



Centre de référence en agriculture  
et agroalimentaire du Québec

Comité plantes fourragères

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

Mardi, le 16 février 2010

Organisée par le

Comité des plantes fourragères du CRAAQ

en collaboration avec le  
Conseil Québécois des Plantes Fourragères (CQPF)

**COMPTES-RENDUS DES CONFÉRENCES**  
Victoriaville, Québec

N.B. : Les résultats qui sont présentés dans ces comptes-rendus ne peuvent pas être utilisés ou divulgués, en tout ou en partie, sans le consentement préalable des auteurs.

## **AVANT-PROPOS**

Les plantes fourragères auraient-elles enfin regagné leur place au soleil? Il semble que ce soit le cas si on en juge par l'intérêt croissant qu'elles suscitent. Les uns réalisent les possibilités qu'elles offrent pour améliorer la rentabilité des entreprises laitières et bovines. Les autres y voient un potentiel encore largement inexploité de production de biomasse pour la bioéconomie. Par ailleurs, elles sont maintenant reconnues comme un élément incontournable de la mise en œuvre des bonnes pratiques de gestion des écosystèmes. Face à la multiplicité des facteurs (espèces, gestion, récolte, conservation, etc.) qui influencent la productivité et la qualité des fourrages, la recherche et le développement s'avèrent plus que jamais essentiels.

L'édition 2010 de la Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages couvre cette année encore plusieurs sujets d'actualité en production fourragère. On y traite des facteurs qui influencent l'énergie disponible dans les fourrages. Les fourrages riches en énergie sont particulièrement attrayants dans un contexte où le prix des intrants et des grains est élevé et où l'on cherche à réduire les émissions de méthane et à améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote par les ruminants. L'évaluation de plantes fourragères en émergence au Québec et la mise en évidence de leurs avantages et de leurs limites sont également couverts. On y rapporte aussi plusieurs résultats sur la récolte et la valorisation de la biomasse fourragère pour la production de bioénergie.

Je tiens à remercier les équipes de recherche qui ont consacré leur temps et leurs efforts pour présenter des résultats souvent inédits contribuant ainsi au succès de cette demi-journée. Je tiens également à souligner la participation des producteurs, entrepreneurs, conseillers, étudiants et scientifiques qui partagent la passion des plantes fourragères. Cette convergence d'intérêt contribue au succès de la demi-journée scientifique sur les fourrages et assure le transfert des résultats de la recherche au secteur de la production.

Yves Castonguay, président,  
Comité Plantes Fourragères du CRAAQ

## TABLE DES MATIÈRES

1- L'espèce et l'heure de fauche influencent la teneur en sucres du fourrage. <u>Gaëtan Tremblay</u> ..	4
2- Variation journalière de la concentration en glucides non structuraux dans la luzerne et la fléole des prés. <u>Chantale Morin</u> .....	7
3- Comparaison du brome des prés et de la fétuque des prés en monoculture et en association avec le trèfle blanc. <u>Raynald Drapeau</u> .....	11
4- Gestion de coupes sur huit cultivars de fétuque élevée. <u>Raynald Drapeau</u> .....	18
5- Les hybrides BMR ont-ils leur place sur nos fermes? <u>Madeleine Bouffard</u> .....	26
6- Fractionnement et récolte printanière de la fibre de maïs. <u>Pierre-Luc Lizotte</u> .....	32
7- Normes de combustion pour les plantes herbagères et autres biomasses agricoles. <u>Joey Villeneuve</u> .....	42
8- L'effet de la date de récolte sur la production de méthane par digestion anaérobiose du panic érigé. <u>Yan Gilbert</u> .....	51

## L'espèce et l'heure de fauche influencent la teneur en sucres du fourrage

Gaëtan Tremblay<sup>1</sup>, Sophie Pelletier<sup>1</sup>, Gilles Bélanger<sup>1</sup>,  
Annick Bertrand<sup>1</sup>, Yves Castonguay<sup>1</sup>, Denis Pageau<sup>2</sup> et Raynald Drapeau<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>AAC, Québec (gaetan.tremblay@agr.gc.ca) et <sup>2</sup>AAC, Normandin.

