



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

Mercredi, le 11 février 2004

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

COMPTES-RENDUS DES CONFÉRENCES
Victoriaville, Québec

AVANT-PROPOS

Vous trouverez ci-joint les comptes-rendus qui résument ou complètent les conférences de cette douzième 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 événement, dix conférenciers vous ont présenté 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. 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- Différence Alimentaire Cations-Anions (DACA) chez cinq graminées fourragères. Hélène Brassard ¹ , Guy Allard ¹ , Gilles Bélanger ² , Gaëtan Tremblay ² , Réal Michaud ² , Raynald Drapeau ² , Philippe Seguin ³ et Annie Brégar ¹ , ¹ Université Laval, ² AAC, Sainte-Foy et ³ Campus Macdonald - Université McGill.	3
2- Effet de différentes espèces de plantes fourragères sur les performances de production et la composition du lait chez la chèvre. Audrey Doyon ¹ , Yvan Chouinard ¹ , Gaëtan Tremblay ² et J. Delisle ¹ , ¹ Université Laval et ² AAC, Sainte-Foy.	6
3- Effets de l'ajout alimentaire de graines de lin crues, micronisées et extrudées sur la concentration en acides gras omega-3 du lait de vaches laitières. Christian Gonthier ¹ , Arif F. Mustafa ¹ , P. Yvan Chouinard ² , Robert Berthiaume ³ , Hélène V. Petit ³ et Daniel R. Ouellet ³ . ¹ Campus Macdonald - Université McGill, ² Université Laval et ³ AAC, Lennoxville.	9
4- Résistivité électrique de la luzerne en fonction de la teneur en eau, de la longueur de hachage et de la masse volumique. Hugues Joannis ¹ , Philippe Savoie ² et Dominic Grenier ¹ , ¹ Université Laval et ² AAC, Sainte-Foy.	10
5- Mesure de la masse volumique du fourrage dans les silos couloir. Luc D'Amours ¹ et Philippe Savoie ² , ¹ Université Laval et ² AAC, Sainte-Foy.	17
6- Séchage bidirectionnel avec recirculation d'air pour les grosses balles de foin parallélépipédiques. Philippe Savoie et Sébastien Descôteaux, AAC, Sainte-Foy.	25
7- Ensilabilité de la luzerne et effet de différents additifs sur sa fermentation. André Amyot, IRDA, Deschambault.	31
8- La qualité de l'ensilage de fléole est affectée par la fertilisation azotée et le stade de développement. Gaëtan Tremblay, Gilles Bélanger et Raynald Drapeau, AAC, Sainte-Foy.	37
9- Effet de l'âge des plantes sur la tolérance au gel de la luzerne. Yves Castonguay, Paul Nadeau et Réal Michaud, AAC, Sainte-Foy.	41
10- Facteurs affectant la concentration de phytoestrogènes dans les légumineuses fourragères. Philippe Seguin, Evan Sivesind, Wenju Zheng. Département de sciences végétales. Campus Macdonald - Université McGill.	43

Différence Alimentaire Cations-Anions (DACA) chez cinq graminées fourragères

Hélène Brassard¹, Guy Allard¹, Gilles Bélanger², Gaëtan Tremblay², Réal Michaud², Raynald Drapeau³, Philippe Seguin⁴ et Annie Bréard¹

¹Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval. ^{2,3}Agriculture et Agroalimentaire Canada, ²Sainte-Foy, ³Normandin, ⁴Campus Macdonald, Université McGill.

L'hypocalcémie entraîne des répercussions majeures sur les entreprises laitières au Québec en causant une diminution du rendement laitier et une augmentation des coûts de production. Pour réduire l'incidence de la fièvre vitulaire, symptôme clinique de cette maladie, on recherche une différence alimentaire cations-anions (DACA) négative dans la ration de la vache avant le vêlage afin de favoriser une mobilisation efficace du calcium (1).

Le présent projet de recherche s'inscrit dans le cadre d'une étude d'envergure couvrant plusieurs aspects associés à la production de fourrages à faible DACA au Québec (Action concertée FQRNT-Novalait-MAPAQ en collaboration avec Agriculture et Agroalimentaire Canada). On vise avec cette étude à déterminer les modes de culture permettant d'obtenir de tels fourrages, à mesurer l'impact de leur utilisation sur le métabolisme de la vache ainsi qu'à apprécier les retombées économiques associées à ce type de foin. Les objectifs de l'essai rapporté ici sont d'identifier la ou les graminée(s) fourragère(s) ayant la DACA la moins élevée et de vérifier si le choix du cultivar influence cette valeur.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons utilisé les parcelles de graminées ayant servi initialement aux évaluations de cultivars du CRAAQ mais dont le protocole ne prévoyait pas les analyses des cations et anions apparaissant dans l'équation de la DACA. Dans les trois régions choisies pour le projet (Québec, Montréal, Lac-St-Jean), des échantillons de fourrages de deux cultivars de brome inerme (*Bromus inermis* Leyss.), deux de brome des prés (*Bromus riparius* Rehmman), trois de dactyle pelotonné (*Dactylis glomerata* L.), deux de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb) et quatre cultivars de fléole des prés (*Phleum pratense* L.) ont été récoltés pour les deux ou trois coupes consécutives des saisons de culture 2002 et 2003.

La DACA peut être calculée en utilisant une formule longue :

$$[(Na^+ + K^+ + 0.15 Ca^{2+} + 0.15 Mg^{2+}) - (Cl^- + 0.6 S^{2-} + 0.5 P^{3-})] \quad (2)$$

ou une formule courte : $[(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})] \quad (3).$

Dans le but de balancer la DACA des fourrages, on se base préférentiellement sur le potassium et le chlore parce qu'ils sont facilement prélevés par les graminées fourragères (4) et que leur assimilation chez les ruminants est maximale (1, 5).

Les résultats de la première année (2002) ont démontré que la DACA varie entre les espèces. La fléole des prés avait une DACA plus faible que les autres espèces alors que la DACA du dactyle pelotonné était la plus élevée (Tableau 1). Les trois autres espèces avaient des valeurs

intermédiaires. Ainsi, une graminée fourragère pourra être privilégiée par rapport à une autre dans le but de produire des fourrages adaptés aux besoins de la vache tarie.

Tableau 1. Valeurs moyennes de DACA de cinq espèces fourragères pour deux ou trois coupes à trois sites; calculées selon les formules longue et courte.

Formule	Coupe	Brome inermé	Brome des prés	Dactyle pelotonné	Fétuque élevée	Fléole des prés	Effet espèce
		DACA ^z (mEq/kg)					Pr > F
Longue ^y	1	476 ^b	547 ^c	708 ^d	590 ^c	373 ^a	<0,001
	2	482 ^{ab}	648 ^{bc}	693 ^c	590 ^{bc}	369 ^a	0,006
	3	-	726	751	559	-	NS
Courte ^x	1	516 ^b	601 ^c	785 ^d	602 ^c	420 ^a	<0,001
	2	484 ^{ab}	673 ^c	751 ^c	585 ^{bc}	398 ^a	0,007
	3	-	721	775	507	-	NS

^z Sur une même ligne, les moyennes ayant des lettres différentes sont significativement différentes à P<0,05; NS, non significatif. ^y Formule de DACA longue : $(Na^+ + K^+ + 0,15 Ca^{2+} + 0,15 Mg^{2+}) - (Cl^- + 0,6 S^{2-} + 0,5 P^3-)$ (NRC, 2001). ^x Formule de DACA courte : $(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})$.

Des concentrations différentes en éléments minéraux pour certains cultivars de graminées ont déjà été observées lors d'études antérieures (6, 7, 8). L'effet des cultivars pour la première année d'étude révèle une différence significative de DACA mais seulement entre les cultivars de fétuque élevée Kokanee et Courtenay. Les autres cultivars ont des DACA semblables au sein d'une même espèce. Les résultats obtenus de l'année 2002 suggèrent donc qu'il y aurait une faible variabilité génétique relative à la DACA pour la plupart des espèces.

Cependant, lors de l'interprétation des résultats, il faut tenir compte des paramètres de fertilisation et de teneurs en éléments minéraux du sol puisqu'ils varient entre les sites de l'expérience. Des échantillons de sols ont été prélevés à cette fin au cours de la deuxième année d'étude et sont en cours d'analyse. Des échantillons de fourrages ont été récoltés au cours d'une deuxième année de culture (2003); ces derniers sont en cours d'analyse au laboratoire. Il sera possible d'apprécier les résultats sur deux saisons différentes en terme de climat compte tenu du fait que l'été 2003 a été beaucoup plus humide que celui de 2002. Les données météorologiques d'Environnement Canada serviront à préciser les conditions climatiques pour ces deux saisons de culture.

Références bibliographiques :

- 1) Goff, J.P., R.L. Horst, T.A. Reinhardt et D.R. Buxton. 1997. Preventing milk fever in dairy cattle. Proceeding Tri-State Dairy Nutrition Conference. p. 41-55.
- 2) National Research Council (NRC). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh revised Edition. p.191-194.
- 3) Ender F., I.W. Dishington et A. Helgebostad. 1971. Calcium balance studies in dairy cows under experimental induction and prevention of hypocalcaemic *parasis puerperalis*: The solution of the aetiology and the prevention of milk fever by dietary means. Zeit. Tierphysiol. und Futtermit. 28:233-256.
- 4) Whitehead D. C. 2000. Nutrient elements in grassland Soil-Plant-Animal relationships. CABI Publishing.

- 5) Sanchez, W.K. et D.K. Beede. 1994. Interactions of sodium, potassium and chloride on lactation, acid-base status and mineral concentrations. *Journal of Dairy Science* 77:1661-1675.
- 6) Bélanger, G., A. Bréard et R. Michaud. 2002. Phosphorous uptake and concentration of timothy genotypes under varying N applications. *Crop Science* 42:2044-2048.
- 7) Gervais P. 1991. Composition morphologique et chimique, à trois stades de croissance, de certains cultivars de quatre graminées fourragères pérennes cultivées au Québec. *Bulletin Technique* no.16. Conseil des Productions Végétales du Québec.
- 8) Gross, C.F. et G.A. Jung. 1978. Magnesium, Ca, and K concentrations in temperate-origin forage species as affected by temperature and Mg fertilization. *Agronomy Journal* 70:397-403.

Effet de différentes espèces de plantes fourragères sur les performances de production et la composition du lait chez la chèvre

Audrey Doyon¹, Yvan Chouinard¹, Gaëtan Tremblay² et Jocelyne Delisle¹

¹Département des sciences animales, Université Laval, Québec; et

²Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy

Introduction

Le présent projet vise l'optimisation des composantes du lait [acides gras oméga-3 et acides linoléiques conjugués (ALC)] chez la chèvre par l'entremise de stratégies nutritionnelles, telles l'utilisation des fourrages. Ces travaux font suite à ceux de Boufaïed et coll. (2003) où divers facteurs influençant le profil en acides gras des fourrages ont été identifiés. Suite à ces expériences, nous avons sélectionné quatre types de fourrages à teneurs élevées (trèfle blanc et ray-grass annuel) et faibles (luzerne et fléole) en acides gras oméga-3.

Objectifs

Le premier objectif déjà complété du projet était de vérifier l'effet des quatre types de fourrages sur les performances de production et sur la composition du lait des chèvres. Le second objectif non complété est de vérifier les effets des fourrages sur le profil en acides gras du lait, particulièrement les acides gras oméga-3 et les ALC.

Matériel et méthodes

Nous avons donc voulu comparé les quatre plantes fourragères suivantes : luzerne (AC Caribou), fléole (Climax), trèfle blanc (California) et ray-grass annuel (Maris Ledger). Ces plantes fourragères ont été récoltées aux stades début épiaison (graminée) et 10% floraison (légumineuses) et conservées sous forme d'ensilage préfané. Chaque balle rectangulaire a été ensachée dans un sac de plastique double dont l'air a été aspiré et entreposée à l'abri du gel.

Pour la phase animale du projet, douze chèvres (4 Alpines, 4 Saanen et 4 Toggenbourg) ont reçu les différents fourrages pour 4 périodes de 3 semaines, totalisant 12 semaines d'expérimentation. Les rations étaient complémentées avec 100 g/j de moulée à base d'orge roulé et de tourteau de soya. À la fin de chaque période, des mesures de poids des animaux, de prise alimentaire, de production laitière ont été enregistrées et des échantillons d'aliments (offres et refus) et de lait ont été prélevés.

Résultats

Tableau 1. Caractéristiques des ensilages.

	MS (%)	PB (% MS)	ADF (% MS)	NDF (% MS)	Lignine (% MS)	pH
Luzerne	41,6	21,9	30,7	37,3	5,53	4,62
Fléole	39,0	14,6	33,1	57,1	3,66	5,21
Trèfle	42,2	21,5	25,6	29,8	3,76	4,67
Ray-grass	54,3	20,4	25,1	44,7	2,87	5,23

Composition des fourrages

La composition des fourrages utilisés au cours des 12 semaines d'expérimentation est présentée au tableau 1.

Consommation

Les consommations volontaires quotidiennes de matière sèche pour la luzerne et le trèfle (2,27 et 2,20 kg) étaient significativement supérieures ($P \leq 0,05$) à celles pour le ray-grass et la fléole (1,91 et 1,65 kg).

Production laitière

Aucune différence de production laitière n'a été observée entre les chèvres ayant reçu les traitements de luzerne, de ray-grass et de trèfle (2,87, 2,82 et 2,73 kg, respectivement). Par contre, les chèvres recevant le traitement de fléole ont diminué significativement ($P \leq 0,05$) leur production laitière (2,26 kg).

Teneur et production de matières grasses du lait

La teneur en matières grasses du lait était plus élevée chez les chèvres recevant la fléole (3,58 %), alors qu'aucune différence n'a été observée entre les traitements de luzerne, trèfle et ray-grass (3,10, 3,05 et 3,05%, respectivement). La diminution de la production laitière a été associée à une hausse de la teneur en matières grasses du lait des chèvres recevant la fléole, ce qui explique que l'on n'observe aucune différence significative entre les traitements pour la production de matières grasses.

Teneur et production de protéines du lait

On observe une diminution de la teneur en protéines du lait chez les chèvres ayant reçu la fléole (3,12 %), alors que pour les autres traitements, il n'y a eu aucune différence significative (3,20, 3,25 et 3,25 % pour le trèfle, le ray-grass et la luzerne, respectivement). Les mêmes observations s'appliquent pour la production de protéines.

Différences entre les races

Bien que seulement quatre chèvres constituaient notre échantillon, nous avons observé certaines différences entre les groupes de races Alpine, Saanen et Toggenbourg. Ainsi, les chèvres de race Alpine avaient une production laitière significativement supérieure ($P \leq 0,05$) à celle des deux autres races. Cependant, les teneurs en solides totaux, matières grasses et protéines du lait des chèvres de race Alpine étaient significativement inférieures ($P \leq 0,05$) à celles des deux autres races. Lorsque exprimé en production de solides totaux, de matières grasses et de protéines, aucune différence significative n'est observée entre les races.

Conclusion

Le premier objectif du projet étant maintenant terminé, il reste à compléter certaines analyses ayant trait à la composition du profil en acides gras du lait. Une attention particulière sera portée aux acides gras oméga-3 et aux ALC dans le lait des chèvres ayant reçu les quatre fourrages identifiés.

Le lait de chèvre jouit déjà d'un statut de produit naturel auprès de la population en général. L'amélioration de sa valeur nutritive en utilisant mieux les fourrages ne pourrait que bonifier cette image. Le développement d'un nouveau produit enrichi, tout en maintenant le niveau de

production des troupeaux, assurerait la croissance de la production caprine par l'ouverture d'un marché, actuellement en demande pour un produit santé à valeur ajoutée.

Références

Boufaïed, H., P. Y. Chouinard, G. F. Tremblay, H. V. Petit, R. Michaud, et G. Bélanger. 2003. Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. Can. J. Anim. Sci. 83:501-511.

