour 0, 2, 4, 8, 16 et 70 jours. Deux vaches Holstein en lactation ayant chacune une canule ruminale ont été utilisées pour déterminer la dégradabilité des nutriments dans le rumen alors que six bœufs agneaux ont été utilisés pour déterminer la digestibilité dans le système digestif total. L'utilisation des nutriments dans le rumen et dans le système digestif total de l'ETA a été comparée avec celle de l'ensilage de luzerne (EL). Les résultats montrent que l'ETA a subi une fermentation rapide comme le montre la réduction significante ($P < 0,05$) du pH durant les 2 premiers jours post-ensilage. La majorité des activités protéolytiques ont eu lieu entre le jour 0 et le jour 2 comme l'indique la réduction ($P < 0,05$) en protéines réelles et en protéine insoluble dans le détergent neutre et l'augmentation ($P < 0,05$) en azote non-protéique. Relativement à l'EL, l'ETB a eu une dégradabilité ruminale similaire pour ce qui est de la matière sèche (MS), une dégradabilité des protéines brutes (PB) inférieure, et une dégradabilité des fibres au détergent neutre (FDN) supérieure ($P < 0,05$). Relativement à l'EL, l'ETB a eu une digestibilité dans le système digestif total supérieure ($P < 0,05$) pour la MS (70,7 vs. 66,0%), pour la matière organique (71,5 vs. 65,9%), pour les FDN (65,6 vs. 54,5%), pour les fibres au détergent acide (64,6 vs. 54,6) et pour l'énergie brute (69,6 vs. 64,0%), mais une digestibilité dans le système digestif total inférieure ($P < 0,05$) pour les PB (69,2 vs. 75,9%). Ces résultats suggèrent donc que l'ETA pourrait remplacer l'EL comme source de fourrage pour les ruminants.

Qualité de conservation de l'ensilage de maïs protégé avec un bioenrobage

André Amyot¹, Patrick Denoncourt², Blaise Ouattara² et Monique Lacroix²

¹Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement, 120-A Chemin du Roy, Deschambault, Québec, Canada, G0A 1S0. Tel (418) 286-3351 poste 231, Fax (418) 286-3597, andre.amyot@irda.qc.ca; ²Centre de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie, Centre d'Irradiation du Canada, INRS-Institut Armand-Frappier, 531 Boulevard des Prairies, Laval, Québec, Canada, H7V 1B7. Tel (450) 687-5010 poste 4489, Fax (450) 687-5792, monique.lacroix@inrs-iaf.quebec.ca

Le film de polyéthylène convient bien pour protéger l'ensilage. Cependant son application sur l'ensilage demande beaucoup de travail et la disposition du polyéthylène est devenue un problème environnemental. L'utilisation d'un film comestible qui fournirait une bonne protection contre l'infiltration d'air et pourrait être mêlé à l'ensilage lors de l'alimentation constitue une alternative au film plastique. L'objectif de cette expérience était d'évaluer, dans un environnement naturel, deux enrobages biodégradables, l'un à base de protéine de soya et l'autre à base de caséine, comme matériel de recouvrement pour protéger l'ensilage de maïs.

Trente deux seaux d'une capacité de 30 litres ont été remplis avec environ 16 kg d'ensilage de maïs (39% MS), en couches successives [0-13 cm (S), 13-26 cm (I) et 26-38 cm (P)] séparées par des moustiquaires de plastique pour faciliter la séparation des couches après la période de conservation. L'ensilage a été compressé à une densité moyenne de 200 kg MS/m³. La couche de surface a été couverte avec l'un des traitements suivants : 1- Aucune couverture (témoin négatif), 2- Film de plastique de 150 µm (témoin positif), 3- Bioenrobage A (à base de protéine de soya) et 4- Bioenrobage B (à base de caséine). Deux couches de bioenrobage ont été appliquées sur les ensilages des traitements 3 et 4, la première avec le produit sous forme de pâte et la seconde avec le même produit sous forme liquide (après chauffage), pour un taux combiné d'application de 14 kg/m². La moitié des seaux ont été ouverts après 4 semaines et l'autre moitié après 8 semaines d'entreposage. Les évaluations ont porté sur les caractéristiques générales de l'ensilage (teneur en MS, perte de MS, chauffage et moisissures) de même que sur les différents paramètres de la fermentation et quelques paramètres de la valeur nutritive (tableau 1).

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Après 8 semaines d'entreposage à l'extérieur, l'ensilage de maïs recouvert de plastique a été complètement exempt de moisissures et a présenté une teneur en matière sèche (37,95% en moyenne), une production de chaleur (-5,52°C) et une perte de matière sèche (4,58% en moyenne) assez homogènes à toutes les profondeurs.