### Introduction

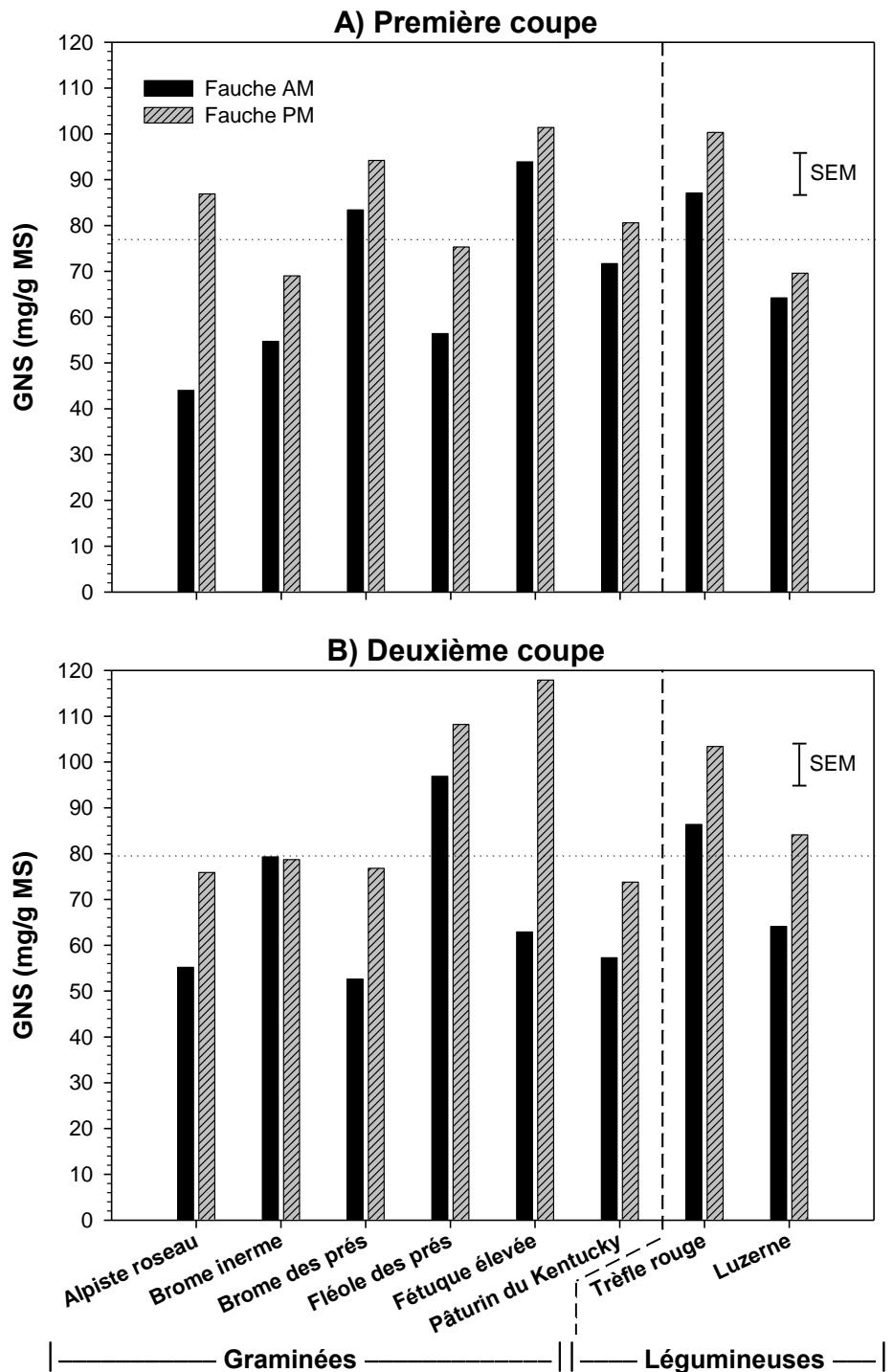
Les glucides non structuraux (GNS) sont une source d'énergie rapidement fermentescible pour les microbes du rumen. Une teneur élevée en glucides non structuraux dans les fourrages améliore l'efficacité d'utilisation de l'azote et augmente la production laitière chez la vache (Moorby et coll., 2006; Brito et coll., 2008, 2009). La teneur en GNS dans le fourrage est aussi corrélée avec la prise alimentaire chez les ruminants (Shewmaker et coll., 2006). Les teneurs en glucides varient en fonction de l'espèce fourragère; la littérature rapporte des teneurs en GNS variant de 35 à 257 mg/g MS chez les plantes fourragères de climat frais. La teneur en GNS dans la plante augmente généralement au cours de la journée lors que leur synthèse excède leur utilisation. L'augmentation de la teneur en GNS du fourrage suite à une fauche plus tardive dans la journée a déjà été caractérisée de façon individuelle chez quelques espèces fourragères.