Effets de l'ajout alimentaire de graines de lin crues, micronisées et extrudées sur la composition du lait des vaches laitières

Christian Gonthier¹, Arif F. Mustafa¹, Hélène V. Petit², Robert Berthiaume² et Daniel R. Ouellet²

¹Département des Sciences Animales, Campus Macdonald de l'Université McGill, 2111 Lakeshore Rd., Ste-Anne-de-Bellevue (QC) H9X 3V9 et ²Centre de Recherche et de Développement sur le Bovin Laitier et le Porc de Lennoxville, Agriculture et Agroalimentaire Canada, C.P. 90, Lennoxville (QC) J1M 1Z3

Quatre vaches Holstein en lactation munies de cannules ruminale et duodénale ont été utilisées dans un dispositif en carré latin 4 x 4 pour déterminer les effets de l'ajout alimentaire de graines de lin crues ou traitées à la chaleur sur l'utilisation des nutriments dans le système gastro-intestinal, et sur la composition du plasma sanguin et du lait provenant de vaches laitières. Les traitements étaient un contrôle sans ajout de graine de lin, une diète avec graines de lin crues (LC), une diète avec graines de lin micronisées (LM) et une diète avec graines de lin extrudées (LE). Les rations contenant des graines de lin contenaient 12.6% de graines de lin (exprimé en matière sèche). L'ajout de graines de lin n'a pas eu d'effet sur la production de lait, sur les pourcentages de gras et de protéine dans le lait, et sur la production de gras provenant du lait. Cependant, une diminution ($P = 0.02$) de la production de protéines provenant du lait fut notée. Il fut également remarqué que l'ajout de graines de lin a réduit ($P < 0.01$) les concentrations des acides gras courts, moyens et saturés et a augmenté ($P < 0.01$) celles des acides gras longs et insaturés dans le gras du lait. La concentration en C_{18:3} dans le plasma sanguin et le lait fut également augmentée ($P < 0.01$) suite à l'ajout de graines de lin. Comparativement à LE, la micronisation a augmenté ($P < 0.05$) le niveau d'acides gras omega-3 et les concentrations d'acides gras courts et saturés dans le gras du lait. Il fut conclu que l'ajout alimentaire de graines de lin augmente la proportion dans le gras du lait d'acides gras reconnus pour leur effets bénéfiques sur la santé sans effet majeur néfaste de la fermentation ruminale et l'utilisation des nutriments dans le système gastro-intestinal total. Les traitements de chaleur ne furent pas efficaces pour augmenter la concentration d'acides gras poly-insaturés dans le lait en raison d'une inefficacité à contrer la biohydrogénation ruminale des acides gras poly-insaturés.

Résistivité électrique de la luzerne

Hugues Joannis¹, Philippe Savoie², et Dominic Grenier³

¹Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, Sainte-Foy, Qc, G1K 7P4;

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 psavoie@grr.ulaval.ca;

³Département de génie électrique et de génie informatique, Université Laval.

Une étude a été menée afin de caractériser la résistivité électrique de la luzerne en fonction de sa teneur eau et de sa densité. Les valeurs de résistivité ont été obtenues à l'aide d'une presse expérimentale munie d'électrodes reliées à un circuit. Huit lots de luzerne, récoltés à intervalles de deux semaines dans un même champ, ont servi à caractériser la résistivité électrique de la luzerne.

Introduction

L'utilisation de la propriété de résistivité de la luzerne pour déterminer la teneur en eau (TEE) représente un défi de taille. Young (1967) rapporte que la conductance, soit l'inverse de la résistance, est fonction, en plus de la TEE, de la pression appliquée sur les électrodes ainsi que de la température de l'échantillon. Il explique aussi que dans le cas d'un échantillon de fourrage composé d'un mélange de matériel humide et sec, la valeur de résistance mesurée sera plus faible que celle d'un fourrage uniformément humide à la même teneur en eau moyenne. La TEE estimée par la résistance peut alors être biaisée selon que l'humidité est répartie de façon uniforme ou hétérogène. Aussi, la luzerne fraîchement séchée conduira à de mesures sous-évaluées de la TEE.

Toutes les opérations de conditionnement qui ont pour effet d'homogénéiser la teneur en eau et la distribution des composantes de luzerne (tiges et feuilles) devraient réduire l'incidence des phénomènes mentionnés précédemment et devraient permettre l'obtention des meilleurs résultats.

Méthodologie

Le fourrage de luzerne a été récolté dans un champ de la Ferme expérimentale de Deschambault durant la période allant du 12 juin au 28 octobre 2003. Du fourrage haché et non haché a été caractérisé pour une plage de TEE allant de 8 à 82 % sur une base humide. La plage de densité testée allait de 30 à 250 kg de matière sèche par mètre cube (kg MS/m³).

Chacun des lots de luzerne a été divisé en 10 à 12 unités. Une première unité était testée à la TEE initiale alors que les autres unités étaient placées sur des grilles et séchées au soleil de manière à obtenir des TEE décroissantes couvrant la plage à caractériser. Lorsque la TEE désirée était obtenue, le fourrage était placé dans un contenant fermé pendant deux heures de façon à favoriser une homogénéisation de la TEE avant la prise de mesures.

Le fourrage de luzerne a été caractérisé au moyen de la presse expérimentale présentée à la figure 1. Les électrodes nécessaires aux mesures de la résistance étaient disposées au fond de la presse selon l'arrangement de la figure 2. Trois électrodes étaient placées à chacune des trois distances (5, 10 et 15 cm) du centre. Les mesures ont été effectuées individuellement, c'est-à-dire d'une manière séquentielle pour chacune des électrodes négatives. Le circuit, présenté à la figure 3, est constitué essentiellement de diviseurs de tension permettant la mesure indirecte de la résistance électrique.

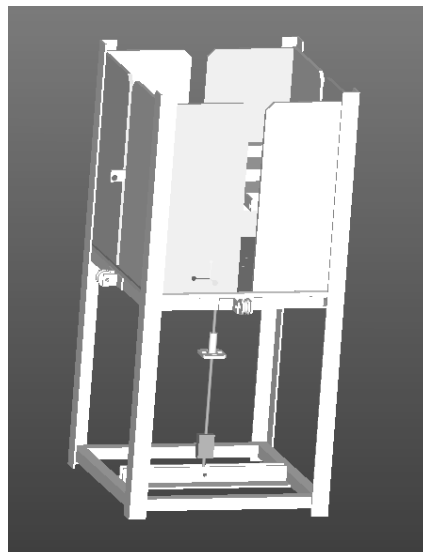


Figure 1. Presse expérimentale

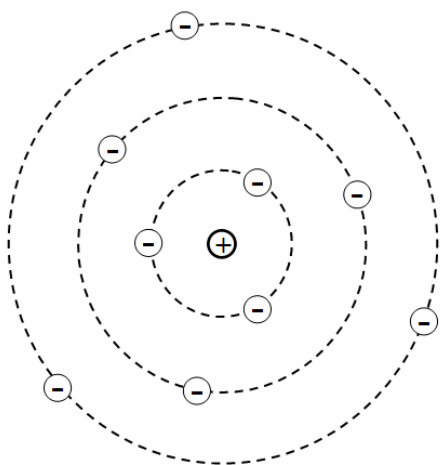


Figure 2. Disposition des électrodes

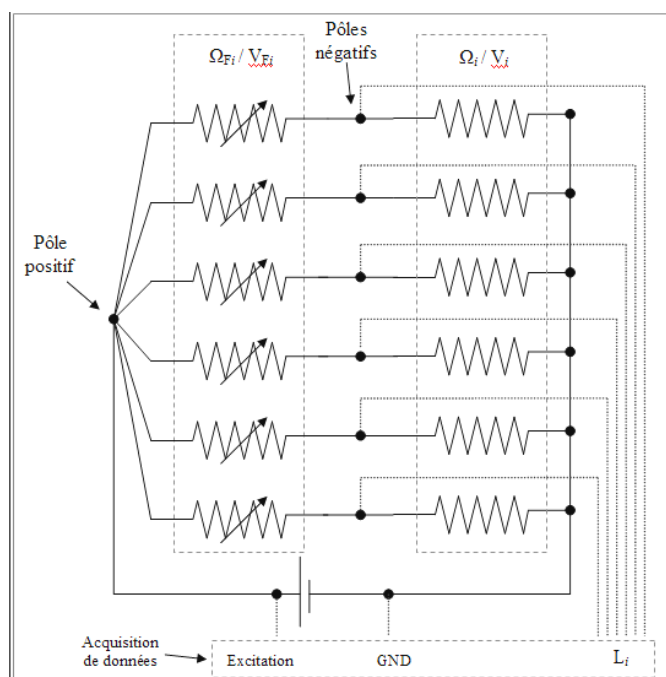


Figure 3. Circuit raccordé au système d'acquisition de données

Chacune des unités de fourrage était introduite dans la presse pour la séquence de mesure où le fourrage est contraint successivement à des volumes décroissants de manière à obtenir une douzaine de niveaux de densité couvrant la plage planifiée. Pour chacun des niveaux de densité, une mesure est effectuée séquentiellement pour chacune des électrodes négatives. À la suite des mesures, trois échantillons d'environ 300 g sont prélevés et séchés à l'étuve pour en déterminer la TEE conformément à la méthode normalisée proposée par l'ASAE (2002; norme S358.2, *Moisture measurement - forage*).

Résultats

Les figures 4 et 5 présentent respectivement la résistance et le logarithme de la résistance en fonction de la TEE d'un même jeu de données. La transformation logarithmique de la résistance permet l'obtention d'une relation linéaire avec la TEE.

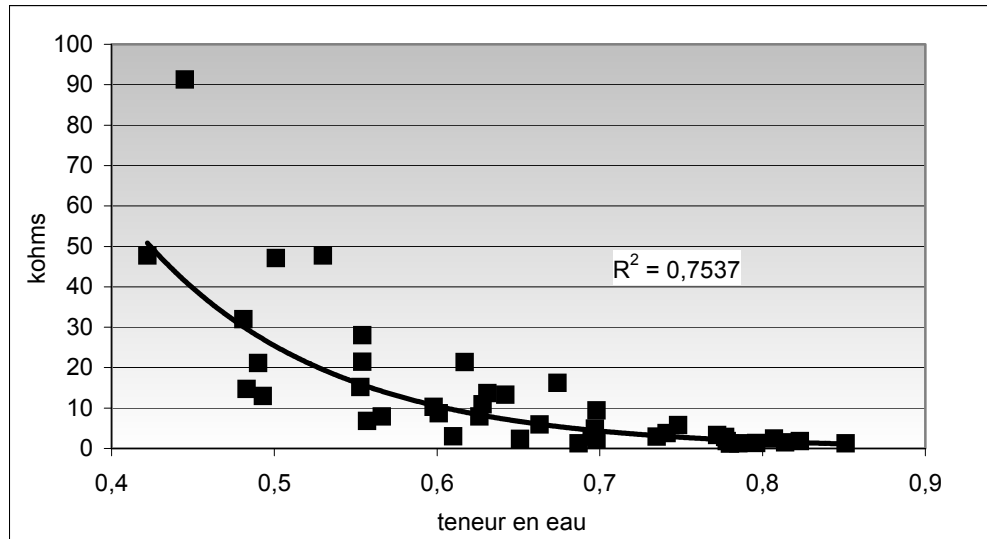


Figure 4. Résistance de la luzerne hachée en fonction de la TEE pour une densité de 155 kg M.S./m³.

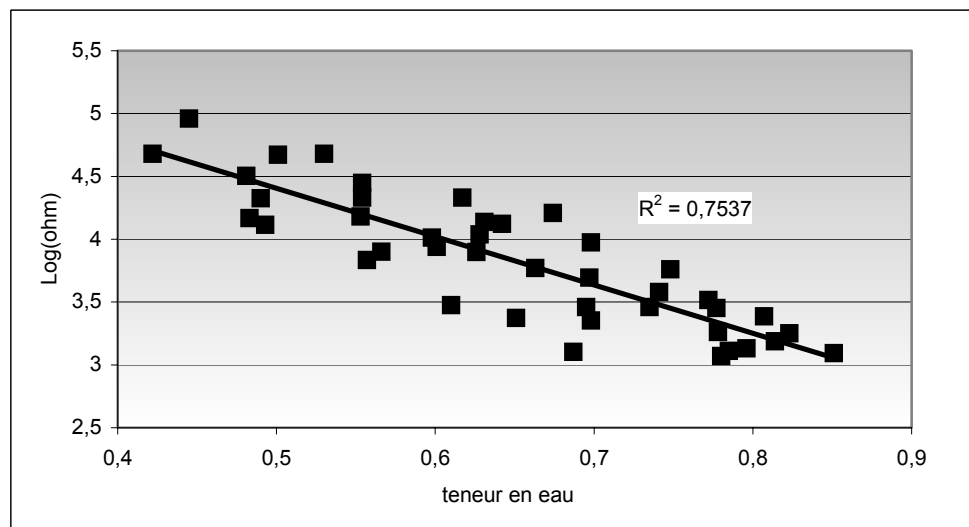


Figure 5. Logarithme de la résistance de la luzerne hachée en fonction de la TEE pour une densité de 155 kg M.S./m³.

Effet de la densité

La figure 6 présente l'évolution décroissante de la résistance en fonction de la densité. Chacune des courbes ont été obtenue à partir d'une même unité de fourrage. La figure montre que la sensibilité de la résistance à une augmentation de la densité est nettement plus forte pour un fourrage humide (80,23% de TEE) que pour un fourrage sec (25,22% de TEE).

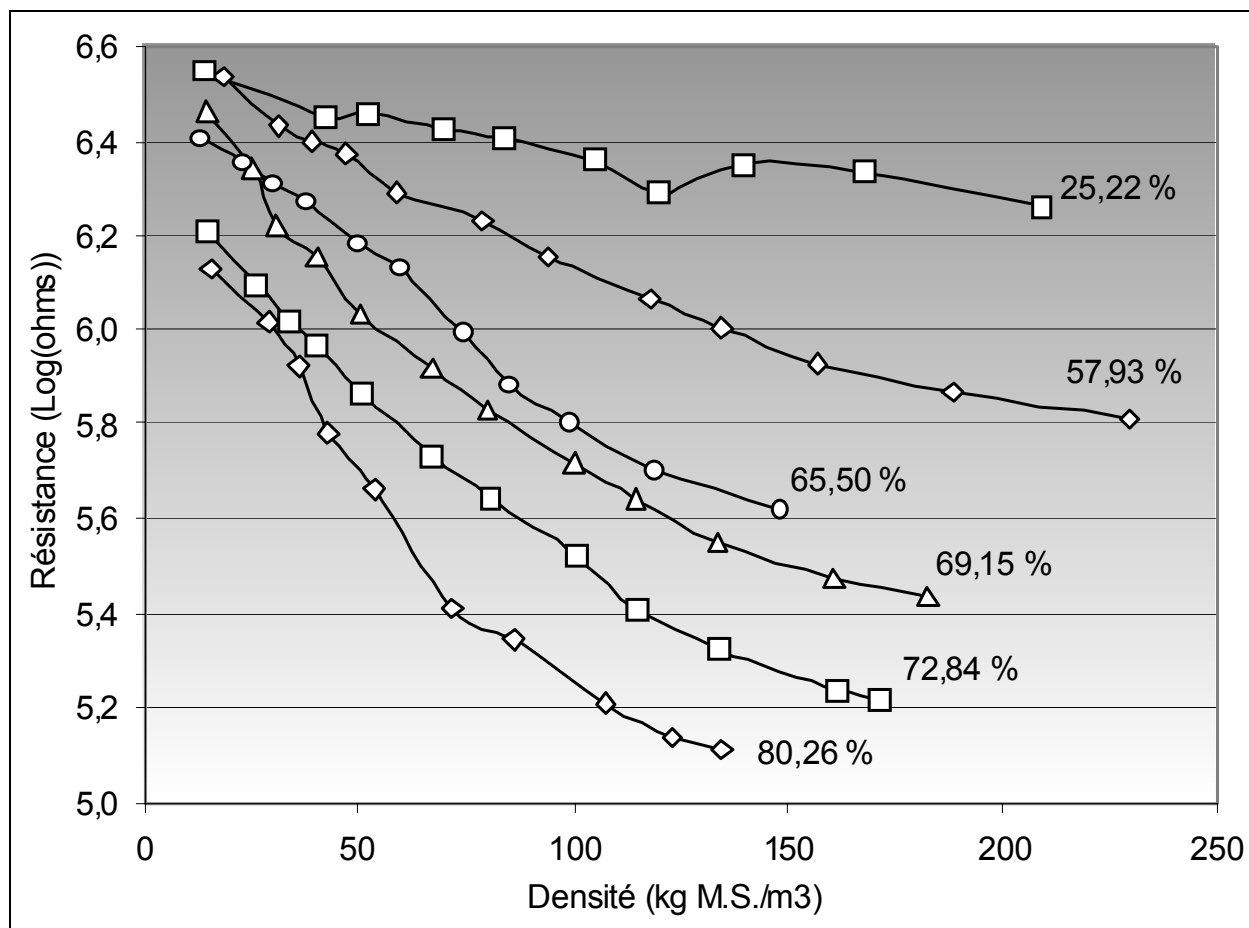


Figure 6. Logarithme de la résistance de la luzerne non hachée en fonction de la densité pour six niveaux de teneur en eau.

Effet du hachage

L'effet du hachage est présenté à la figure 7. Pour des densités égales, les valeurs de résistance aux basses TEE (≈ 10 à 30%) sont du même ordre, soit d'environ 10^8 ohms, alors qu'à des TEE élevées (≈ 60 à 80%), les valeurs de résistance de la luzerne hachée sont nettement plus basse que la résistance de la luzerne non hachée, soit 10^4 ohms comparativement à $10^{5,5}$ ohms.