Quant à l'ensilage laissé à découvert, sa teneur en matière sèche a été beaucoup plus faible que celle de l'ensilage sous plastique (21,45% vs 37,95% en moyenne). De plus, contrairement à ce qui a été observé dans l'ensilage sous plastique, le développement des moisissures (1,50, 0,88 et 0,25 dans les couches S, I et P), la production de chaleur (214,4°C, 139,3°C et 20,3°C) et la perte de matière sèche (34,27%, 17,91% et 4,68%) ont été beaucoup plus prononcés dans les couches S et I qu'en profondeur. Cela indique que l'infiltration d'eau a affecté

l'ensemble du silo alors que l'infiltration d'air a affecté principalement les couches S et I (0 à 26 cm).

Tableau 1. Effet des bioenrobages sur les caractéristiques de l'ensilage de maïs entreposé à l'extérieur, pour l'ensemble du silo (0-38 cm)

Critère	Couverture				Probabilité d'une différence significative (1)		
	Témoin	Plastique	Bioenro-bage A	Bioenro-bage B	Bio. A et B vs Témoin	Bio. A et B vs Plastique	Bio. A vs Bio. B
4 semaines							
Teneur en MS (%)	23,33	38,63	37,25	37,87	**	NS(T)	NS
Moisissures (0-5)	1,29	0	0	0	**	NS	NS
Perte de MS (%)	18,15	4,33	5,12	4,53	**	NS	NS
PH	5,75	4,01	4,3	4,45	**	NS(T)	NS
8 semaines							
Teneur en MS (%)	21,45	37,95	34,35	33,47	**	**	NS
Moisissures (0-5)	0,88	0	0	0	**	NS	NS
Chauffage (°C)	124,69	-5,52	26,12	35,03	**	**	NS
Perte de MS (%)	18,95	4,58	6,88	7,13	**	NS(T)	NS
PH	5,35	3,96	5,22	5,30	NS	**	NS
Acide lactique (%)	1,55	3,39	1,41	1,27	NS	**	NS
Acide acétique (%)	0,64	0,91	0,39	0,37	*	**	NS
Acide propionique (%)	0,39	0,25	0,28	0,26	NS(T)	NS	NS
Sucres solubles (%)	0,60	2,02	1,43	1,24	**	**	NS
Azote ammoniacal (éq. PB) (%)	0,29	0,37	0,20	0,19	**	**	NS
Protéine brute (%)	8,48	7,33	7,83	7,80	**	*	NS
Protéine liée (%)	0,72	0,53	0,57	0,58	*	NS	NS
ADF (%)	26,09	24,13	24,09	24,25	*	NS	NS
NDF (%)	44,60	40,88	41,62	42,08	*	NS	NS
Cendres (%)	3,31	3,14	3,22	3,16	NS	NS	NS

(1) ** = probabilité < 0,01; * = probabilité < 0,05; NS = différence non significative; NS(T) = 0,05 < probabilité < 0,10

Les ensilages protégés avec les bioenrobages A et B ont quant à eux présenté, pour l'ensemble du silo, une teneur en matière sèche (34,35% et 33,47% en moyenne) un peu plus faible que l'ensilage sous plastique (37,95%) mais beaucoup plus élevée que l'ensilage témoin (21,45%). Cela semble la conséquence d'une légère infiltration d'eau. De plus la perte de matière

sèche (6,88% et 7,13% en moyenne) a été beaucoup plus faible que dans l'ensilage témoin (18,95% en moyenne) et non significativement différente de celle observée dans l'ensilage sous plastique (4,58% en moyenne). Cela indique que l'étanchéité à l'air a été maintenue pendant presque toute la durée d'entreposage. La production de chaleur (26,12°C et 35,03°C) a été seulement un peu plus élevée que dans l'ensilage sous plastique (-5,52°C) et beaucoup plus faible que dans l'ensilage témoin (124,69°C). De plus cet ensilage ne comportait aucune moisissure tout comme l'ensilage sous plastique alors que le témoin en comptait un peu (0,88). Cela démontre aussi l'efficacité des bioenrobages à protéger l'ensilage contre l'infiltration d'air. De plus, pour chacun de ces paramètres, la variation en fonction de la profondeur a été relativement faible, généralement comparable à celle observée dans l'ensilage sous plastique et beaucoup plus faible que dans l'ensilage témoin.

FERMENTATION

Après 8 semaines d'entreposage à l'extérieur, l'ensilage de maïs recouvert de plastique a présenté une qualité de fermentation assez homogène à toutes les profondeurs. En effet, cet ensilage a subi une fermentation complète, tel qu'indiqué par son pH (3,96 en moyenne). Ses teneurs en acide lactique (3,39% en moyenne) et en acide acétique (0,91% en moyenne) sont caractéristiques d'une fermentation homolactique. La production d'azote ammoniacal (0,37% éq. PB en moyenne) a aussi été relativement homogène à toutes les profondeurs mais la teneur en sucres résiduels a été plus faible en surface (0,92%, 2,27% et 2,86% dans les couches S, I et P), probablement à cause de la moindre compaction de la couche de surface.