Dans cette étude, nous avons comparé la teneur en GNS de huit espèces fourragères (6 graminées et 2 légumineuses) fauchées en avant-midi (AM) et en après-midi (PM) en première et deuxième coupe au cours de deux années de récolte. Une évaluation comparative de l'accumulation des GNS chez plusieurs espèces de graminées et de légumineuses fourragères cultivées au Québec a donc été effectuée dans un même essai.

### Matériels et méthodes

Huit espèces fourragères ont été semées en parcelles à Normandin. Parmi les espèces de graminées figuraient l'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L.; cv. Bellevue), le brome des prés (*Bromus biebersteinii* Roemer & J.A. Schultes; cv. Paddock), le brome inerme (*Bromus inermis* Leyss; cv. Radisson), la fétuque élevée [*Lolium arundinaceum* (Schreb.) S.J. Darbyshire; cv. Kokanee], la fléole des prés (*Phleum pratense* L., cv. Champ), et le pâturin du Kentucky (*Poa pratensis* L.; cv. Balin). Les légumineuses fourragères étudiées étaient le trèfle rouge (*Trifolium pratense* L.; cv. AC Charlie) et la luzerne (*Medicago sativa* L., cv. AC Caribou). Quatre répétitions de chaque espèce ont été semées en 2006 et 2007, puis récoltées respectivement en 2007 et 2008. À la première et deuxième coupe de chaque année de récolte, une surface de 0,25 m<sup>2</sup> de chaque parcelle a été fauchée à deux heures différentes au cours d'une journée, soit à 9h00 en avant-midi (AM) et à 15h30 en après-midi (PM). Un sous-échantillon de 250 g de chaque fauche a été chauffé au four micro-onde à intensité maximale pendant une minute afin que le matériel atteigne environ 70°C, puis mis à sécher à 55°C pendant 72 h et moulu à 1 mm. Les sucres solubles des échantillons séchés ont été extraits en utilisant une solution de méthanol:chloroforme:eau, sauf pour les fructosanes qui ont été extraits à l'eau chaude (Pelletier et coll., 2009). Le résidu non-soluble dans la solution méthanol:chloroforme:eau a été lavé 2 fois avec du méthanol puis utilisé pour doser l'amidon par colorimétrie. Les glucides solubles ont été analysés par chromatographie liquide à haute performance. La teneur en GNS a été estimée par la somme des teneurs en sucre, glucose, fructose, fructosanes (graminées) ou pinitol (légumineuses) et amidon.