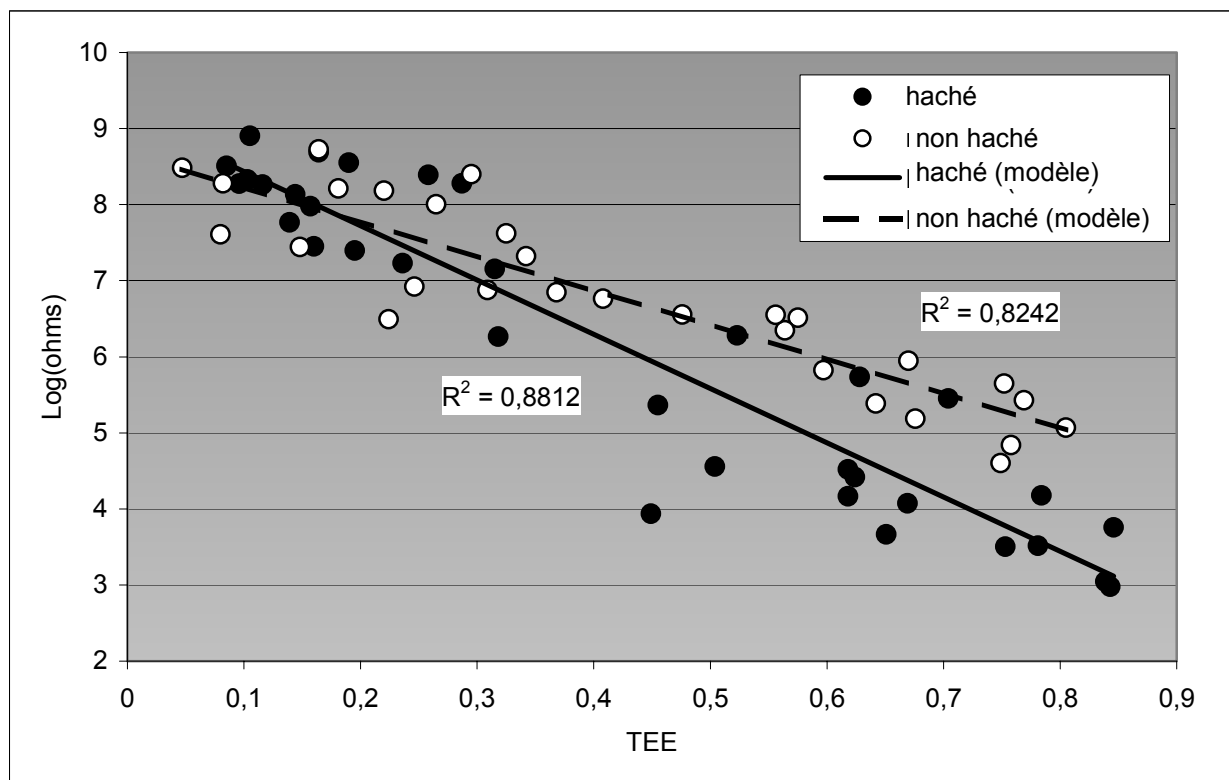


Figure 7. Logarithme de la résistance de la luzerne hachée et non hachée en fonction de la teneur en eau pour une densité de 100 kg M.S./ m^3 .

Effet de la température

Bien que la variable température n'ait pas été évaluée systématiquement, les résultats suggèrent la présence d'un effet de température. La figure 8 regroupe la température en quatre classes selon les conditions ambiantes au moment de la mesure. On note que la luzerne à des températures plus élevées avait une résistance électrique plus faible.

La figure 9 montre qu'une correction qui tient compte de l'effet de la température permet d'améliorer la prédiction de la résistance électrique en fonction de la teneur en eau. Le coefficient de détermination (R^2) est passé d'une valeur de 77% à 88% après la correction.

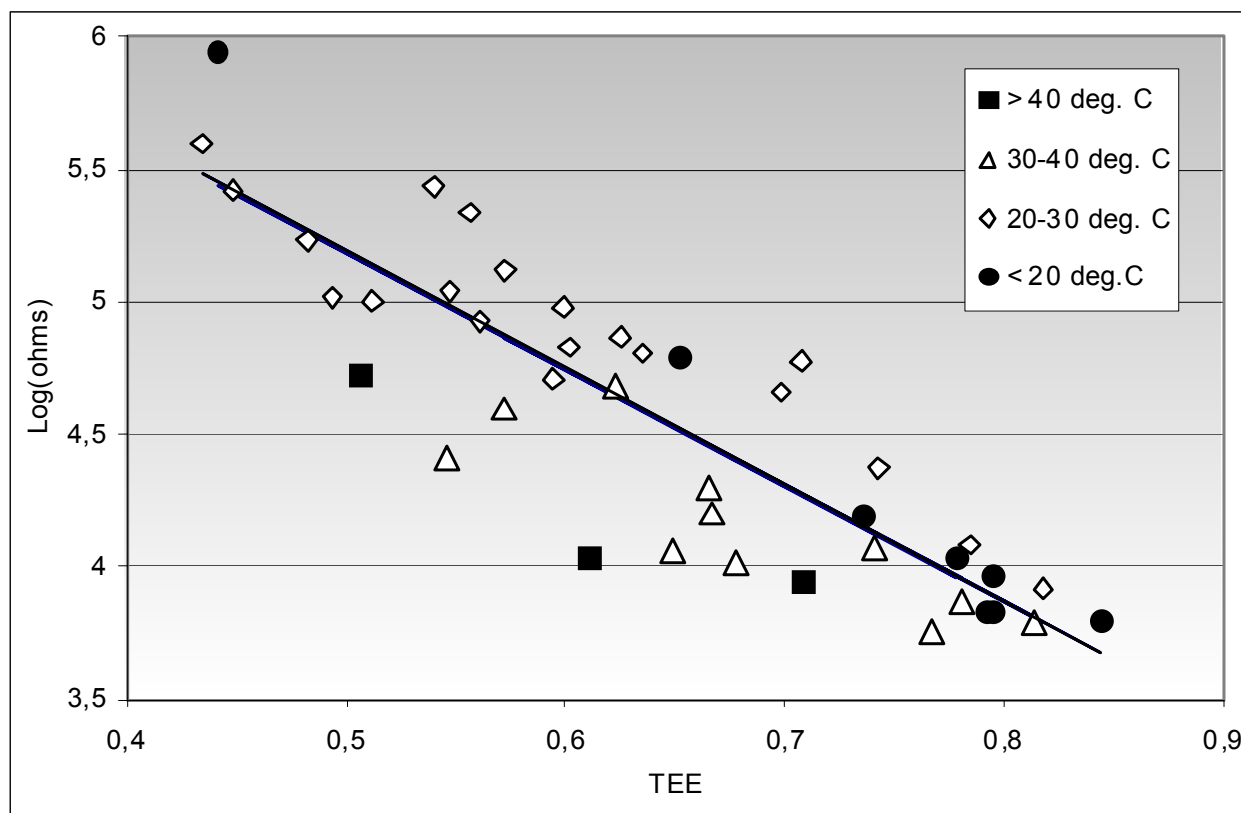


Figure 8. Effet de la température sur la résistance de la luzerne hachée en fonction de la teneur en eau (TEE) pour une densité de 50 kg M.S./ m³.

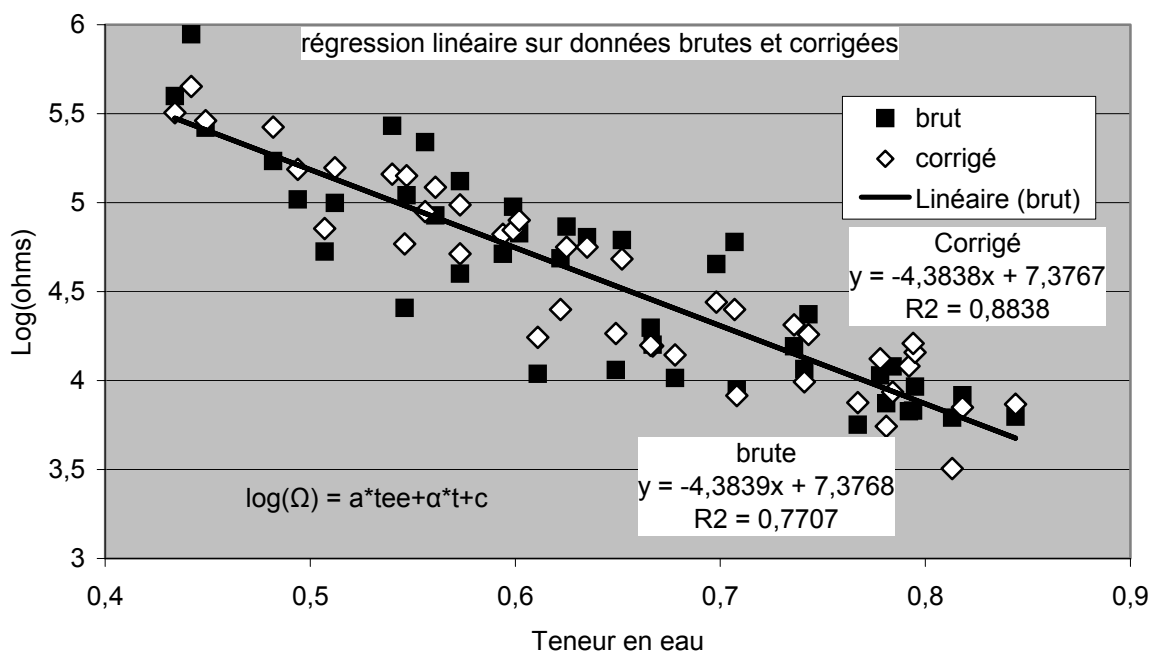


Figure 9. Logarithme de la résistance de la luzerne en fonction de la teneur en eau avant (brut) et après (corrigé) une correction pour la température.

Conclusions

L'étude réalisée a permis de caractériser la résistance de la luzerne en fonction de la TEE et de la densité. Elle a aussi permis d'évaluer l'effet du hachage et de la température. La transformation logarithmique linéarise la relation entre la résistance et la TEE. La résistance électrique des fourrages diminue avec une augmentation de la densité; l'effet est plus prononcé pour les fourrages humides que pour les fourrages secs. L'étude a aussi permis de démontrer que la sensibilité de la résistance électrique est plus grande pour la luzerne hachée que pour la luzerne non hachée.

Références

ASAE. 2002. Moisture measurement - forages. ASAE S358.2. Standards 2002: 565. St. Joseph, MI.

Young, J.H. 1967. Moisture. Pages 7-01 to 7-12. Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences. Third Edition. Z.A. Henry, G.C. Zoerb and G.S. Birth, Editors. ASAE, St. Joseph, MI.

Mesure de la masse volumique du fourrage dans les silos couloir

Luc D'Amours¹ et Philippe Savoie²

¹Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, Sainte-Foy, Qc, G1K 7P4.

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

1. Introduction

Au Québec, les fourrages conservés représentent une production d'environ 4,5 millions de tonnes de matière sèche (MS) d'herbe provenant de 770 000 hectares et 0,7 million de tonnes de maïs plante-entière (MS) provenant de 50 000 hectares chaque année. Environ 60% de l'herbe et 100% du maïs sont conservés en ensilage, soit 3,4 Mt principalement en silos tour. Néanmoins, l'ensilage conservé en silos couloir fait maintenant partie du paysage rural et cette technique est de plus en plus adoptée par de moyennes et petites entreprises. En effet, pour des raisons d'efficacité, d'économie et de réduction de déchets plastiques, on s'attend à ce que le silo couloir remplace une bonne partie des silos tour vétustes ainsi qu'une partie de l'ensilage de balles rondes enrubannées au cours des dix prochaines années. Le silo couloir pourrait servir à entreposer plus de 1,5 millions de tonnes (MS) d'ensilage au Québec d'ici dix ans. La densité des ensilages en silo couloir est un facteur important de qualité de conservation. Dans l'état de New York, Ruppel et al. (1995) ont estimé que les pertes passaient de 10 à 20% lorsque la densité diminuait de 320 à 160 kg MS/m³ (20 à 10 lb MS/pi³). Or il est courant de voir des silos faiblement compactés, de l'ordre de 10 à 12 lb MS/pi³. Une meilleure gestion devrait permettre d'augmenter assez facilement la densité de 60 kg MS/m³ (4 lb MS/pi³). De plus, l'augmentation de la densité diminue les coûts d'entreposage en augmentant la masse de fourrage dans un même volume. Ainsi des gains de productivité pourraient être de l'ordre de 4 à 8 \$/t MS, soit un potentiel de 6 à 12 millions \$ par année quand les silos couloir deviendront plus omniprésents au Québec.

L'objectif principal de cette recherche est de mieux comprendre l'effet de divers facteurs (masse du tracteur de compaction, type de roues, temps consacré à la compaction et à l'étalement en plus des caractéristiques de la récolte) sur la densité de l'ensilage en silo couloir dans le but d'établir des règles de remplissage et de compaction et de valider un modèle de prédiction de la densité. Plus spécifiquement, cette étude consiste à obtenir des données représentatives de diverses conditions de récolte et de fabrication du silo et de développer, par le fait même, une méthode pour mesurer adéquatement le profil de la masse volumique (densité) de l'ensilage dans un silo couloir.

2. Méthodologie

Des données sur six fermes ont été recueillies durant la confection de silos couloir à l'automne 2003. Trois silos étaient dans la région de Chaudière Appalaches et les trois autres dans la région du Centre du Québec. Durant la reprise de l'ensilage dans les silos, une première collecte de données a été effectuée en novembre et décembre et une deuxième est présentement en cours de

réalisation (janvier et février 2004). Pour alléger le présent rapport, seulement les données de deux sites seront présentées, soit la Ferme Gédéon Labbé à St-Odilon et la Ferme François Dionne à St-Zéphirin.

2.1 Confection du silo couloir

Les paramètres considérés pour la récolte sont les suivants : date de récolte, longueur de coupe, teneur en eau de l'ensilage ainsi que le pourcentage de grain. À chaque jour de suivi durant la récolte, neuf échantillons d'ensilage étaient ramenés au laboratoire pour mesurer la teneur en eau et trois échantillons pour la longueur de coupe. Pour déterminer la teneur en eau, les échantillons étaient placés à l'étuve durant 24 heures à 103 °C (norme S358.2, ASAE 2002a). La longueur des particules a été mesurée avec des échantillons de 2 à 3 kg de fourrage frais à l'aide d'un tamiseur selon la méthode S424.1 (ASAE 2002b). Le pourcentage de grain a été déterminé par une méthode de séparation mise au point par Savoie et al. (2003) qui consiste à utiliser les propriétés de flottaison des tiges et des feuilles de maïs pour séparer les grains du reste de la plante.

Lors de la fabrication du silo couloir, d'autres variables ont été enregistrées. La masse moyenne des chargements d'ensilage a été mesurée à l'aide d'une balance prêtée par le bureau du MAPAQ à Nicolet. Le nombre de voyages à l'heure était noté. La masse des tracteurs utilisés pour la confection, les dimensions et la pression des pneus sont d'autres données qui ont été mesurées. La proportion de temps que l'opérateur circulait dans le silo pour compacter ou pour étaler l'ensilage en couches était chronométrée durant un suivi d'une heure. D'autres observations incluaient la longueur d'étalement des chargements, la pente de l'ensilage ainsi que les pauses de l'opérateur.

2.2 Suivi de la qualité de l'ensilage lors de la reprise

Après l'ouverture des silos pour la reprise (début novembre 2003), l'échantillonnage a commencé à raison d'un site par semaine. La densité, le pH, la température et le volume d'ensilage présent dans chaque silo étaient les principales données amassées pour déterminer le profil de l'ensilage. Trois facteurs de position ont été choisis : la hauteur de l'échantillon prélevé dans la face, sa position latérale dans le silo ainsi que sa profondeur. Lors d'un même suivi, 48 échantillons ont été prélevés dans la face du silo selon un profil prédéterminé. Quatre échantillons étaient prélevés selon la hauteur : à 0,5 m du sol, à 0,5 m du sommet et les deux autres échantillons (Intermédiaire1 et Intermédiaire2) à des points intermédiaires équidistants entre les deux extrêmes (voir Figure 1). Ensuite, le silo était divisé en deux sections latérales : mur et centre. Trois colonnes (répétitions) étaient prélevées respectivement à 0,5 m, 1 m, 1,5 m d'un des murs du silo et trois autres colonnes (répétitions) étaient prélevées au centre du silo et à plus ou moins 0,5 m du centre. Les échantillons étaient prélevés à l'aide d'une tarière manuelle d'un diamètre de 73 mm et de longueur de 180 mm (voir figure 2). Un manche allongé permettait de prélever un deuxième échantillon dans chaque trou à une profondeur qui atteignait 360 mm. Pour déterminer la densité humide de l'ensilage, la masse de l'échantillon était mesurée à l'aide d'une balance sur le site et le volume était déterminé avec le diamètre de la tarière et la profondeur réelle de chaque trou une fois l'échantillon retiré. Finalement, chaque échantillon (48) était fractionné pour déterminer la teneur en eau ainsi que le pH. Pour la teneur en eau, les échantillons étaient placés à l'étuve durant 24 heures à 103 °C (norme S358.2, ASAE 2002a) tandis que le pH a été déterminé au laboratoire avec des échantillons frais en utilisant un pH-mètre de la compagnie Fisher

Scientific (modèle AR 25). À l'aide de deux thermomètres bi-métalliques (30 et 90 cm de long), des mesures de température étaient prises dans la face du silo selon le même patron que les mesures de densité et pH mais à quatre profondeurs différentes (15, 30, 45, 80 cm). Cette méthode de mesure permettra de vérifier s'il existe bel et bien des différences notables dans le profil d'ensilage du silo.