Quant à l'ensilage laissé à découvert, on y a observé une forte altération et une réduction importante de la fermentation dans les couches S et I (0 à 26 cm). En effet, un pH alcalin a été mesuré à ces profondeurs (6,27 et 5,82 respectivement), ainsi qu'une très faible teneur en acide lactique (0,12% et 0,68%) et en acide acétique (0,27% et 0,42%). Le contenu en azote ammoniacal (0,22% et 0,27% éq. PB) de cet ensilage est quand même significatif puisque la protéolyse est favorisée par un pH près de la neutralité. De plus la respiration intense et la croissance des moisissures se sont traduits par l'utilisation d'à peu près tous les sucres disponibles dans les couches S et I (0,23% et 0,03%). Plus en profondeur (couche P : 26-38 cm), on observe un pH acide (3,96) et une production d'acide lactique (3,86%) caractéristiques d'une bonne fermentation. Les teneurs en acide acétique (1,22%), en azote ammoniacal (0,39% éq. PB) et en sucres solubles (1,53%) sont aussi plus élevées que dans les couches superficielles. Les teneurs un peu plus élevées en acide lactique (3,86% vs 3,51%) et surtout en acide acétique (1,22% vs 0,84%) que dans l'ensilage recouvert de plastique sont dues principalement à la teneur en matière sèche plus faible de l'ensilage témoin.

Ainsi la fermentation de l'ensilage témoin a été marquée par deux facteurs principaux. Dans la couche P, la plus faible teneur en matière sèche résultant de l'infiltration d'eau a été le facteur prépondérant et a favorisé une fermentation plus poussée et plus hétérolactique que celle observée dans l'ensilage sous plastique à la même profondeur. Par contre, dans les couches S et I, l'épuisement des sucres résultant d'une respiration intense a annulé l'effet d'une teneur en matière sèche plus faible et a limité énormément la fermentation mais beaucoup moins la protéolyse.

Les bioenrobages A et B ont donné, pour l'ensemble du silo, un ensilage avec des teneurs en acide lactique, en acide acétique, en azote ammoniacal et en sucres solubles plus faibles et un pH plus élevé que l'ensilage sous plastique. Ces différences sont dues au fait que, contrairement à l'ensilage sous plastique, les ensilages protégés avec les bioenrobages ont présenté un contenu

beaucoup plus faible en acide lactique, en acide acétique et en azote ammoniacal et un pH beaucoup plus élevé dans les 26 premiers cm (couches S et I) qu'en profondeur. Par contre, en ce qui concerne la teneur en sucres solubles, on observe le même gradient entre les couches dans l'ensilage sous plastique et dans celui couvert avec les bioenrobages.

Les bioenrobages A et B ont par ailleurs donné, pour l'ensemble du silo, un ensilage avec une teneur en acide lactique et un pH comparables au témoin, des teneurs en acide acétique et en azote ammoniacal plus faibles que le témoin et une teneur en sucres résiduels plus élevée que le témoin. Ces différences sont dues au moins en partie au fait que, contrairement à l'ensilage témoin, les ensilages protégés avec les bioenrobages ont présenté :

1° une teneur en sucres solubles plus élevée dans les couches I et P, conséquence d'une infiltration d'air moins en profondeur.

2° des teneurs en acide lactique et en acide acétique moins élevées dans la couche P, conséquence d'une moindre infiltration d'eau. En effet, dans l'ensilage témoin, l'infiltration d'eau a fait baisser la teneur en matière sèche de l'ensilage, ce qui a activé la fermentation dans la couche P mais pas dans les couches S et I dont les sucres ont été épuisés par une respiration intense.

3° une teneur en azote ammoniacal moins élevée dans toutes les couches, conséquence d'une moindre infiltration d'eau. En effet la dégradation de la protéine dépend directement de la teneur en matière sèche et seulement indirectement de la quantité de sucres disponibles.

VALEUR NUTRITIVE

Après 8 semaines d'entreposage à l'extérieur, l'ensilage de maïs recouvert de plastique a présenté des teneurs en protéine brute (7,33% en moyenne) et en protéine liée (0,53% en moyenne) homogènes à toutes les profondeurs, alors que les teneurs en fibre par détergent acide (25,18%, 23,70% et 23,53% dans les couches S, I et P) et en fibre par détergent neutre (42,40%, 40,10% et 40,13% dans les couches S, I et P) ont été un peu plus élevées dans la couche S que dans les couches I et P.

Quant à l'ensilage laissé à découvert, il a présenté, pour chacun de ces paramètres, des niveaux beaucoup plus élevés en surface qu'en profondeur, avec des valeurs dans les couches S, I et P de 9,68%, 8,30% et 7,48% pour la protéine brute, de 1,02%, 0,65% et 0,50% pour la protéine liée, de 27,83%, 26,00% et 24,45% pour la fibre par détergent acide et de 49,20%, 42,33% et 42,28% pour la fibre par détergent neutre. L'augmentation de chacun de ces paramètres pendant la période d'entreposage doit être interprétée comme un signe de détérioration.