## Résultats et discussion



**Figure 1.** Teneur en glucides non structuraux (GNS) de huit espèces fourragères fauchées en avant-midi (AM) et en après-midi (PM) en première (A) et en deuxième coupe (B) (moyennes de deux années de récolte; SEM: erreur type).

En moyenne pour les deux heures de fauche et les 2 coupes, la teneur en GNS dans le fourrage des graminées, variait de 65,5 mg/g MS pour l'alpiste roseau à 94,0 mg/g MS pour la fétuque élevée. Chez les légumineuses, cette teneur était de 70,5 mg/g MS pour la luzerne et 94,3 mg/g

MS pour le trèfle rouge. Les teneurs en GNS observées dans la présente étude étaient comparables à celles rapportées dans la littérature pour la fléole des prés, la fétuque élevée et le trèfle rouge, mais elles étaient légèrement inférieures pour l'alpiste roseau, le brome inerme, le brome des prés, le pâturin du Kentucky, et la luzerne. Ces différences peuvent être provoquées par plusieurs facteurs tels les conditions de croissance et le stade de développement au moment de la fauche.

La teneur en GNS était plus élevée dans le fourrage fauché en PM plutôt qu'en AM, et ce, chez toutes les espèces et aux deux coupes, sauf chez le brome inerme en deuxième coupe où cette teneur était similaire dans les deux fauches (Figure 1). En moyenne pour les deux coupes, l'augmentation de la teneur en GNS suite à une fauche PM plutôt qu'AM variait entre 13% pour le brome inerme et 68% pour l'alpiste roseau.

L'augmentation de la teneur en GNS avec une fauche PM plutôt qu'AM a déjà été rapportée chez la luzerne, la fétuque élevée et la fléole des prés, mais à notre connaissance, c'est la première fois qu'une telle augmentation est reportée pour l'alpiste roseau, le brome inerme, le brome des prés, le pâturin du Kentucky et le trèfle rouge. Par ailleurs aucune étude comparative effectuée dans le cadre d'une même expérience n'avait été effectuée à date. Ces résultats confirment que la plupart des espèces fourragères, graminées ou légumineuses, sont susceptibles de contenir une teneur en GNS plus élevée lorsqu'elles sont fauchées en après-midi plutôt qu'en matinée.

## Conclusions

La teneur en glucides non structuraux (GNS) des espèces fourragères étudiées était généralement plus élevée lorsque le fourrage était fauché en après-midi plutôt qu'en avant-midi, et cette augmentation variait entre les espèces allant de 13% chez le brome inerme à 68% chez l'alpiste roseau. Le trèfle rouge et la fétuque élevée avaient des teneurs en GNS plus élevées avec une moyenne de 94 mg/g MS pour les deux coupes chez les deux espèces. L'alpiste roseau avait la plus faible teneur en GNS (65,5 mg/g MS en moyenne pour les deux coupes). La teneur en sucres du fourrage peut être augmentée en choisissant des espèces fourragères telles que la fétuque élevée et le trèfle rouge, et en les fauchant en après-midi.

## Références

- Brito, A.F., G.F. Tremblay, A. Bertrand, Y. Castonguay, G. Bélanger, R. Michaud, H. Lapierre, C. Benchaar, H.V. Petit, D.R. Ouellet et R. Berthiaume. 2008. Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage improves milk yield of late-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:3968–3982.
- Brito, A.F., G.F. Tremblay, H. Lapierre, A. Bertrand, Y. Castonguay, G. Bélanger, R. Michaud, C. Benchaar, D.R. Ouellet et R. Berthiaume. 2009. Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage increases bacterial protein synthesis in late-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:1092 –1107.
- Moorby, J.M., R.T. Evans, N.D. Scollan, J.C. MacRae et M.K. Theodorou. 2006. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Evaluation in dairy cows in early lactation. *Grass Forage Sci.* 61:52–59.
- Pelletier, S., G.F. Tremblay, C. Lafrenière, A. Bertrand, G. Bélanger, Y. Castonguay et J. Rowsell, 2009. Non-structural carbohydrate concentrations in timothy forage as affected by N fertilization, stage of development, and time of cutting. *Agron. J.* 101: 1372-1380.
- Shewmaker, G.E., H.F. Mayland, C.A. Roberts, P.A. Harrison, N.J. Chatterton et D.A. Sleper. 2006. Daily carbohydrate accumulation in eight tall fescue cultivars. *Grass Forage Sci.* 61:413–421.