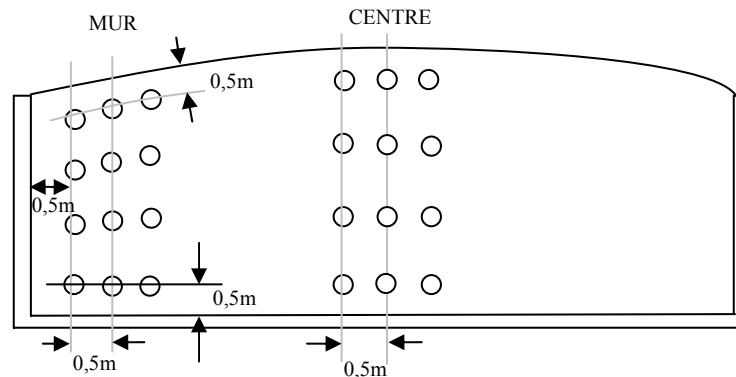


Figure 1. Patron choisi pour déterminer le profil de l'ensilage dans la face du silo (24 points X 2 profondeurs, soit 0 à 180 mm et 180 à 360 mm).



Figure 2. Tarière utilisée pour l'échantillonnage du silo (encerclée)

3. Résultats et analyse

3. 1 Confection du silo couloir

Les principaux paramètres enregistrés durant le suivi de la confection des silos couloir sont présentés dans le tableau 1 (Fermes François Dionne et Gédéon Labbé). Pour l'ensemble des six fermes, le taux de récolte de maïs a varié de 5 à 22 t M.S./h avec un taux d'humidité à la récolte de 56 à 77 %. La grosseur des particules de maïs hachée moyenne était de 11 mm, allant de 8 mm à 14 mm. Les dimensions du plus petit silo étaient de 4,6 m de large par 28,7 m de long par 2,4 m de haut (volume théorique de 317 m³) tandis que le plus gros silo était 8 fois plus volumineux (15,2 m X 45,7 m X 3,7 m; volume théorique de 2570 m³). Pour la compaction de l'ensilage, les fermes utilisaient un ou deux tracteurs pesant entre 3,6 t et 10 t. On pouvait observer des pressions des pneus de l'ordre de 90 à 250 kPa. Les wagons utilisés pour le transport du fourrage haché du champ au site d'entreposage étaient soit déchargés directement à l'intérieur du silo, soit

déchargés sur la dalle à l'extérieur du silo d'où le fourrage était étendu avec le tracteur de compaction. Finalement, la proportion de temps utilisée pour étaler l'ensilage variait de 0,14 à 0,66 h/h tandis que la proportion de temps pour la compaction passait de 0,26 à 0,86 h/h.

Tableau 1. Principales données recueillies durant la confection des silos couloir

Identification du site	François Dionne		Gédéon Labbé
Région	Nicolet		Beauce
Dimensions du silo (m)	4,88 x 21,3 x 3,05		12,2 x 46,0 x 3,44
Date de récolte (2003)	30-sept		7-8-10-oct
Teneur en eau	61,8%		71,0%
Longueur de coupe (mm)	9,8		10,5
% de grain	52,6		25,9
Nombre de voyage/h	10,2		4,62
Capacité de récolte (t M.S /h)	22,0		12,9
Tracteur(s) de compaction	JD 7420	JD 6410	Ford 8630
Masse du tracteur (kg)	7060	5760	8520
Dimensions pneus av.-ar.	16.9 x 28-18.4 x 42	13.6 x 28-18.4 x 38	14.9 x 28-18.4 x 38
Pressions pneus av.-ar. (kPa)	172-90	131-90	241-152
Équipements	Loader	Loader+Bloc	Loader+Bloc
Temps d'étalement (min :s/voy.) ¹	3 :32	0 :51	8 :33
Temps de compaction (min :s/voy.) ¹	1 :30	4 :56	3 :26

¹ Chronométrés durant de courts suivis d'une heure incluant les arrêts de l'opérateur.

3.2 Suivi de l'ensilage lors de la reprise : Ferme Dionne

Le premier suivi de la reprise de l'ensilage dans le silo s'est déroulé sur une période de six semaines du 10 novembre au 16 décembre 2003 à raison d'un site par semaine. Le tableau 2 présente les résultats du premier suivi à la Ferme François Dionne de St-Zéphirin. Le tableau 3 présente l'analyse statistique de ces données.

On observe au tableau 3 qu'il y a une différence d'environ 2 unités de pourcentage (60,2 versus 58,1%) entre la teneur en eau en surface (0-18 cm) et celle en profondeur (18 à 36 cm). Cela peut refléter un début d'oxydation et de production d'eau sur la face verticale par rapport à l'ensilage en profondeur qui est mieux protégé contre l'infiltration d'air. Par ailleurs, la densité est 14% plus élevée en moyenne en profondeur qu'en surface (288 vs 253 kg MS/m³). Cela est sans doute dû à la perturbation de la face externe du silo par l'équipement de reprise qui laisse une surface rugueuse. Enfin, le pH est aussi plus élevé en surface qu'en profondeur (4,42 vs 3,86). On en a conclu que l'ensilage échantillonné en profondeur (18 à 36 cm) était plus représentatif de l'ensemble du silo que la face extérieure qui reflète un début d'oxydation et une réduction de la densité à cause de la reprise. Pour les autres facteurs (hauteur et position latérale), on a fait l'analyse statistique des mesures en profondeur seulement.

En ce qui concerne le deuxième facteur analysé, c'est-à-dire la hauteur, on observe que la teneur en eau est plus élevée à 0,5 m du sommet qu'aux niveaux intermédiaires en dessous. Cela peut être dû à la proximité de la couverture du silo (film de plastique) et à la plus grande possibilité d'échange d'air venant du haut qui provoque l'oxydation et la production d'eau près du sommet. Toutefois, il faut aussi remarquer que la teneur était relativement élevée près du fond du silo à 0,5 m du sol. Une partie de la variation de la teneur en eau peut être causée par la variation naturelle

au champ dans les chargements successifs au cours de la récolte. La densité est toujours plus faible à 0,5 m du sommet (253 kg MS/m³ à 18-36 cm de profondeur) qu'aux trois autres points plus bas dans le silo (300 kg MS/m³ à 18-36 cm de profondeur; moyenne des hauteurs intermédiaires 1 et 2 et 0,5 m du sol). La densité est aussi toujours plus faible près du sommet qu'en profondeur en surface verticale (0-18 cm; tableau 2). Il y a donc un effet cumulatif de la pression du tracteur de compaction sur les couches inférieures. L'effet de compaction en profondeur semble limité toutefois à environ 1 m sous les roues du tracteur puisque la densité ne varie pas beaucoup entre les hauteurs intermédiaire 1, intermédiaire 2 et à 0,5 m du sol. La pression de compaction s'atténue en profondeur et représente moins de 10% de la pression en surface à partir de 1,2 m sous la surface, selon un modèle proposé par Zhao et Jofriet (1992) et repris par Muck et al. (2004). Le pH augmente de façon significative (de 3,75 à 3,99) du bas vers le haut du silo. Cela confirme que l'ensilage du fond est mieux conservé que l'ensilage près du sommet. Cette évolution du pH est la même en surface verticalement (0 à 18 cm de profondeur, tableau 2), avec des pH beaucoup plus élevés (jusqu'à 6,90) près du sommet en surface.

Tableau 2. Paramètres mesurés lors de la reprise du silo couloir (Ferme François Dionne, 17 novembre 2003; moyennes de trois répétitions)

Position	Hauteur ¹	Profondeur 0-18 cm			Profondeur 18-36 cm			Temp.moy ³ °C
		T.e.e (%)	Densité ¹	pH	T.e.e (%)	Densité ²	pH	
Mur	0,5 m du sol	59,7	267	3,73	58,3	300	3,75	11,8
	Interm.1	58,9	287	3,89	56,9	293	3,83	19,2
	Interm.2	60,0	250	4,81	56,9	305	3,97	35,1
	0,5 m du sommet	65,6	156	6,90	61,1	231	4,04	34,9
	Moy	61,1	240	4,83	58,0	282	3,90	25,1
Centre	0,5 m du sol	58,7	278	3,77	59,4	312	3,76	22,1
	Interm.1	57,0	284	3,81	56,9	293	3,84	24,8
	Interm.2	57,7	268	3,96	57,0	298	3,76	34,3
	0,5 m du sommet	63,7	232	4,46	58,6	275	3,94	32,2
	Moy	59,3	266	4,00	57,9	295	3,82	28,3

¹Hauteurs totales moyennes de l'ensilage au mur et au centre : 2,74 et 2,87 m, respectivement.

²Densité en kg MS/m³.

³Moyenne des quatre profondeurs (15, 30, 45 et 80cm).

Tableau 3. Comparaisons statistiques de la teneur en eau, de la densité et du pH (Ferme Dionne, 17 novembre 2003)

Premier facteur : Profondeur		T.e.e.	Densité¹	pH
	Moy. 0-18 cm	60,2	253	4,42
	Moy. 18-36 cm	58,1	288	3,86
	Probabilité (p)	0,081	0,002	0,019
Deuxième facteur : Hauteur (de 18 à 36 cm)				
	0,5 m du sol	58,9	306	3,75
	Interm. 1	56,9	293	3,84
	Interm. 2	56,9	302	3,86
	0,5 m du sommet	59,8	253	3,99
	Probabilité (p)	0,032	<0,001	0,003
Troisième facteur : Position latérale (de 18 à 36 cm)				
	Mur	58,3	282	3,9
	Centre	58,0	295	3,8
	Probabilité (p)	0,665	0,02	0,06

¹ Densité en kg MS/m³.

Le troisième facteur, c'est-à-dire la position latérale, indique que l'ensilage au centre est mieux compacté que l'ensilage près du mur (295 versus 282 kg MS/m³ à une profondeur 18 à 36 cm; tableau 3). En surface (0 à 18 cm de profondeur, tableau 2), l'ensilage près du mur est encore moins bien conservé que celui près du centre : il est plus humide (61,1 versus 59,3% de teneur en eau), moins dense (240 versus 266 kg MS/m³) et moins acide (pH de 5,83 versus 4,00). Donc la position latérale influence la qualité de l'ensilage échantillonné. Dans ces résultats, les ensilages au centre étaient de meilleure qualité (et plus denses) que les ensilages échantillonnés près du mur. Cela peut s'expliquer par la difficulté qu'a le tracteur de compaction à rouler très près des murs et à bien compacter l'ensilage qui s'y trouve par rapport à l'ensilage au centre du silo.

3.3 Suivi de l'ensilage lors de la reprise : Ferme Labbé

Le tableau 4 présente les résultats du premier suivi à la Ferme Gédéon Labbé de St-Odilon. Le tableau 5 présente l'analyse statistique de ces données.

On observe à la Ferme Labbé plusieurs tendances semblables à celles de la Ferme Dionne. Au tableau 5, l'ensilage près de la face verticale (0-18 cm de profondeur) est plus humide (72,5 versus 69,9%), moins dense (189 versus 224 kg MS/m³) et moins acide (pH de 3,97 versus 3,79) que l'ensilage en profondeur (18 à 36 cm). La hauteur n'affecte pas significativement la teneur en eau. Par contre, la densité augmente graduellement au fur et à mesure qu'on descend de la surface du haut vers le sol (de 203 à 255 kg MS/m³). L'augmentation de la densité avec la hauteur est un peu plus prononcée à la Ferme Labbé qu'à la Ferme Dionne. Encore une fois, le pH est plus élevé quand on s'approche du sommet du silo. L'ensilage près du mur est plus humide (70,2 versus 69,5% de teneur en eau) et moins dense (207 versus 242 kg MS /m³) que l'ensilage au centre; toutefois, les ensilages aux deux postions latérales ont un pH semblable (3,69).

Tableau 4. Paramètres mesurés lors de la reprise du silo couloir (Ferme Gédéon Labbé, 1^{er} décembre 2003; moyenne de trois répétitions)

Position	Hauteur ¹	Profondeur 0-18 cm			Profondeur 18-36 cm			Temp.moy ³ °C
		T.e.e (%)	Densité ²	pH	T.e.e	Densité ²	pH	
Mur	0,5 m du sol	71,1	182	3,89	68,7	235	3,74	27,1
	Interm. 1	72,1	208	3,65	69,4	220	3,67	25,2
	Interm.2	73,4	161	3,95	72,5	187	3,85	26,9
	0,5 m du sommet	72,8	154	4,52	70,3	185	3,99	34,8
	Moy	72,3	176	4,00	70,2	207	3,81	28,5
Centre	0,5 m du sol	71,9	231	3,68	70,4	275	3,70	18,3
	Interm.1	72,5	202	3,72	68,6	238	3,76	21,8
	Interm.2	73,0	183	3,89	70,1	232	3,80	28,5
	0,5 m du sommet	73,1	195	4,46	68,9	221	3,85	26,6
	Moy	72,6	202	3,94	69,5	241	3,78	23,8

¹ Hauteurs totales moyennes de l'ensilage au mur et au centre : 2,60 et 2,51 m, respectivement.

² Densité en kg MS/m³.

³ Moyenne des quatre profondeurs (15, 30, 45 et 80 cm).

Sur la face de reprise (0-18 cm de profondeur, tableau 4), la densité est plus élevée au centre que près du mur (202 versus 176 kg MS/m³). Toutefois la densité près du sommet au centre (195 kg MS/m³) n'est pas la faible par rapport aux autres hauteurs. Cela reflète les perturbations inégales de l'équipement de reprise sur la face verticale.

Entre les Fermes Dionne et Labbé, on note une différence importante dans la teneur en eau moyenne des 48 échantillons d'ensilages (59,2 versus 71,2%), dans la densité (271 versus 207 kg MS/m³) et dans le pH (4,14 versus 3,88). En profondeur (18 à 36 cm de la face verticale), on observe des différences semblables pour la teneur en eau (58,2 versus 69,9%) et la densité (289 versus 225 kg MS/m³). La différence de pH se réduit toutefois en profondeur entre les deux fermes (3,85 versus 3,79). Cela signifie que l'ensilage plus sec de la Ferme Dionne est peut-être plus sensible à la dégradation aérobie lors de la reprise que l'ensilage plus humide de la Ferme Labbé. La fraction de grains plus élevée chez Dionne que chez Labbé (53% versus 26%, Tableau 1) est un autre facteur pouvant expliquer la densité plus élevée en matière sèche chez Dionne.

Tableau 5. Comparaisons statistiques de la teneur en eau, de la densité et du pH (Ferme Gédéon Labbé, 1^{er} décembre 2003)

Premier facteur :	Profondeur	T.e.e	Densité¹	pH
	Moy. 0-18 cm	72,5	189	3,97
	Moy. 18-36 cm	69,9	224	3,79
	Probabilité (p)	<0,001	0,002	0,029
Deuxième facteur :	Hauteur (de 18 à 36 cm)			
	0,5 m du sol	69,5	255	3,72
	Interm. 1	69,0	229	3,72
	Interm. 2	71,3	210	3,83
	0,5 m du sommet	69,6	203	3,92
	Probabilité (p)	0,069	0,004	<0,001
Troisième facteur :	Position latérale (de 18 à 36 cm)			
	Mur	70,2	207	3,7
	Centre	69,5	242	3,68
	Probabilité (p)	0,018	0,001	0,074

¹ Densité en kg M.S/m³

4. Perspectives et conclusion

Cette phase du projet a permis d'établir que la technique utilisée pour mesurer la masse volumique, la teneur en eau et le pH est déterminante. Il y a des différences très nettes et statistiquement significatives entre les échantillons en surface (0 à 18 cm) et en profondeur (18 à 36 cm), entre les échantillons près du mur et ceux près du centre du silo, et en hauteur entre le sol et le sommet du silo. Pour des raisons pratiques, les extrêmes de hauteur étaient à 0,5 m du sol et 0,5 m du sommet. On a pu observer que la densité augmentait du sommet vers le fond mais que cette augmentation s'atténuait en descendant vers le fond du silo.

Puisque le profil de l'ensilage varie considérablement selon les trois facteurs de position, de futurs échantillonnages devront en tenir compte. Les échantillons au centre, à 18-36 cm de profondeur et aux hauteurs intermédiaires reflètent probablement l'ensilage le mieux conservé dans le silo. La hauteur la plus près du sol peut être de meilleure qualité que les hauteurs intermédiaires car elle est plus éloignée de la couverture. Toutefois, dans certains cas, elle peut accumuler les jus susceptibles de s'écouler verticalement dans les ensilages relativement humides. Pour bien caractériser l'ensilage dans un silo couloir, il faut nécessairement avoir un échantillonnage représentatif en surface comme la figure 1 et aussi en profondeur.