Les bioenrobages A et B ont donné, pour l'ensemble du silo, un ensilage avec une teneur en protéine brute plus élevée que le plastique mais inférieure au témoin et des teneurs en protéine liée, fibre par détergent acide et fibre par détergent neutre comparables au plastique mais inférieures au témoin. Ces différences sont dues au fait que dans l'ensilage protégé avec les bioenrobages : 1° la teneur en protéine brute a été plus élevée en surface que dans l'ensilage sous plastique, probablement à cause du lessivage d'une partie de la protéine des bioenrobages, mais moins que dans le témoin qui a subi de fortes pertes de matière sèche, 2° la teneur en protéine liée n'a pas été significativement plus élevée en surface que dans l'ensilage sous plastique, même s'il a chauffé un peu plus, mais a été beaucoup moins élevée que dans le témoin qui a chauffé beaucoup plus et 3° les teneurs en fibre (ADF et NDF) ont été plus faibles en surface alors qu'elles ont été plus élevées en surface qu'en profondeur dans l'ensilage sous plastique et surtout dans le témoin puisqu'il a subi de fortes pertes de matière sèche. Ceci peut aussi, du moins en partie, être la conséquence du lessivage des substances solubles des bioenrobages dans l'ensilage

ou d'une plus grande transformation des hydrates de carbone des parois en sucres simples, dû à une meilleure activité enzymatique dans l'ensilage protégé avec les bioenrobages.

CONCLUSION

Les résultats de cette expérience indiquent que :

1- Le bioenrobage A et le bioenrobage B ont donné des ensilages de maïs avec des caractéristiques identiques après 8 semaines d'entreposage, puisque aucune différence significative n'a été détectée entre ces deux couvertures pour chacun des paramètres étudiés. Cependant le bioenrobage A a maintenu l'étanchéité de l'entreposage un peu plus longtemps que le bioenrobage B, tel qu'indiqué par un pH plus élevé dans la couche de surface (0-13 cm) avec le bioenrobage B qu'avec le bioenrobage A après 4 semaines d'entreposage.

2- Les ensilages protégés avec les bioenrobages n'ont pratiquement pas été affectés par l'infiltration d'eau alors qu'il en a résulté une forte diminution de la teneur en matière sèche dans les 38 cm de l'ensilage témoin. Ces ensilages n'ont pas présenté non plus des signes de détérioration (chauffage, développement des moisissures et perte de matière sèche) dans les 26 premiers cm et de modification de leur valeur nutritive dans les 13 premiers cm comparables à ceux observés dans l'ensilage témoin (PB, P. liée, ADF et NDF plus élevées) après 8 semaines d'entreposage. Pour ces propriétés, les ensilages sous bioenrobage se comparent beaucoup plus aux ensilage sous plastique, même si on observe certaines différences.

3- Les bioenrobages n'ont pas permis une fermentation aussi bonne que le film plastique. Celle-ci a plutôt été comparable à celle de l'ensilage témoin après 8 semaines d'entreposage, puisqu'on a observé dans les ensilages protégés avec les bioenrobages tout comme dans l'ensilage témoin une faible teneur en acide lactique et un pH élevé dans les 26 premiers cm. Par contre les bioenrobages ont donné un ensilage avec une moindre teneur en acide acétique et en azote ammoniacal que l'ensilage témoin et que l'ensilage sous plastique.

4- Les ensilages protégés avec les bioenrobages ont d'abord subi une fermentation qui a conduit à une acidification beaucoup plus prononcée que l'ensilage témoin mais moins prononcée que l'ensilage sous plastique dans la couche de surface (0-13 cm) après 4 semaines d'entreposage. Cependant suite à la perte plus ou moins importante de l'étanchéité des bioenrobages, on a assisté à la dégradation des acides produits précédemment et à l'augmentation du pH à un niveau comparable à celui observé dans le témoin après 8 semaines d'entreposage.

5- Dans les ensilages couverts avec les bioenrobages, l'activité bactérienne semble avoir initié la détérioration aérobie puisque qu'on a observé une acidification sans développement apparent de moisissures. En effet il est généralement reconnu que dans l'ensilage de maïs la détérioration aérobie est souvent initiée par les bactéries, avant que des levures et des moisissures se développent (Mahanna,1994). Cependant la détérioration aérobie a atteint un stade beaucoup moins avancé dans l'ensilage sous bioenrobage que dans l'ensilage témoin puisque dans ce dernier les moisissures ont entraîné des pertes de matière sèche et une modification significative de la valeur nutritive en surface.