# Variation journalière de la concentration en glucides non structuraux dans la luzerne et la fléole des prés

Chantale Morin<sup>1</sup>, Gilles Bélanger<sup>2</sup>, Gaëtan Tremblay<sup>2</sup>, Annick Bertrand<sup>2</sup>, Yves Castonguay<sup>2</sup>, Réal Michaud<sup>2</sup>, Robert Berthiaume<sup>3</sup> et Guy Allard<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Faculté des Sciences de l’Agriculture et de l’Alimentation, Université Laval, 2425 rue de l’Agriculture, Québec, QC, G1V 0A6 ([chantale.morin@agr.gc.ca](mailto:chantale.morin@agr.gc.ca))

<sup>2</sup> Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boulevard Hochelaga, Québec, QC, G1V 2J3

<sup>3</sup> Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc de Lennoxville, 2000 rue du Collège, Sherbrooke, QC, J1M 1Z3

---

## Introduction

Les glucides non structuraux (GNS) sont la principale source d'énergie rapidement fermentescible pour les micro-organismes du rumen (NRC, 2001). Une concentration limitée en énergie rapidement fermentescible combinée à une dégradation intensive des protéines dans les fourrages contribuent à une faible utilisation de l'azote par les vaches laitières (Van Soest, 1994). Une teneur plus élevée en GNS dans les fourrages améliore l'utilisation de l'azote et la performance des vaches laitières (Miller et coll., 2001), en plus d'augmenter la quantité de fourrages ingérés (Moorby et coll., 2006; Brito et coll., 2008; 2009). Les GNS s'accumulent au cours de la journée lorsque la production de photosynthétats excède les besoins de la plante (Gordon, 1986). Plusieurs études ont été effectuées sur l'accumulation des GNS au cours de la journée dans différentes espèces (Curtis, 1944; Lechtenberg, 1971; Gordon, 1986; Shewmaker et coll., 2006; Griggs et coll., 2007), mais peu l'ont fait de façon détaillée dans l'objectif d'identifier la période où la concentration en GNS est maximale. Cette étude visait à mesurer les variations journalières des GNS dans la luzerne (*Medicago sativa* L.) et la fléole des prés (*Phleum pratense* L.) pour déterminer la période optimale de fauche qui permet de maximiser la teneur en GNS du fourrage.

## Matériel et méthodes

Les essais ont été réalisés en champ sur des parcelles implantées en 2006 à la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lévis avec la luzerne AC Caribou et la fléole des prés AC Alliance. En 2007, des échantillons de fourrage ont été prélevés aux deux heures à partir de 6h00 jusqu'à 20h00 au cours de six journées ensoleillées autour des stades de développement recommandés de récolte (début floraison pour la luzerne et début épiaison pour la fléole des prés) aux première et deuxième coupes. Le dispositif expérimental au champ était un plan en tiroirs constitué de trois blocs avec les jours de fauche en parcelles principales, les heures d'échantillonnage en sous-parcelles et les coupes en mesures répétées. Les échantillons de fourrage (250 g) récoltés ont été chauffés au four micro-ondes pendant 1 minute pour arrêter l'activité enzymatique (Pelletier et coll., 2010), séchés à 55°C pendant 48h et moulus à 1 mm. Une partie des échantillons ont été analysés chimiquement pour leur teneur en GNS. Les sucres solubles (SS) et l'amidon ont été analysés par colorimétrie. Les extractions et analyses des différents sucres ont été effectuées selon les méthodes de Bertrand et coll. (2007). Le sucre, le

pinitol (luzerne) et les fructosanes (fléole des prés) ont été quantifiés par HPLC. Les GNS ont été calculés comme suit : SS + pinitol (luzerne) + amidon + fructosanes (fléole des prés). La spectroscopie dans le proche infrarouge a été utilisée pour prédire les teneurs en sucres solubles, amidon et glucides non structuraux de tous les échantillons.