Les autres facteurs explicatifs des variations de densité dans les silos couloir comme la masse des tracteurs de compaction, le temps de compaction, le rapport entre le temps d'étalement et le

temps de compaction pourront être examinés plus tard quand on aura des données provenant de plusieurs fermes opérant dans des conditions variées. Avec l'ensemble des données recueillies, un modèle de prédiction de la densité et de la qualité pourra être mis au point et servir à optimiser les opérations de récolte et de remplissage des silos couloir. À moyen terme, ces données serviront à développer un guide de recommandations traitant des techniques de compaction et des critères favorisant la conservation d'un ensilage de qualité dans les silos couloir.

5. Références

ASAE. 2002a. Moisture measurement - forages. ASAE S358.2. Standards 2002: 565. St. Joseph, MI.

ASAE. 2002b. Method of determining and expressing particle size of chopped forage material by screening. ANSI/ASAE S424.1. Standards 2002: 602-604. St. Joseph, MI.

Muck, R.E., P. Savoie and B.J. Holmes. 2004. Laboratory assessment of bunker silo density, part I: alfalfa and grass. *Applied Engineering in Agriculture* (sous presse).

Ruppel, K.A., R.E. Pitt, L.E. Chase and D.M. Galton. 1995. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 78:141-153.

Savoie, P., K.J. Shinnars and B.N. Binversie. 2003. Hydrodynamic separation of grain and stover components in corn silage. ASAE Paper No. 036086. Presented at the Annual Meeting of the American Society of Agricultural Engineers in Las Vegas, Nevada, July 27 - 30. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Zhao, Q. and J.C. Jofriet. 1992. Wall loads on bunker silos due to compaction. *Canadian Agricultural Engineering* 34(1):83-94.

Le séchage des grosses balles de foin rectangulaires

Philippe Savoie et Sébastien Descôteaux

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

Le foin en grosses balles rectangulaires s'est répandu depuis quelques années avec l'avènement des presses à grand format. Ces balles ont des dimensions bien adaptées au transport routier, soit une largeur de 48" (1,22 m), soit une largeur de 32" (0,81 m) selon le modèle de presse. On peut ainsi placer deux ou trois balles sur la largeur normale de transport de 96" (2,44 m), par deux ou trois balles de haut sur toute la longueur de la semi-remorque. Toutefois, la conservation du foin en grosses balles rectangulaires exige une teneur en eau très basse, de 12 à 18% selon l'utilisation, pour éviter le développement de moisissures. À cause du risque élevé de pluie et du climat souvent frais au Québec, il est presque impossible d'atteindre ces basses teneurs en eau par le fanage naturel au champ. C'est pourquoi plusieurs producteurs font l'enrubannage des grosses balles rectangulaires pour les conserver en ensilage. D'autres utilisent des conservateurs antifongiques comme l'acide propionique. Une autre approche est le séchage artificiel des grosses balles de foin. La ventilation à l'air forcé est déjà utilisée pour le séchage des petites balles rectangulaires de section de 14" par 18" (0,36 m par 0,46 m) et pesant de 40 à 80 lb (18 à 36 kg). Par contre, les grosses balles rectangulaires sont 10 à 20 fois plus lourdes et généralement plus denses que les petites balles rectangulaires. Elles présentent donc un défi pour souffler l'air également à travers la masse et obtenir une teneur en eau finale uniforme.

Un projet de recherche

Un projet de recherche a été entrepris par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) sur le séchage des grosses balles de foin rectangulaires. Le projet répondait à deux besoins distincts. Le premier consistait à évaluer diverses technologies de récolte et d'entreposage des fourrages destinés à la biomasse (énergie, produits industriels, etc.). Le deuxième besoin visait à démontrer qu'on pouvait sécher de grosses balles rectangulaires pour le marché du foin de commerce. Dans les deux cas, on cherchait à produire un foin stable qui se conserverait bien pendant au moins un an.

Un groupe de chercheurs de l'Université Laval et d'AAC a obtenu une subvention du Conseil de recherche en pêche et agroalimentaire du Québec (CORPAQ) pour développer des technologies bénéfiques à la production du foin de commerce. Sous la direction du professeur Roger Thériault du Département des sols et de génie agroalimentaire et la co-direction de Philippe Savoie d'AAC, le projet s'intéresse à la mesure de la teneur en eau en continu (avec le professeur Dominic Grenier du Département de génie électrique) et à l'établissement des seuils d'humidité critiques pour prévenir le développement des moisissures (avec le D^r Luc Couture d'AAC). Au cours de l'été 2002, nous avons aussi bénéficié d'une commandite de la compagnie New Holland qui a fourni un tracteur et une presse à grosses balles rectangulaires, modèle BB940. Nous présentons ici les développements reliés au séchage des grosses balles rectangulaires.

Études au laboratoire

Durant l'été et l'automne 2001, on a récolté plusieurs grosses balles rectangulaires chez des producteurs de la région de Québec. Les balles étaient emmenées au laboratoire, puis sectionnées en morceaux de 16" par 16" par 35" de hauteur (0,41 m par 0,41 m par 0,89 m); ces morceaux de foin étaient placés dans de petits séchoirs avec une soufflerie et des éléments chauffants. En soufflant l'air à des vitesses moyennes de 20 à 40 pi/min (0,1 à 0,2 m/s) et en augmentant la température de l'air ambiant d'environ 20°C, on réussissait à faire baisser la teneur en eau d'une section de foin de 30% à moins de 12% en 8 à 12 heures. Ces résultats montraient qu'il était possible de sécher de grosses balles de foin rapidement à des niveaux d'humidité sécuritaires pour la conservation et même l'exportation du foin. Par contre, la première couche en contact avec l'air chaud avait tendance à sursécher, avec des teneurs en eau finale de 4 à 8%, avant que la dernière couche en contact avec l'air chaud n'atteigne une teneur en eau finale de 12%.

Dans une expérience parallèle, on a incubé du foin de fléole (mil) et du foin de luzerne à différentes teneurs en eau, entre 10 et 25%. On a observé le développement de moisissures à des teneurs en eau aussi basses que 11% dans la fléole après trois mois d'incubation. Toutefois, la surface contaminée était très faible (moins de 1%) et difficile à observer à l'œil nu. Pour le foin de fléole destiné au commerce et à l'exportation sur de longues distances, il est donc sage d'avoir une teneur en eau très basse, sous le seuil de 12% pour éviter l'apparition de moisissures qui pourraient en affecter la valeur et l'innocuité. Dans le cas de la luzerne, on a observé de faibles contaminations de moisissures à 14-15% d'humidité après trois mois. La luzerne destinée à l'exportation devrait donc être conservée à une teneur en eau inférieure à 14%.

Conception d'un séchoir prototype

Les résultats au laboratoire nous ont guidés dans la conception d'un séchoir prototype pour les grosses balles de foin rectangulaires. On voulait sécher le foin sur une épaisseur d'une ou deux grosses balles, c'est-à-dire une épaisseur de 35" ou 70" (0,89 m ou 1,78 m). Le séchage devait être complété en moins de 24 heures de façon à pouvoir vider le séchoir et mettre un nouveau lot de balles à chaque jour.

Au départ, on pensait pouvoir travailler avec des balles de 32" par 35" par 96" de longueur (0,81 m par 0,89 m par 2,44 m). Pour faciliter la manutention des balles parfois très lourdes en raison de la teneur en eau pouvant atteindre 30% à la récolte, on a réduit la longueur des balles à environ 90" (2,29 m).

La densité des grosses balles peut varier selon l'ajustement de la compression. On a supposé que les grosses balles rectangulaires avaient une densité de matière sèche de 13 lb/pi³ (200 kg/m³). Une telle densité est beaucoup plus élevée que la densité des petites balles rectangulaires à faible ou moyenne densité (6 à 9 lb/pi³; 100 à 150 kg/m³). Donc une grosse balle de 2,13 m de longueur contiendrait 308 kg de matière sèche, 440 kg de matière totale à la récolte à 30% de teneur en eau et 350 kg de matière totale après un séchage uniforme à 12% d'eau. Il faut donc évaporer 90 kg d'eau par balle dans ces conditions. Par ailleurs si les balles sont récoltées à 22% d'humidité, il faut évaporer 45 kg d'eau par balle pour atteindre 12% d'humidité finale.

Le séchoir pilote a été conçu pour recevoir une couche de six balles ou deux couches superposées, c'est à dire douze balles. Les six balles du bas étaient déposées sur un plancher ajouré par lequel l'air pouvait circuler. Pour éviter le problème de surséchage, on a inclus la possibilité d'envoyer l'air vers le haut ou vers le bas en alternance, par un jeu d'ouverture et de fermeture de conduites. Il s'agit d'un système de ventilation bi-directionnel dont le but est d'uniformiser le séchage à travers la masse de foin. Pour des raisons pratiques, on a utilisé un système de ventilation avec pression négative, c'est-à-dire en suction. L'air était donc toujours tiré vers l'extérieur. Une toile de polyéthylène formait une jupe autour des balles, assurant ainsi l'étanchéité du séchoir.

Un brûleur au gaz propane fournissait l'énergie de séchage. Pour le séchoir pilote, on a estimé qu'il fallait évaporer 540 kg d'eau en 16 heures (6 balles de 30% à 12% d'eau, ou 12 balles de 22% à 12% d'eau). Théoriquement, il faut 2 500 kiloJoules (kJ) d'énergie pour évaporer un kg d'eau, à 100% d'efficacité thermique. À 50% d'efficacité thermique, il faut donc 5 000 kJ/kg d'eau évaporée. On a alors estimé qu'il fallait un brûleur capable de générer au moins 2,7 millions de kJ en 16 heures, ou 170 000 kJ/h. L'énergie d'un BTU (British Thermal Unit) est presque égale à 1 kJ (en fait, 1 BTU = 1,05 kJ). On a choisi un brûleur de 350 000 BTU/h, soit environ le double de la capacité estimée, pour tenir compte d'une efficacité thermique plus basse que prévue ou pour obtenir une capacité de séchage accrue.

Quant au ventilateur, il devait souffler l'air à une vitesse entre 0,1 et 0,2 m/s. Le plancher ajouré avait une surface de 8' par 16' (2,44 m par 4,88 m). Le débit d'air était donc entre 1,2 et 2,4 m³/s ou entre 2 500 et 5 000 pi³/min (cfm). Expérimentalement, on a observé que la perte de charge était de 6" d'eau (150 mm) à travers une balle de 35" de hauteur. Avec le ventilateur choisi, la perte de charge restait la même à travers deux couches de balles; par contre, la vitesse de l'air diminuait de moitié environ.

Le séchoir pilote a été fabriqué au printemps 2002. Il a été assemblé à la Ferme de recherche de Normandin d'Agriculture et Agroalimentaire Canada; il a pu être mis en marche dès la première coupe de foin en juin 2002.

Récolte et séchage des grosses balles en 2002

La densité des grosses balles rectangulaires récoltées en 2002 était généralement plus élevée que prévue, à l'exception de la luzerne de première coupe qui avait une densité de matière sèche d'environ 190 kg/m³. En deuxième coupe, la luzerne avec des tiges plus fines avait une densité de matière sèche de l'ordre de 210 kg/m³. La fléole avait une densité qui variait entre 195 et 215 kg/m³ tandis que des balles de dactyle avaient une densité considérablement élevée de 255 kg/m³. Ces densités élevées causaient une plus grande résistance à la trajectoire de l'air à travers les balles. En général, l'air circulait à une vitesse entre 0,1 et 0,2 m/s.

Les teneurs en eau à la récolte ont varié entre 12 et 28%. La quantité d'eau évaporée par lot a varié entre 260 et 470 kg, un peu moins que la quantité de 540 kg sur laquelle on avait basé la capacité du séchoir. Les teneurs en eau à la fin du séchage étaient comprises entre 4 et 21%. Il va de soi que des teneurs en eau finales inférieures à 12% ne sont pas efficaces, car elles signifient un surséchage donc une dépense en énergie plus élevée que nécessaire. De plus, des teneurs en

eau très basses représentent une perte de poids et une perte monétaire lorsque le foin est commercialisé sur la base de la masse humide.

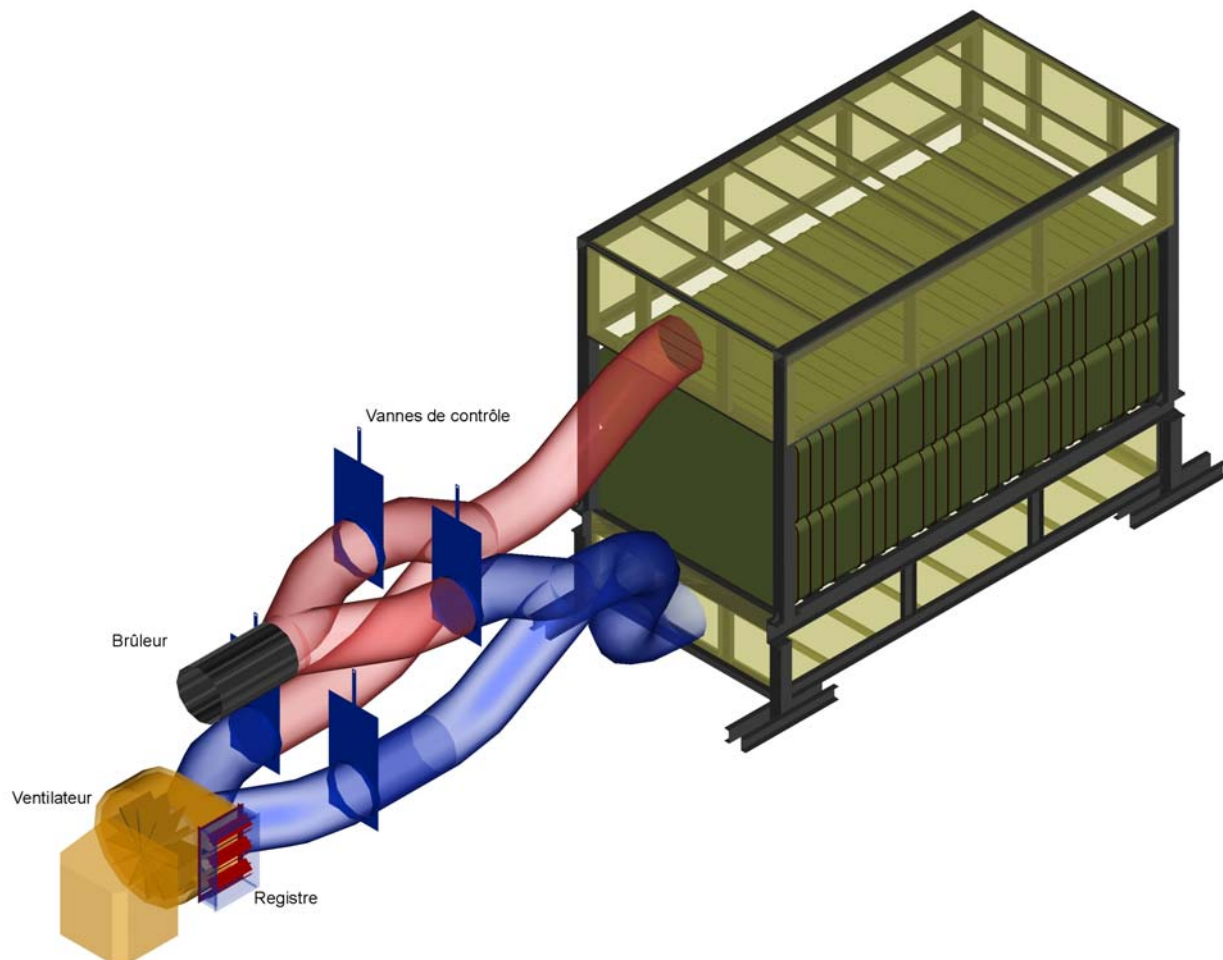


Figure 1: Séchoir prototype 2002

Modifications pour la saison 2003

Pour économiser l'énergie de chauffage, un système de re-circulation d'air a été ajouté en 2003. Ce dispositif permet de recycler entre 0% et 100% de l'air à la sortie du séchoir en faisant dévier une partie du flux de sortie vers l'entrée d'air. Le taux de recyclage est ajustable en cours de procédé par un contrôle électromécanique. Un capteur de courant a été ajouté au séchoir pour mesurer la consommation d'énergie du système de ventilation. L'algorithme et l'interface de contrôle ont aussi été modifiés afin de rendre le système capable de fonctionner en mode complètement automatique ou manuel. Pour permettre un fonctionnement totalement embarqué du séchoir, un contrôleur virtuel de température a été développé. Un nouveau panneau de contrôle permettant de choisir entre le contrôle de la température par le contrôleur Fuji ou le contrôleur virtuel a aussi été installé.