6- Les bioenrobages permettront probablement de protéger convenablement l'ensilage de maïs jusqu'au printemps puisqu'ils ont complètement inhibé le développement des moisissures et ont limité la perte de matière sèche au même niveau que le film plastique de 150 µm d'épaisseur pendant les 8 premières semaines d'entreposage (octobre à décembre) et que les températures froides des mois hivernaux permettront d'en maintenir la qualité au même niveau de décembre à avril.

Ensilages à teneur en matière sèche élevée, compressés et conservés en sacs de plastique.

Gaëtan Tremblay¹, Réal Michaud¹, Guy Allard², Germain Lefebvre³, Jean-Paul Thériault⁴,
Philippe Bernier⁴, Éric Viel⁵ et Patrice Maltais⁵.

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Sainte-Foy, QC, G1V 2J3; ²Université Laval Département de phytologie, Sainte-Foy, QC, G1K 7P4; ³Agro-Bio Contrôle Inc., St-Charles-sur-Richelieu, QC, J0H 2G0; ⁴Purdel, Bic, QC, G0L 1B0; ⁵Premier Tech, Rivière-du-Loup, QC, G5R 6C1.

1. Introduction

Les régions agricoles du Québec sont relativement bien adaptées à la production de fourrages de qualité. Le foin sec peut se commercialiser relativement bien. Par contre, la production de foin sec de qualité exige souvent trois jours de beau temps consécutifs, ce qui est relativement rare. La fabrication d'ensilage est moins sujette aux conditions climatiques, mais l'ensilage conservé en silos ou sous forme de balles rondes enrobées est cependant difficilement commercialisable. La mise en marché des fourrages conservés sous forme d'ensilage se trouverait grandement favorisée si on pouvait développer un format d'entreposage facilement commercialisable. Il existe sur le marché des appareils permettant de compresser et de mettre en sacs divers produits comme la mousse de tourbe par exemple. De tels appareils pourraient servir à compresser et mettre en ballot de l'ensilage à teneur en matière sèche (**M.S.**) élevée.

L'ensilage à teneur en M.S. élevée, compressé et conservé en sacs de plastique pourrait être envisagé afin de résoudre les difficultés de mise en marché des fourrages parce que 1) il est relativement facile d'atteindre un taux de M.S. de 50 à 60% en moins de 48 heures après la fauche; 2) l'ensilage à teneur en M.S. élevée contient moins d'eau à transporter que l'ensilage plus humide; 3) les ballots compressés sont de poids acceptable, facile à manipuler, et à empiler; et 4) l'ensilage à haute densité ensaché de façon hermétique a de bonne chance de bien se conserver.

Un essai de fabrication d'ensilage de graminées et de légumineuses à teneur en M.S. élevée, compressé et mis en sacs de plastique scellé a été réalisé afin de répondre à certaines questions concernant la faisabilité et la qualité de conservation de ce genre d'ensilage.

2. Méthodologie

2.1 Essai réalisé en première coupe

Du fourrage de première coupe de la ferme Michel Rioux de St-Anaclet a été mis en ballots avec des niveaux de compression de 4:1 et 3:1. Le volume des ballots variait d'un traitement à l'autre mais il était d'environ 1,27 pieds cubes soit le tiers d'un ballot normal de 3,8 pieds cubes. Les six traitements appliqués sont décrits au tableau 1. Neuf échantillons de fourrage frais ont été prélevés lors de la fabrication des ballots, soit trois échantillons pour chacun des trois types de fourrage. Soixante-douze ballots, soit 6 traitements X 3 répétitions X 4 dates d'ouverture, ont été fabriqués. Les ballots d'ensilage ont été ouverts et échantillonnes après 7, 14, 28 ou 90 jours de fermentation. Au total, 81 échantillons [9 échantillons de fourrage frais + (4 dates

d'échantillonnage X 18 échantillons d'ensilage par date)] ont donc été prélevés, puis congelés pour fin d'analyse.

Tableau 1. Description des traitements appliqués en première coupe.

Espèce	M.S. (%) à la mise en sac	Niveau de compression	Volume de fourrage mis dans la chute (pouces)	Additif
1- Graminées	70	3:1	78	Aucun
2- Graminées	72	4:1	62	Aucun
3- Légumineuses	58	3:1	70	Aucun
4- Légumineuses	58	4:1	54	Aucun
5- Légumineuses	78	3:1	75	Solution Foin ^z
6- Légumineuses	77	4:1	59	Solution Foin ^z

^zSolution Foin appliqué au taux de 2-3 L / tonne métrique de matière fraîche.

2.2 Essai réalisé en deuxième coupe

Tableau 2. Description des traitements appliqués en deuxième coupe.