## Résultats

Chez la luzerne, les teneurs moyennes en GNS ont augmenté de 95 mg/g MS à 6h00 à un maximum de 133 mg/g MS à 16h00 à la première coupe et de 74 mg/g MS à 6h00 à 129 mg/g MS à 18h00 à la deuxième coupe (Figure 1). Cet accroissement provient de l'augmentation en première et deuxième coupe de 68 et 156% en amidon et de 20 et 38% en SS.

Chez la fléole des prés, les teneurs moyennes en GNS ont augmenté de 59 mg/g MS à 6h00 à 83 mg/g MS à 18h00 à la première coupe et de 57 mg/g MS à 6h00 à 109 mg/g MS à 18h00 à la deuxième coupe (Figure 2). Dans ce cas-ci, cette augmentation s'explique par un accroissement des SS, 38 et 118% en première et deuxième coupes respectivement, et plus particulièrement du sucre.

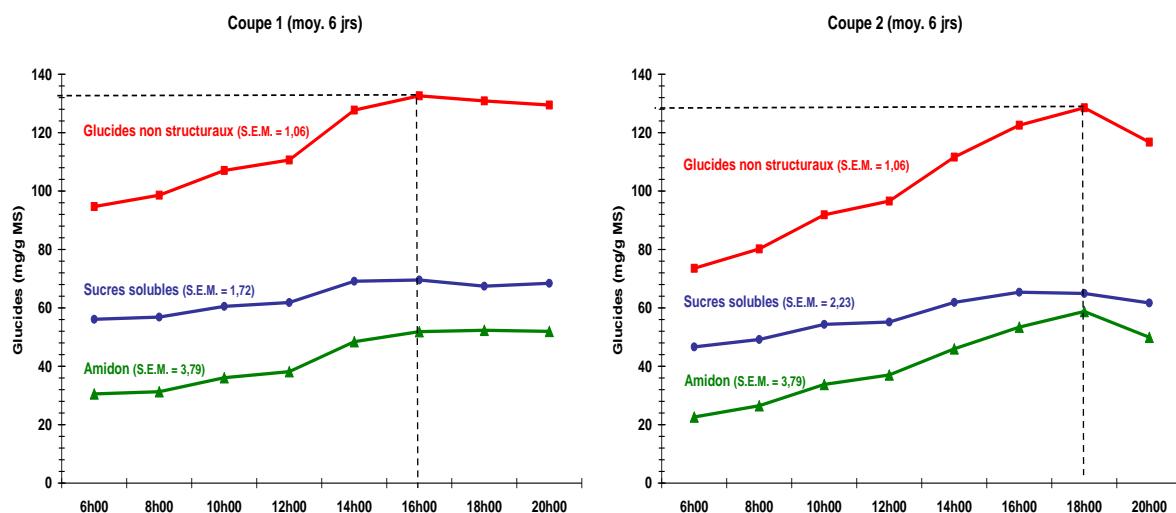


Figure 1 : Variation journalière des GNS, des sucres solubles et de l'amidon dans la luzerne au cours de la journée aux première et deuxième coupes de 2007.