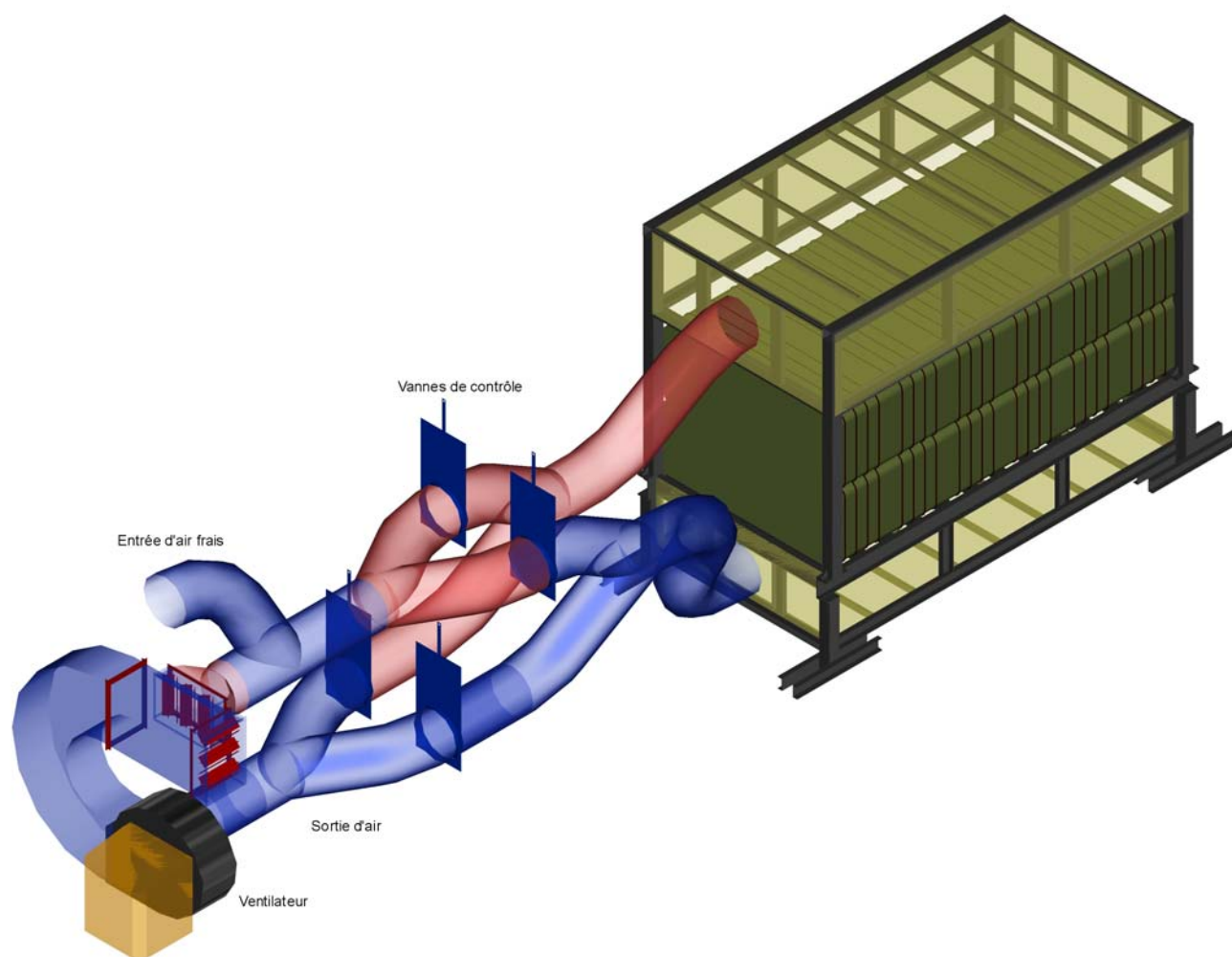


Figure 2 : Séchoir prototype 2003

Récolte et séchage des grosses balles en 2003

Durant l'été 2003, 108 grosses balles rectangulaires ont été séchées en 13 lots (8 lots de 6 balles et 5 lots de 12 balles). La densité des balles variait entre 168 et 230 kg/m³ et la teneur en eau à la récolte était de 19 à 34%. La vitesse moyenne de l'air à travers la masse de foin était de 0,21 m/s pour les lots de 6 balles et de 0,12 m/s pour ceux de 12. La quantité d'eau évaporée par 6 balles par lot a varié entre 321 et 608 kg, un peu plus que lors de la saison 2002. Les teneurs en eau à la fin du séchage étaient comprises entre 5 et 25%. Cependant, pour certains lots, nous avons obtenu la teneur en eau finale visée de 12%. Comme observé en 2002, une densité et une teneur en eau initiales élevées ne donnent pas de bon résultats. Par contre en diminuant la densité au niveau d'environ 170 kg MS/m³, des balles relativement humides peuvent être bien séchées en un temps raisonnable (moins de 24 h). Les figures 3 et 4 présentent un résumé des résultats de séchage obtenus à l'été 2003.

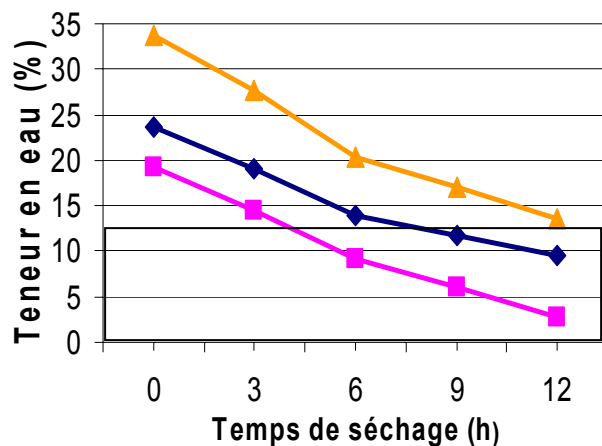


Figure 3. Teneur en eau d'une rangée de six balles séchées dans le séchoir pilote

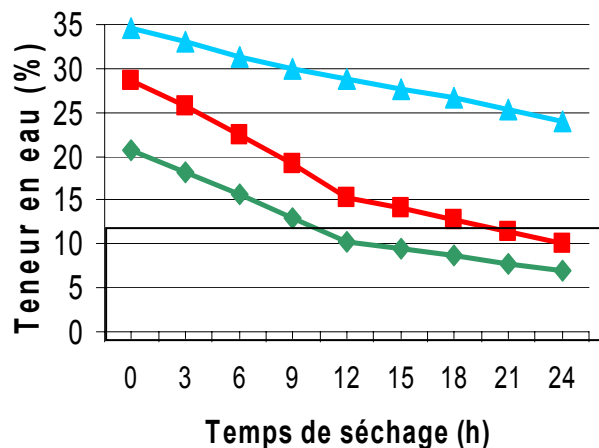


Figure 4. Teneur en eau de deux rangées (12 balles) séchées dans le séchoir pilote.

Des balles ont été séchées de 20% à 12% en 4 heures lorsqu'il y avait une rangée de balles et en 10 heures avec deux rangées. Pour une teneur en eau initiale de 25%, la période de séchage est allongée à 10 heures pour 6 balles et à 20 heures pour 12 balles. Le débit d'air bidirectionnel procure un séchage plus uniforme et une économie d'énergie de 15% à 35% comparativement à un débit unidirectionnel.

Avenir du séchage des grosses balles de foin

Les grosses balles de foin rectangulaires représentent un format pratique pour le transport et l'exportation de foin et de biomasse. La principale contrainte au développement du foin en grosses balles reste un séchage uniforme à un niveau suffisamment bas pour une bonne conservation à un coût abordable.

Le tableau 1 présente un estimé de la capacité et des coûts de séchage pour un séchoir ayant une capacité de 108 balles par lots. Les calculs sont basés sur un investissement initial de 185 000\$ pour la construction du séchoir et un amortissement sur 10 ans de l'investissement.

Tableau 1. Capacité estimée et coût total de séchage

Séchage visé (t.e.e.)	20 à 12%	25 à 12%	30 à 12%
Capacité annuelle	3000 t/an	2000 t/an	1000 t/an
Coût d'opération \$/t	4,83	8,38	12,43
Coût fixe \$/t	9,30	13,94	27,89
Coût total \$/t	14,13	22,32	40,31

Selon ces résultats, un système de séchage permettrait à un producteur de foin de commerce d'augmenter de manière significative la proportion de foin d'excellente qualité produit sur son entreprise. Si la valeur ajoutée au foin est plus grande que les coûts de séchage, il sera donc rentable d'utiliser le séchage artificiel.

Ensilabilité de la luzerne et effet de différents additifs sur sa fermentation

André Amyot

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA),
120-A Chemin du Roy, Deschambault (Québec), G0A 1S0

Une étude a été menée afin de déterminer l'évolution de l'ensilabilité de la luzerne pendant la saison sous les conditions de Deschambault. Des parcelles de luzerne (cultivar Apica) ont été récoltées à 7 dates différentes à chaque coupe pendant une saison de croissance, soit 3 à 9 semaines après le 1^{er} mai (coupe 1), après le 14 juin (coupe 2) et après le 8 août (coupe 3). Les sucres solubles ont diminué avec l'âge de la luzerne à la 1^{ère} coupe alors qu'ils ont été relativement bas et stables à la 2^{ème} coupe et ont augmenté à la 3^{ème} coupe. Le pouvoir tampon a diminué avec l'âge de la luzerne sauf au début de la 1^{ère} pousse. La population de bactéries lactiques a été supérieure à 10^5 UFC / g de fourrage principalement dans la luzerne âgée de plus de 7 semaines à la 1^{ère} coupe, pratiquement quel que soit l'âge de la luzerne à la 2^{ème} coupe et seulement dans la luzerne âgée de moins de 6 semaines à la 3^{ème} coupe. Au stade de récolte recommandé (début de floraison), la luzerne de 2^{ème} coupe a eu une ensilabilité plus faible que celle de 1^{ère} coupe, principalement à cause de sa teneur en sucres solubles plus faible. De plus, la population de bactéries lactiques naturelles ($>10^5$ UFC/g) a été plus grande qu'à la 1^{ère} coupe de sorte que l'efficacité des inoculants bactériens peut être plus faible qu'à la 1^{ère} coupe. Quant à la 3^{ème} coupe de luzerne récoltée en octobre, son ensilabilité a été beaucoup meilleure que celle de la 1^{ère} coupe, tel qu'indiqué par une teneur en sucres solubles plus élevée et un rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » beaucoup plus élevé. De plus, la population de bactéries lactiques naturelles (pas $> 10^5$ UFC/g) a été comparable à celle de la 1^{ère} coupe, de sorte que l'efficacité des inoculants bactériens peut être meilleure qu'à la 1^{ère} coupe.

Six expériences réparties sur 3 années différentes ont aussi été réalisées afin de vérifier l'efficacité des inoculants bactériens homolactiques (Silage II Inoculant ou Sila-Bac 1174), de l'acide formique (différentes doses), des produits sucrés (mélasse ou orge + malt) et de l'addition simultanée d'un inoculant et d'un produit sucré dans la luzerne récoltée à 30-35% MS en mi-été (3 expériences) et en fin de saison (3 expériences) et ensilée en silo-meule. Dans les récoltes de mi-été, l'acidification de l'ensilage non traité n'a pas été suffisante pour atteindre le pH de stabilité anaérobie et l'inoculation bactérienne n'a pas permis d'abaisser significativement le pH dans chacune des 3 expériences. L'ajout de produits sucrés a eu un effet variable : la mélasse (12 l/t) n'a pas permis d'abaisser significativement le pH dans 2 expériences alors que le traitement orge (25 kg/t) + malt (2,5 kg/t) l'a réduit dans 1 expérience. Par contre l'ajout combiné d'un inoculant et d'un produit sucré a permis d'abaisser significativement le pH, tout comme le traitement à l'acide formique (2-3 l/t et 7 l/t). Dans les récoltes de fin de saison (octobre), l'acidification de l'ensilage non traité a généralement (2 essais sur 3) été suffisante pour atteindre le pH de stabilité anaérobie et l'inoculation bactérienne a généralement (2 essais sur 3) permis d'abaisser significativement le pH. L'ajout de mélasse (12 l/t), seul ou combiné avec un inoculant bactérien a eu le même effet. Par contre le traitement à l'acide formique (3-5 l/t) a eu une efficacité variable et généralement (2 essais sur 3) plus faible que l'inoculation bactérienne en terme d'abaissement de pH.

Ensilabilité de la luzerne et effet de différents additifs sur sa fermentation

André Amyot



Introduction



• Ensilabilité

- Sucres solubles
- Pouvoir tampon
- Population de bactéries lactiques
- Teneur en matière sèche

• Additifs

- Activateurs de fermentation
- Inhibiteurs de fermentation

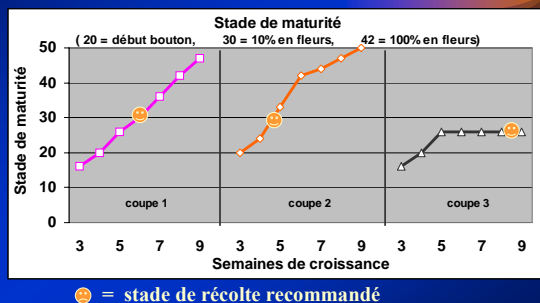
Objectif généraux

- Variation saisonnière de l'ensilabilité en fonction de la coupe et du stade de maturité
- Effet de différents additifs sur la fermentation dans des conditions d'ensilabilité différentes

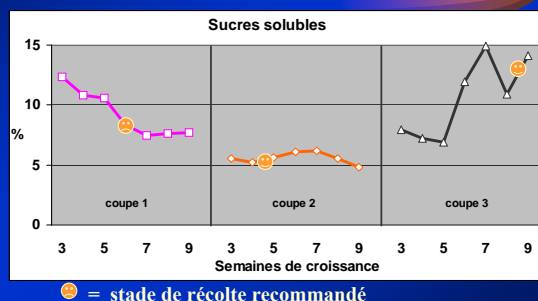
Ensilabilité - Variation saisonnière Méthodologie

- 84 parcelles expérimentales
- Suivi pendant 1 année
- 3 coupes x 7 dates x 4 répétitions
- Coupe 1 : 3 à 9 semaines après le 1 mai
- Coupe 2 : 3 à 9 semaines après le 14 juin
- Coupe 3 : 3 à 9 semaines après le 8 août

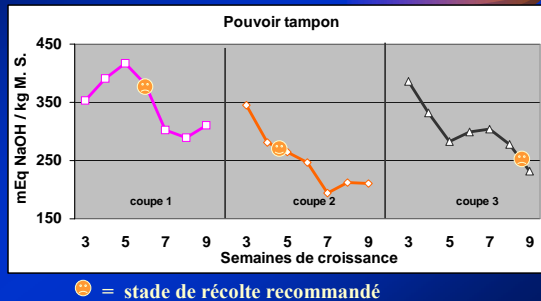
Ensilabilité - Variation saisonnière



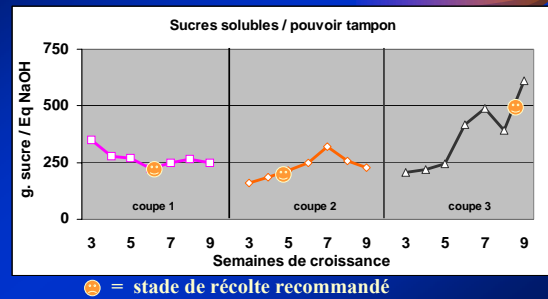
Ensilabilité - Variation saisonnière



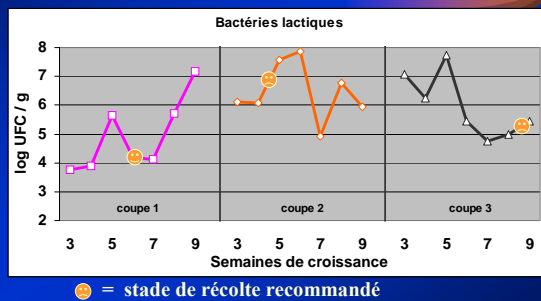
Ensilabilité - Variation saisonnière



Ensilabilité - Variation saisonnière



Ensilabilité - Variation saisonnière



Ensilabilité - Variation saisonnière Synthèse – stade de récolte recommandé

	Coupe 2 vs coupe 1	Coupe 3 vs coupe 1
Sucres solubles	Plus faibles	Plus élevées
Pouvoir tampon	Plus faible	Plus faible
Sucres solubles / pouvoir tampon	Comparable	Beaucoup plus élevé
Ensilabilité	Plus faible ou égale	Beaucoup meilleure
Bactéries lactiques naturelles	Plus nombreuses ($> 10^5$)	Comparables ($\text{pas } > 10^5$)
Efficacité des inoculants bactériens	Peut être réduite	Favorisée

Effet de différents additifs Objectif

- Vérifier l'efficacité des inoculants bactériens homolactiques et de d'autres additifs dans des conditions d'ensilabilité différentes

Effet de différents additifs Méthodologie

Ensilage en silo meule à 30-35% MS

- Luzerne pure ou luzerne + fléole
- 3 expériences en mi-saison
- 3 expériences en fin de saison

Traitements

- 1- Témoin
- 2- Inoculant bactérien homolactique
- 3- Acide formique (dose variable)
- 4- Produit sucré (mélasse ou orge + malt)*
- 5- Inoculant + produit sucré*