Espèce	M.S. (%) à la mise en sac	Niveau de compression	Additif
1- Graminées	50	Faible	Aucun
2- Graminées	50	Élevé	Aucun
3- Graminées	57	Faible	Aucun
4- Graminées	62	Élevé	Aucun
5- Graminées	61	Faible	Solution Foin ^z
6- Graminées	57	Élevé	Solution Foin ^z
7- Légumineuses	55	Faible	Aucun
8- Légumineuses	53	Élevé	Aucun
9- Légumineuses	63	Faible	Solution Foin ^z
10- Légumineuses	57	Élevé	Solution Foin ^z
11- Légumineuses	74	Faible	Aucun
12- Légumineuses	75	Élevé	Aucun
13- Légumineuses	67	Faible	Solution Foin ^z
14- Légumineuses	67	Élevé	Solution Foin ^z

^zSolution foin appliqué au taux de 2-3 L/tonne de matière fraîche.

Du fourrage de deuxième coupe a été mis en ballots de 3,8 pieds cubes (107 litres). La première densité a été établie en introduisant le maximum de fourrage dans la chute de la presse puis en compressant. Le deuxième niveau de compression a été effectué en introduisant 16 pouces de moins de fourrage dans la chute puis en le compressant. Un premier fourrage constitué principalement de brome inerme a été utilisé pour effectuer de l'ensilage de graminées alors que

de la luzerne quasiment pure a été utilisée pour fabriquer de l'ensilage de légumineuses. Les 14 traitements appliqués sont décrits au tableau 2.

Vingt et un échantillons de fourrages frais (soit 3 échantillons X 7 types de fourrage) ont été prélevés lors de la fabrication des ballots. Trois ballots par traitement et par date d'ouverture ont été fabriqués pour un total de 168 ballots (14 traitements X 3 répétitions X 4 dates d'ouverture). Des échantillons d'ensilage de chaque ballot ont été prélevés après 7, 14, 28 ou 87 jours de fermentation. Au total, 189 échantillons ont donc été prélevés, puis congelés pour fin d'analyse.

2.3 Analyses en laboratoire

Les analyses qui ont été effectuées sur les échantillons de première et deuxième coupe sont décrites au Tableau 3.

Tableau 3. Liste des analyses qui ont été effectuées sur les échantillons des deux coupes.

Échantillons prélevés après	Première coupe					Deuxième coupe				
	0	7	14	28	90	0	7	14	28	90
	jours d'entreposage									
M.S. (%)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ntotal (% M.S.)	X			X		X				X
N non protéique (% Ntotal)	X			X		X				X
NH ₃ (% Ntotal)	X			X		X				X
Acides aminés libres (% Ntotal)	X			X		X				X
N-ADF (% Ntotal)	X			X		X				X
ADF (% M.S.)	X			X		X				X
NDF (% M.S.)	X			X		X				X
Stabilité aérobie						X				X

3. Résultats

Les fourrages récoltés en première coupe étaient plus secs que ce que nous avions anticipé (Tableau 2). Le fourrage de graminées dosait 70-72% de M.S., le premier fourrage de légumineuses dosait 58% de M.S., alors que le second dosait 77-78% de M.S. Les teneurs en M.S. des fourrages récoltés en deuxième coupe étaient par contre plus près des valeurs visées, soit 50 et 65% M.S.

Le poids des ballots de 3,8 pieds cubes fabriqués en deuxième coupe a varié entre 20,5 et 41,0 kg de matière fraîche (**M.F.**) en fonction des traitements, soit du simple au double, avec une moyenne générale de 28,8 kg M.F. Les ballots de légumineuses étaient en moyenne 4,5 kg plus lourds que ceux de graminées (30,7 vs. 26,2 kg M.F.). Une augmentation de la teneur en M.S. du fourrage a causé une légère baisse du poids humide du ballot mais une augmentation du poids en M.S. du ballot. Pour les ballots de graminées de niveau de compression élevé par exemple, l'augmentation de la teneur en M.S. du fourrage de 49 à 62% a causé une baisse de 5 kg du poids du ballot mais une augmentation de 1,0 kg de M.S. contenu dans le ballot (15,5 vs. 16,5 kg M.S.). Pour les ballots de légumineuses de niveau de compression élevé, l'augmentation de la teneur en M.S. du fourrage de 56 à 74% a causé une baisse de 6,1 kg du poids du ballot mais une

augmentation de 2,3 kg de M.S. contenu dans le ballot (21,1 vs. 23,4 kg M.S.). En utilisant que les ballots de deuxième coupe de densité élevée et basé sur une régression entre le poids des ballots et la teneur en M.S. de l'ensilage, lorsque la teneur en M.S. passe de 50 à 60%, le poids des ballots augmente d'environ 1,5 kg M.S. dans le cas des graminées et d'environ 1,8 kg M.S. dans le cas des légumineuses. Les pertes de M.S. dues à la fermentation après 87 jours d'entreposage étaient très faibles (en moyenne de 0,65%, variant entre 0 et 5,09%) et aucun traitement n'a affecté la perte de M.S. observée au cours de l'entreposage.