* pas dans toutes les expériences

Effet de différents additifs Méthodologie

Inoculants bactériens

- Silage II inoculant (Biotal Inc) → [légum. 25-35% MS]
 - Bactéries
 - *Lactobacillus plantarum* et *Pediococcus pentosaceus*
 - Fournit $9,9 \times 10^4$ UFC bactéries lactiques / gramme d'ensilage
 - Enzymes
 - Amylase, xylanase, β -glucanase, galactomannanase et lichenase
- Sila-Bac 1174 (Pioneer) → [luzerne 20-48% MS]
 - Bactéries
 - *Lactobacillus plantarum* et *Streptococcus faecium*
 - Fournit 1×10^5 UFC bactéries lactiques / gramme d'ensilage

Effet de différents additifs Récolte de mi-été

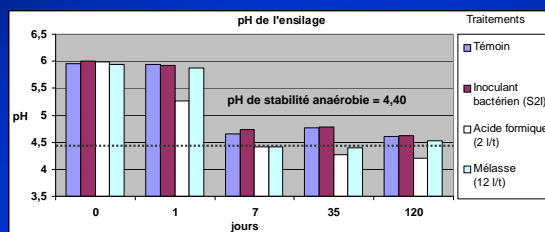
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Espèce(s)	Luz. - fléole	Luzerne	Luz.- fléole
Date	21 août	22 juillet	22 juillet
Sucres solubles (%)	11,7	9,6	9,4
Pouvoir tampon (mEq NaOH / kg MS)	290	264	342
Bactéries lactiques (UFC / g)	$1,9 \times 10^7$	$1,8 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$

Effet de différents additifs Récolte de mi-été

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Espèce(s)	Luz. - fléole	Luzerne	Luz.- fléole
Date	21 août	22 juillet	22 juillet
Matière sèche (%)	30,0	31,2	28,0
Protéine brute (%)	19,3	21,9	17,1
ADF (%)	32,6	28,8	35,7
NDF (%)	55,1	40,8	58,6

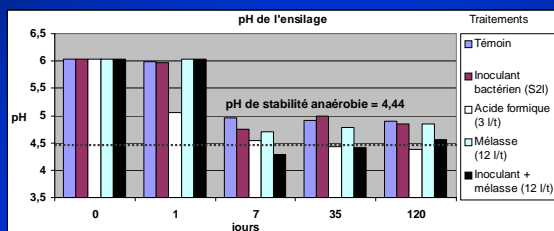
Effet de différents additifs Récolte de mi-été

Essai 1



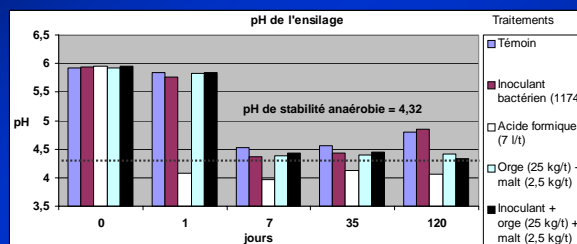
Effet de différents additifs Récolte de mi-été

Essai 2



Effet de différents additifs Récolte de mi-été

Essai 3



Effet de différents additifs Synthèse - Récolte de mi-été

pH final inférieur au témoin

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
Inoculant bactérien	Non		Non		Non	
Acide formique	2 l/t	Oui*	3 l/t	Oui*	7 l/t	Oui*
Mélasse ou Orge	Mél.	Non	Mél.	Non	Orge	Oui
Inoculant + Mél. ou Orge	_____		Mél.	Oui	Orge	Oui*

* = atteinte du pH de stabilité anaérobie

Effet de différents additifs Récolte de fin de saison

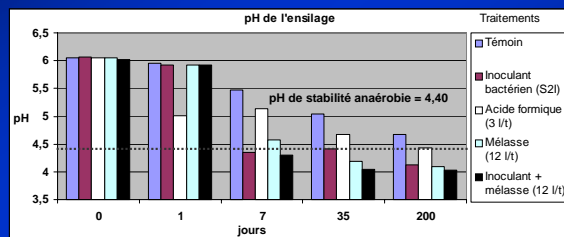
	Essai 4	Essai 5	Essai 6
Espèce(s)	Luzerne	Luzerne	Luz.- fléole
Date	19 octobre	8 octobre	9 octobre
Sucres solubles (%)	14,3	10,8	15,1
Pouvoir tampon (mEq NaOH / kg MS)	214	189	313
Bactéries lactiques (UFC /g)	$8,3 \times 10^4$	$5,6 \times 10^4$	-----

Effet de différents additifs Récolte de fin de saison

	Essai 4	Essai 5	Essai 6
Espèce(s)	Luzerne	Luzerne	Luz.- fléole
Date	19 octobre	8 octobre	9 octobre
Matière sèche (%)	29,9	37,1	27,7
Protéine brute (%)	18,5	15,8	16,6
ADF (%)	32,2	30,5	33,5
NDF (%)	45,3	49,5	46,7

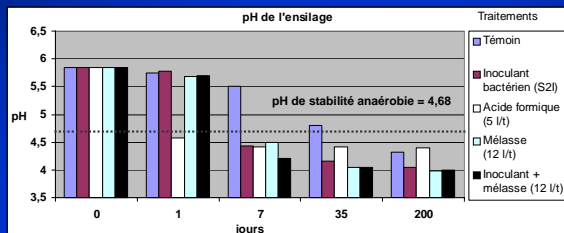
Effet de différents additifs Récolte de fin de saison

Essai 4



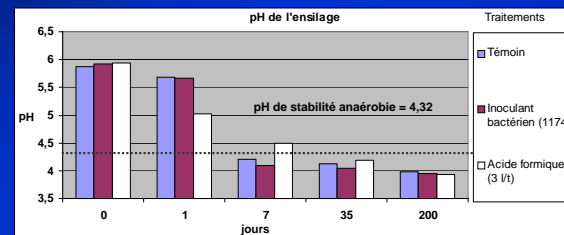
Effet de différents additifs Récolte de fin de saison

Essai 5



Effet de différents additifs Récolte de fin de saison

Essai 6



Effet de différents additifs Synthèse - Récolte de fin de saison

pH final inférieur au témoin

	Essai 4	Essai 5	Essai 6
Inoculant bactérien	Oui *	Oui *	Non
Acide formique	3 l/t Oui (effet plus faible que l'inoculant)	5 l/t Non	3 l/t Non (significatif mais négligeable)
Mélasse	Oui *	Oui *	_____
Inoculant + Mélasse	Oui *	Oui *	_____

* = pH comparable pour inoculant, mélasse et inoculant + mélasse

Conclusion générale

• Récolte de mi-été (juillet et août)

- Ensilabilité plus faible ou égale que la 1^{ère} coupe
- Population de bactéries lactiques gén. > 10⁵ UFC/g
- En terme d'abaissement de pH :
- I.B. (avec ou sans enzymes) = efficacité faible
- Produits sucrés (faible dose) = efficacité variable
- I.B. + produit sucré = gén. plus efficace que I.B.
- Acide formique (faible dose) = plus efficace que I.B.

I.B. = inoculant bactérien

Conclusion générale

• Récolte de fin de saison (octobre)

- Ensilabilité beaucoup meilleure que la 1^{ère} coupe
- Population de bactéries lactiques gén. pas > 10⁵ UFC/g
- En terme d'abaissement de pH :
- I.B. = généralement bonne efficacité
- Produits sucrés (faible dose) = aussi efficace que I.B.
- I.B. + produit sucré = pas plus efficace que I.B.
- Acide formique (faible dose) = gén. moins efficace

I.B. = inoculant bactérien

La qualité de l'ensilage de fléole est affectée par la fertilisation azotée et le stade de développement.

Gaëtan Tremblay¹, Gilles Bélanger¹ et Raynald Drapeau²

Agriculture et Agroalimentaire Canada, ¹2560, boul. Hochelaga, Sainte-Foy (QC) G1V 2J3, tremblaygf@agr.gc.ca, ²1468, St-Cyrille, Normandin (QC) G8M 4K3.

Les effets de la fertilisation azotée et du stade de maturité sur le rendement en matière sèche (MS) sont très bien documentés mais il y a eu beaucoup moins d'études concernant leurs influences sur la qualité de l'ensilage de fléole des prés (*Phleum pratense* L.). Nous avons donc mesuré certains paramètres de qualité du fourrage et de l'ensilage de fléole récoltée à quatre stades de développement (parcelles principales, 1 = élongation de la tige, 2 = début épiaison, 3 = fin épiaison et 4 = début floraison) et fertilisée avec quatre taux d'azote (sous-parcelle, 0, 60, 120 et 180 kg N / ha). L'azote était appliqué au printemps alors que les récoltes ont été effectuées au cours de la croissance printanière, et ce, pendant deux ans à un site de Lévis et un an à un site de Normandin. Les parcelles au champ étaient disposées selon un dispositif en tiroir avec quatre répétitions. Le fourrage de chaque parcelle a été préfané jusqu'à un taux de MS de 35%, haché et compacté dans des mini-silos en PVC d'une capacité de 0,8 (Lévis) ou 1,4 kg (Normandin). Des échantillons d'ensilage ont été prélevés après 150 jours de fermentation.

La concentration en sucres solubles a diminué (Fig. 1a) et le pouvoir tampon du fourrage de fléole a augmenté avec la fertilisation azotée (Fig. 1b), et ce surtout à deux premiers stades de développement; le rapport sucres solubles / pouvoir tampon, qu'on appelle aussi la capacité d'acidification du fourrage, a aussi diminué avec une augmentation de la fertilisation azotée (Fig. 1c). La concentration en nitrates du fourrage a augmenté avec une augmentation de la fertilisation azotée; cette augmentation a été plus importante aux deux premiers stades de développement (Fig. 1d).

En moyenne pour les trois premiers stades de développement, la fertilisation azotée a causé une augmentation du pH de 4,4 à 4,8 (Fig. 2a) et de la concentration en ammoniacque (N-NH₃) de 41 à 76 g / kg d'azote total dans l'ensilage (Fig. 2b). Avec une augmentation de la fertilisation azotée, l'azote non protéique de l'ensilage fabriqué en mini-silos a augmenté de 13% en moyenne pour les trois premiers stades de développement mais a diminué de 27% au stade début floraison (Fig. 2c).

Pour l'ensemble des trois années-sites, la concentration en sucres solubles, le pouvoir tampon et le rapport sucres solubles / pouvoir tampon du fourrage n'étaient pas corrélés avec le pH et la concentration en ammoniacque (données non montrées), alors qu'ils étaient faiblement mais significativement ($P < 0,01$) corrélés ($r = -0,40$, $0,44$ et $-0,44$, respectivement) avec la concentration en azote non protéique de l'ensilage (Fig. 3a, b et c, respectivement). Pour une année et un site donné par contre, la concentration en azote non protéique de l'ensilage de fléole n'était plus corrélée avec les paramètres permettant d'évaluer l'aptitude du fourrage à la fermentation en ensilage (Fig. 3a, b, et c). La concentration en sucres solubles, le pouvoir tampon

et la capacité d'acidification du fourrage seraient donc de mauvais indicateurs prévisionnels de la qualité de l'ensilage de fléole des prés.

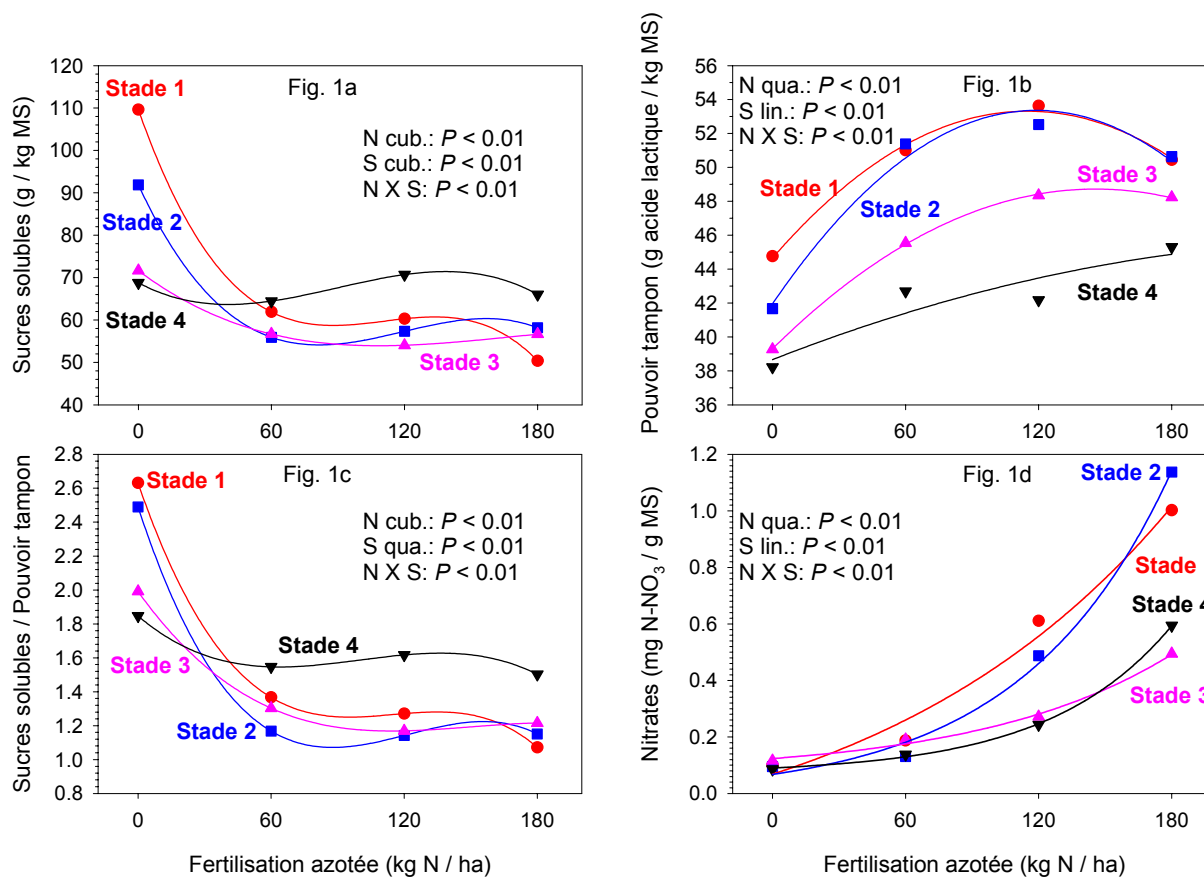


Figure 1. Effet de la fertilisation azotée et du stade de développement sur certains paramètres de qualité permettant d'évaluer l'aptitude du fourrage de fléole des prés à la fermentation en ensilage.

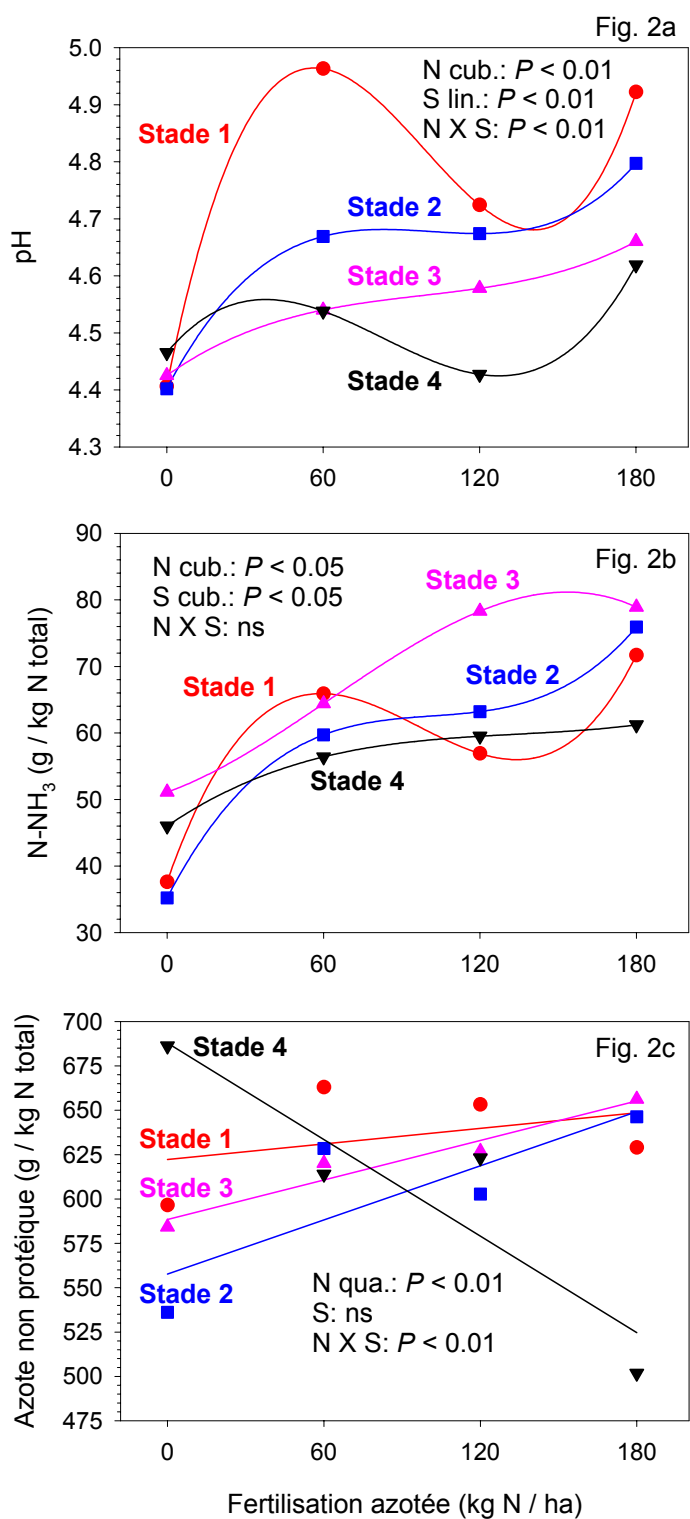


Figure 2. Effet de la fertilisation azotée et du stade de développement sur certains paramètres de qualité de l'ensilage de fléole des prés.