3.1 pH

Pour l'ensilage de graminées de première coupe à 75% de M.S., le pH a augmenté légèrement entre 0 et 14 jours de fermentation, plafonné entre 14 et 28 jours, puis baissé graduellement jusqu'à 90 jours pour atteindre son niveau de départ. Cette courbe ne correspondait pas à une courbe typique de l'évolution du pH dans l'ensilage. On s'attendait à une baisse rapide du pH en début de fermentation, puis à l'atteinte du pH de stabilité propre à chaque type d'ensilage et qui est fonction de la M.S. de l'ensilage. L'évolution du pH dans les ensilages de légumineuses était plus normale. Dans l'ensilage de légumineuses à 59% M.S., le pH a baissé rapidement au cours des 7 premiers jours de fermentation puis diminué plus lentement par la suite. Dans l'ensilage de légumineuses à 78% M.S., la baisse de pH était graduelle et lente entre 0 et 90 jours de fermentation. Des trois types d'ensilage réalisés en première coupe, seul l'ensilage de légumineuses à 59% M.S. aurait fermenté normalement; les ensilages de graminées à 75% M.S. ou de légumineuses à 78% M.S. auraient été fabriqués à un taux de M.S. trop élevé pour permettre une fermentation rapide et efficace.

Parmi les ensilages de brome fabriqué en deuxième coupe, et d'après l'évolution du pH, celui à 49% de M.S. aurait fermenté de façon optimale et ce, pour les deux niveaux de densité. Son pH a diminué rapidement, atteignant la valeur minimale observée, soit 4,57, après 28 jours de fermentation. Le pH de stabilité d'un ensilage de ce type est de 5,16.

Parmi les ensilages de luzerne de deuxième coupe, ceux à 56% M.S., de faible ou de forte densité, sont ceux dont le pH a atteint les valeurs les plus faibles (5,09 et 5,03, respectivement), valeurs en deçà du pH de stabilité de ce type d'ensilage (5,44). On a observé par contre que la baisse du pH dans l'ensilage de luzerne était plus graduelle que celle observée dans l'ensilage de brome; le pouvoir tampon des légumineuses, i.e. leur capacité à résister à un changement de pH, est en effet plus élevée que celle des graminées. Dans l'ensilage de luzerne à 65% M.S., avec additif et de densité élevée, on a assisté à une légère baisse du pH en cours de fermentation; cette baisse a été progressive et constante, le pH est passé de 6,02 à 5,63 entre 0 et 90 jours de fermentation. Dans le même type d'ensilage, mais de densité faible, le pH est remonté entre 14 et 28 jours de fermentation pour diminuer par la suite. Dans les ensilages plus secs de luzerne, le pH a très peu baissé au cours de la fermentation. Parmi les ensilages de luzerne fabriqués en deuxième coupe et basé sur l'évolution du pH en cours de fermentation, celui à 56% de M.S. serait celui qui aurait fermenté le mieux et ce, qu'il ait été compressé faiblement ou d'une façon plus importante. Si on regarde l'ensemble des ensilages fabriqués en première et deuxième coupe, dans 7 cas sur 10, le pH a atteint une valeur plus faible lorsque le niveau de compression était élevé.

3.2 Fractions azotées

Les dosages de l'azote soluble et de l'azote non protéique (**NNP**) par rapport à l'azote total (**Ntotal**) sont deux mesures de l'intensité de la protéolyse et ils ne devraient pas être supérieurs à 50% dans les ensilages bien conservés et d'excellente qualité. De plus, on parle d'un ensilage de

graminées ou de légumineuses d'excellente qualité lorsque la concentration en NH₃ est inférieure à 7 ou 8% de l'azote total, respectivement. L'analyse de l'azote lié à la fibre ADF (**N-ADF**) nous indique la quantité de protéine non disponible; une concentration en N-ADF plus élevée que 12-15% de l'azote total indique qu'il y a eu un chauffage important. Dans les ensilages réalisés en première coupe, la concentration en NNP n'a pas dépassé 50% de l'azote total. Les augmentations des concentrations en NNP, en NH₃ et en AA libres au cours de la fermentation ont été très faibles dans tous les ensilages de première coupe. Les concentrations en NH₃ de tous les ensilages étaient inférieures à 5% de l'Ntotal. De plus, les concentrations en N-ADF étaient toutes inférieures à 12% de l'Ntotal. Les ensilages de première coupe n'ont donc pas chauffé et leurs valeurs azotées étaient excellentes.

Dans les ensilages de deuxième coupe, toutes les valeurs de NNP après 90 jours de fermentation étaient inférieures à 50%, et toutes les valeurs de N-ADF étaient inférieures à 12% de l'Ntotal. Tous les ensilages de brome inerme avaient une concentration en NH₃ inférieure ou égale à 7%. La concentration en NH₃ était légèrement supérieure à 8% de l'Ntotal pour les ensilages de luzerne à 56% de M.S. de faible et de forte densité, ainsi que pour l'ensilage de luzerne à 69% M.S., plus additif et de faible densité. Ces dernières concentrations étaient par contre toutes comprises entre 8 et 12% de l'Ntotal, qui est la gamme de valeurs pour des ensilages de luzerne de bonne qualité. Ces derniers ensilages avaient aussi une concentration en N-ADF légèrement supérieure aux autres. De façon générale, basé sur les concentrations en NNP, NH₃ et N-ADF, tous les ensilages de deuxième coupe étaient classés d'excellente ou de bonne qualité.