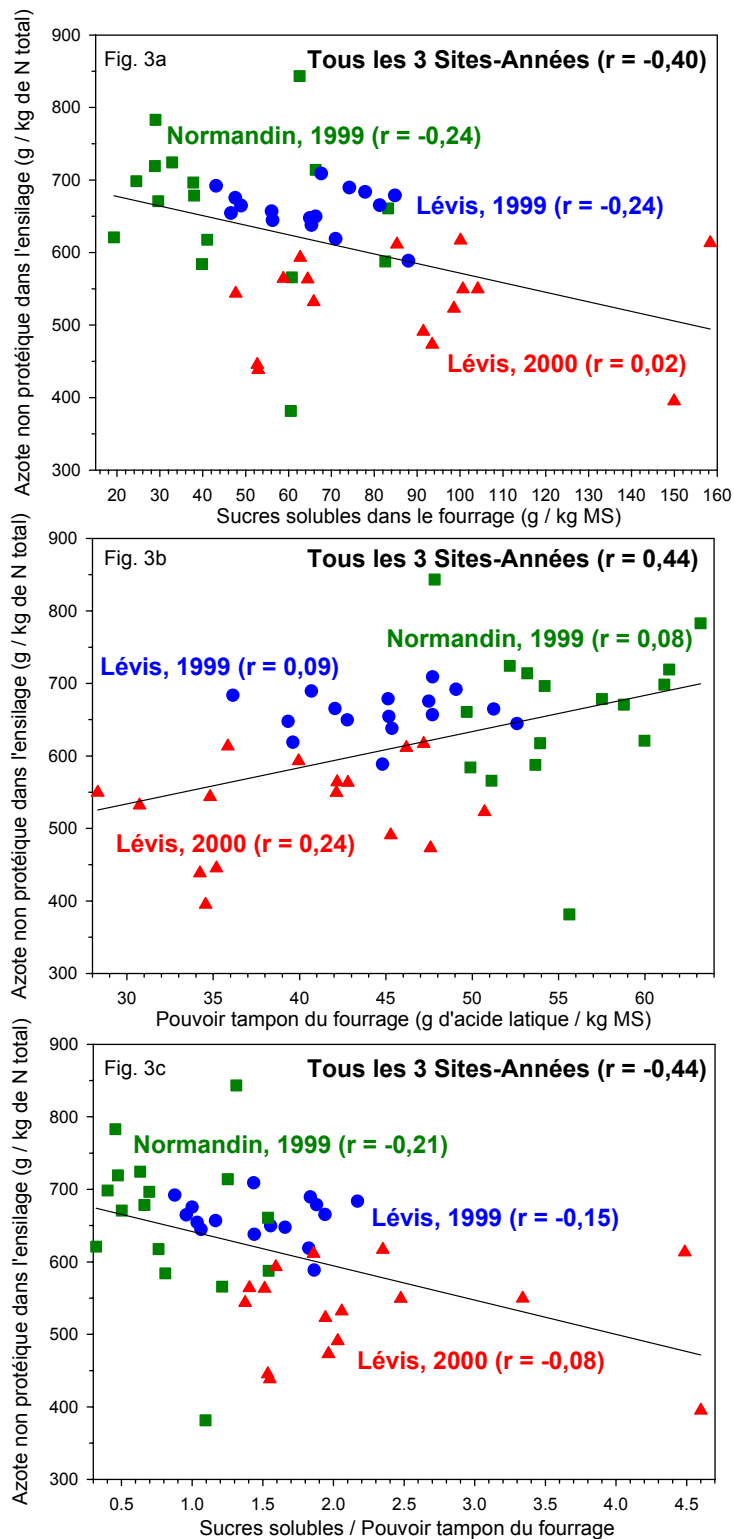


Figure 3. Relation entre la concentration en azote non protéique de l'ensilage et certains paramètres permettant d'évaluer l'aptitude de la fléole des prés à la fermentation.

Effet de l'âge des plantes sur la tolérance au gel de la luzerne

Yves Castonguay, Paul Nadeau et Réal Michaud

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
Tel : 418-657-7980 poste 231, Fax : 418-648-2402, courriel : castonguayy@agr.gc.ca

Des plantules de luzerne (*Medicago sativa* L.) semées à l'automne et acclimatées sous des conditions hivernales simulées en serre non chauffée atteignent des niveaux de tolérance au gel très élevés avec des températures létales pour 50% des plantes (LT_{50}) pouvant varier entre -20 et -30°C. Ce niveau de résistance au gel est nettement supérieur au seuil critique de -15°C généralement reconnu comme critique pour la survie à l'hiver de la luzerne dans l'est du Canada. L'objectif de notre étude était de comparer la tolérance au gel et certains changements biochimiques associés à l'acquisition de la tolérance au gel entre des plantules semées à l'automne et des plantes plus âgées établies au champ.

Des plants du cultivar AC Caribou ont été semés au printemps 2000 et mis en croissance sous des conditions environnementales contrôlées pendant une période de 8 semaines. Les plantes ont été subséquemment coupées et transplantées en buttes (8 plants/butte) espacées de 90 cm à un site adjacent à une serre non chauffée localisée sur la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Saint-David de l'Auberivière sur la rive sud de Québec. L'évaluation de la tolérance au gel a été effectuée sur deux années consécutives (2000-2001 et 2001-2002) pour évaluer l'effet de l'âge des plantes sur leur capacité à tolérer le gel en utilisant un nouveau semis d'automne à chaque année pour fins de comparaison. À chacune des deux années, les plantes semées à l'automne étaient établies sous des conditions environnementales contrôlées pendant une période de cinq semaines et étaient par la suite transférées dans la serre non chauffée pour leur acclimatation à la réduction naturelle de la photopériode et des températures. Les plantes établies au champ étaient quant à elles prélevées à la mi-novembre, mises en pot et transférées dans la serre non chauffée pour leur acclimatation sous les mêmes conditions que les plantes semées à l'automne.

À chaque année les plantes plus âgées établies au champ ont démontré des niveaux de tolérance au gel nettement inférieurs à ceux des jeunes plantules semées à l'automne (Figure 1 : LT_{50} -17°C vs. -30°C). Nous avons également observé pour les plantes établies au champ, un niveau de tolérance au gel inférieur pour les plantes âgées de deux ans (LT_{50} : -16°C) comparativement à l'année du semis (-18°C). Les facteurs responsables de cette réduction (conditions d'acclimatation vs. physiologie des plantes) demeurent inconnus. Des plantes prélevées directement en champ en janvier ont permis de confirmer que les niveaux inférieurs de tolérance au gel chez les plants plus âgés étaient attribuables au vieillissement plutôt qu'à un effet secondaire du repotage des plants à l'automne. La faible tolérance au gel des plants plus âgés était de façon consistante associée à des niveaux nettement plus bas d'expression de gènes inductibles par le froid et à des teneurs significativement moindres d'amidon et de proline. Même si les niveaux des certains sucres solubles, tels le raffinose et le stachyose, et d'acides aminés, tels l'histidine et l'arginine, étaient plus abondants chez les plantes établies au champ que chez les

jeunes plantules lors de la première année d'échantillonnage, ces tendances se sont inversées lors de la seconde année suggérant un lien plutôt faible entre ces changements et les différences observées dans la LT_{50} des deux groupes de plantes.

Nos résultats illustrent l'importance de l'âge des plantes dans la détermination de la capacité à tolérer les agressions par le gel. Ces résultats ne signifient pas toutefois que l'on doive établir les luzernières au mois d'août. La recommandation de semer tôt au printemps demeure toujours la plus avantageuse en raison des meilleures chances de succès pour l'établissement.

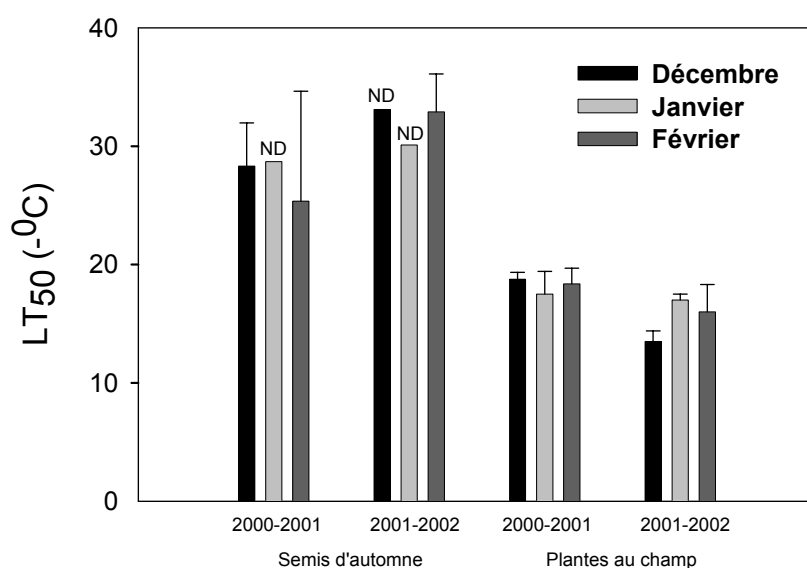


Figure 1 : Tolérance au gel (LT_{50} °C) de plantules de luzerne semées à l'automne de chaque année (2000 et 2001) comparativement à des plants plus âgés établis au champ au printemps 2000 et maintenus pendant deux années consécutives.

Facteurs affectant la concentration de phytoestrogènes dans les légumineuses fourragères

Philippe Seguin, Evan C. Sivesind, et Wenju Zheng.

Département de sciences végétales, Campus Macdonald - Université McGill, 21111 Lakeshore Road., Sainte-Anne-de-Bellevue (QC) H9X 3V9. Tel (514) 398-7851 ext 7855, Fax (514) 398-7897, philippe.seguin@mcgill.ca

Introduction

La luzerne et le trèfle rouge contiennent tous deux des phytoestrogènes incluant le coumestrol, l'apigénine, la formononétine, et la biochanine A. Ces molécules sont reliées à des problèmes de reproduction chez les ruminants, les moutons en particulier, du à leur activité oestrogénique. Cependant ces mêmes molécules peuvent aussi avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine ayant des propriétés anti-cancéreuses, anti-athérosclérotiques et anti-oxidatives. La luzerne et le trèfle rouge sont donc parfois utilisés sous forme d'extrait ou de poudre comme supplément alimentaire ou nutraceutique (Roberts *et coll.*, 2001). Plusieurs facteurs peuvent cependant affecter la concentration en phytoestrogènes des légumineuses, incluant les conditions environnementales, la maturité et la région des plantes, de même que leur origine. Il y cependant peu d'information concernant l'impact de ces facteurs sur la luzerne et le trèfle rouge. Nous avons donc réalisé une série d'expériences afin d'identifier les méthodes de production qui maximisent la concentration en phytoestrogènes de ces deux espèces.

Méthodologie

Des parcelles de 10 cultivars de luzerne (AC Caribou, AC Viva, Apica, Brador, Excel, Gibraltar, Magnum III-Wet, PS8925, Quattro, Runner) et de 10 cultivars de trèfle rouge (AC Charlie, Azur, Belle, Concorde, Prima, Ram, Scarlett, Start, Tempus, Walter) ont été établies en 2002 à deux sites à Montréal, afin de déterminer l'impact de l'environnement sur la concentration en phytoestrogènes de cultivars recommandés pour la production de fourrage au Québec. Les parcelles ont été récoltées au stade début floraison en 2002 et 2003. Des échantillons de 50 g de fourrages frais furent congelés à -70 °C jusqu'à leur extraction. Dans une autre expérience un champ de luzerne (5312) établi en 2000 a été échantillonné au cours de l'été 2002, afin de déterminer la variation en phytoestrogènes selon les stades de développement décrits par Kalu et Fick (1981), et aussi afin de déterminer la concentration de différentes parties de la plante. Les phytoestrogènes furent extraits utilisant le protocole de Petterson et Kiessling (1984). La concentration en phytoestrogènes des extraits fut ensuite déterminée par HPLC; ils furent tous détectés à 254 nm. Les concentrations de lutéoline, apigénine, quercétine, et coumestrol furent calculées pour la luzerne, et celles de génistéine, daidzéine, biochanine A, et formononétine pour le trèfle rouge, utilisant dans chaque cas des standards commerciaux (Sigma-Aldrich Canada).

Résultats

Luzerne : Aucune différence ne fut observée entre les 10 cultivars au cours de l'année du semis (nous analysons présentement les échantillons de l'année post-semis), tous ayant de faibles concentrations en phytoestrogènes. Des différences furent observées entre les coupes, les concentrations d'apigénine et de lutéoline étant 18 et 38% supérieures à la première de deux

coupes, celle de quercétine étant 39% inférieure. La concentration en phytoestrogènes fut cependant fortement affectée par le stade de maturité, étant maximale aux stades végétatifs pour le coumestrol et l'apigénine, et aux premiers stades végétatifs et au stade de fleuraison avancée pour la lutéoline et la quercétine. Dans tous les cas les concentrations en phytoestrogènes furent minimales au stade premières fleurs (moyenne de $68 \mu\text{g g}^{-1}$ MS), malgré le fait que tous furent observés en plus grande concentration dans les fleurs que les tiges, excepté le coumestrol pour lequel il n'y avait pas de différence.

Trèfle Rouge : Tous les cultivars évalués avaient de faibles concentrations en génisteine (moyenne de $217 \mu\text{g g}^{-1}$ MS par coupe) et daidzeine ($70 \mu\text{g g}^{-1}$ MS), mais de fortes concentrations en biochanine A ($3485 \mu\text{g g}^{-1}$ MS) et formononétine ($4580 \mu\text{g g}^{-1}$ MS). La concentration en phytoestrogènes totale fut supérieure l'année suivant le semis lorsque comparée à celle du semis (moyenne de 8609 vs. $7371 \mu\text{g g}^{-1}$ MS par coupe), et dans les deux cas était supérieure à la première de deux coupes (9358 vs. $6622 \mu\text{g g}^{-1}$ MS). Les différences entre cultivars varièrent selon les saisons et coupes mais deux cultivars (Start et Tempus) se distinguèrent ayant généralement une plus faible concentration en phytoestrogènes que les huit autres (jusqu'à moitié moins). Lors de la première coupe de l'année suivant l'établissement nous avons également déterminé, pour deux cultivars, la concentration en formononétine et biochanine A des feuilles, pétioles, tiges et fleurs. Nos résultats indiquent que les feuilles contiennent 5 fois plus de formononétine et 12 fois plus de biochanine A que les autres parties.

Conclusion

Ces études soulignent que plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur la concentration en phytoestrogènes de la luzerne et du trèfle rouge. La régie et le choix de cultivars devront être adaptées selon l'espèce si les concentrations en phytoestrogènes doivent être maximisées. Une meilleure compréhension de l'impact que les pratiques culturales et l'environnement ont sur les phytoestrogènes se doit d'être un aspect essentiel, avec les études biochimiques et moléculaires, des programmes visant à développer des plantes pour l'industrie nutraceutique.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Conseil des Recherches en Pêche et Agroalimentaire du Québec (CORPAQ) pour son appui financier au projet, de même que A. Souleimanov pour les analyses, et G. Laberge, J. Straughton, A. Désilets-Roy, B. Gélinas et W. Deng pour la récolte des échantillons.

Références

- Kalu, B.A. et G.W. Fick, 1981: Quantifying morphological development of alfalfa for studies of herbage quality. *Crop Sci.* **21**: 267-271.
- Pettersson, H. et K.H. Kiessling, 1984: Liquid chromatographic determination of the plant estrogens coumestrol and isoflavones in animal feed. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **67**: 503-506.
- Roberts, A.J., M.E. O'Brien et G. Subak-Sharpe, 2001: Nutraceuticals. *The Complete Encyclopedia of Supplements, Herbs, Vitamins, and Healing Foods*. Perigee, New York, NY, USA.