3.3 Test de stabilité aérobie dans les ensilages

En première coupe, la température des ensilages exposés à l'air a augmenté graduellement pour atteindre la température de la pièce après environ 13 jours d'exposition à l'air. Il n'y avait pas de différence entre les niveaux de compression sur l'évolution de la température des ensilages. On n'a pas de plus observé de chauffage dans l'ensilage de légumineuses à 78% de M.S. ayant reçu un additif. En deuxième coupe, l'ensilage de brome inerme à 49% de M.S. n'a pas chauffé. Dans l'ensilage de brome à 62% de M.S. par contre, la température a augmenté rapidement entre le jour 5 et le jour 9 pour diminuer par la suite. La température de l'ensilage à 60% de M.S. ayant reçu un additif est par contre restée stable. L'additif aurait empêché le chauffage dans l'ensilage de brome à 60% de M.S. Dans les ensilages de luzerne à 56, 65, 69 et 74% de M.S. ayant reçu ou non l'additif, la température a évolué normalement.

3.4 Observations qualitatives prises lors de l'ouverture des ballots d'ensilage

Les ballots fabriqués en deuxième coupe ont été ouverts après 87 jours de fermentation. Aussitôt qu'il y avait une fissure ou un étirement dans le plastique du ballot, de la moisissure pouvait être observée entre le sac et l'ensilage. L'étanchéité du scellé est de première importance. L'ensilage de luzerne contenait parfois de la moisissure à l'intérieur du ballot, au centre de l'ensilage, et ce, surtout lorsqu'il n'y avait pas eu ajout d'additif. L'ensilage de graminées ne contenait pas de moisissures à l'intérieur du ballot, par contre une odeur moins agréable s'en dégageait.

4. Conclusions

- Dans les ensilages de première coupe, la protéolyse en cours de la fermentation du fourrage en ensilage à été très faible, les concentrations en NH₃ de tous les ensilages étaient inférieures à 5% de l'Ntotal, et de plus, les concentrations en N-ADF étaient toutes inférieures à 12% de l'Ntotal. La valeur azotée de ces ensilages était donc excellente. La qualité de conservation,

- basée sur l'évolution du pH au cours de la fermentation, était bonne pour l'ensilage de légumineuses à 59% M.S., médiocre pour l'ensilage de légumineuses à 78% M.S., et mauvaise dans le cas de l'ensilage de graminées à 75% de M.S.
- La valeur azotée des ensilages de deuxième coupe était soit excellente ou bonne. La qualité de conservation, basée sur l'évolution du pH au cours de la fermentation, était excellente pour l'ensilage de brome inerme à 49% M.S. et variable pour les ensilages de brome à 60 et 62% M.S. L'évolution du pH était excellente pour l'ensilage de luzerne à 56% M.S., médiocre pour les ensilages de luzerne à 65% M.S., et mauvaise pour les ensilages de luzerne à 69 et 74% M.S.
 - Les pertes de M.S. au cours de l'entreposage étaient négligeables après 90 jours de fermentation pour tous les ensilages fabriqués en deuxième coupe.
 - Basé surtout sur l'évolution du pH dans les ensilages de la présente expérience, la teneur en M.S. du fourrage ne devrait pas être plus élevée que 55%. La meilleure façon d'augmenter la quantité de fourrage contenu dans chaque ballot serait de compresser davantage l'ensilage plutôt que d'augmenter sa teneur en M.S. au-delà de 55%.
 - Il est donc possible de fabriquer du bon ensilage de graminées et de légumineuses à matière sèche élevée, compressé et gardé en ballots sous film plastique. Afin de commercialiser de l'ensilage compressé et conservé en ballots de plastique, une attention toute particulière devra par contre être portée à l'étanchéité du produit fini. Toutes les précautions nécessaires devront être prises afin d'éviter tout étirement ou perforation du plastique lors de l'ensachage et tout au long de la chaîne d'expédition (convoyeurs, mise en palettes, etc.). Le scellement du ballot devra être entièrement étanche. De la moisissure a été observée, et ce surtout en surface de l'ensilage, lorsque le ballot n'était pas étanche à l'air parce que le plastique avait été perforé ou étiré, ou parce que le joint d'étanchéité avait été mal scellé. L'utilisation d'un plastique plus épais ou plus résistant à l'étirement et à la perforation pourrait permettre une meilleure étanchéité. Le système de scellement du plastique devrait être peaupiné afin de permettre une étanchéité parfaite à tout coup.