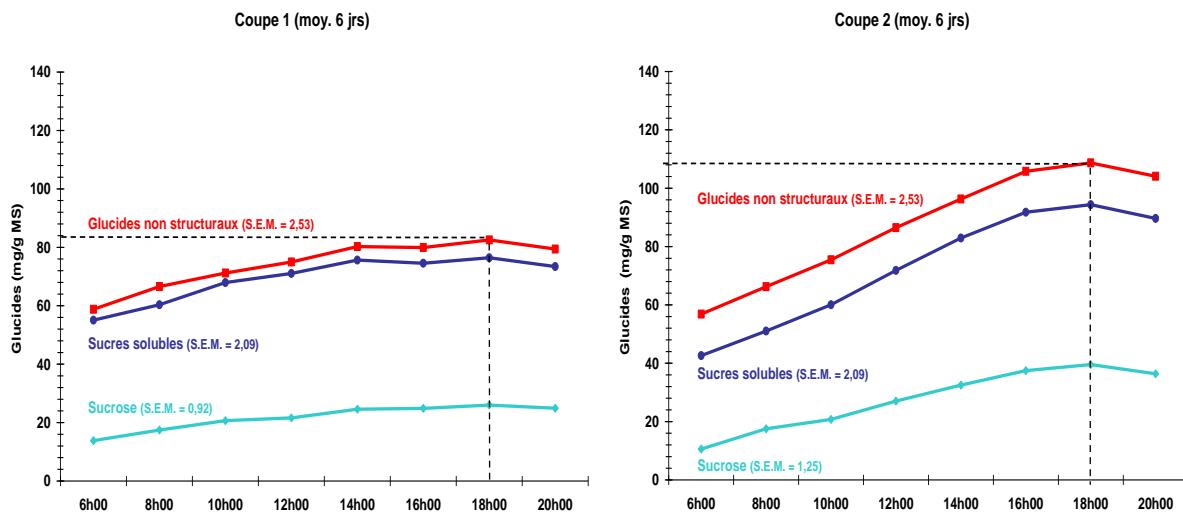


Figure 2 : Variation journalière des GNS, des sucres solubles et du sucre dans la fléole des prés au cours de la journée aux première et deuxième coupes de 2007.

## Conclusion

Les teneurs en GNS de la luzerne et la fléole des prés augmentent au cours de la journée. Chez la luzerne, des augmentations de l'ordre de 40% à la première coupe et de 74% à la deuxième ont été observées; l'accroissement serait principalement dû à l'accumulation de l'amidon. Chez la fléole des prés, des augmentations de l'ordre de 40% à la première coupe et de 91% à la seconde ont été observées; l'accroissement proviendrait plutôt de l'augmentation en SS, particulièrement le sucrose.

Les teneurs maximales rencontrées ont été atteintes entre 16h00 et 18h00. Des essais sont en cours afin de déterminer si les teneurs élevées en GNS obtenues à la suite d'une coupe en fin de journée sont maintenues lors des processus de séchage au champ et de fermentation en ensilage.

## Remerciements

Nous tenons à remercier l'action concertée de AAC-FQRNT-MAPAQ-Novalait Inc. pour le financement de ce projet ainsi que le FQRNT pour la bourse d'études de doctorat accordée à Mme Chantale Morin. Nous remercions aussi le personnel du Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures de AAC pour leur contribution à la réalisation du projet.

## Liste des ouvrages cités

- Bertrand, A., D. Prévost, F.J. Bigras et Y. Castonguay. 2007. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and strain of rhizobium alter freezing tolerance and cold-induced molecular changes in alfalfa (*Medicago sativa*). *Ann. Bot. (London)*. 99:275–284.
- Brito, A.F., G.F. Tremblay, A. Bertrand, Y. Castonguay, G. Bélanger, R. Michaud, H. Lapierre, C. Benchaar, H.V. Petit, D.R. Ouellet et R. Berthiaume. 2008. Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage improves milk yield of late-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:3968–3982.
- Brito, A. F., G.F. Tremblay, H. Lapierre, A. Bertrand, Y. Castonguay, G. Bélanger, R. Michaud, C. Benchaar, D.R. Ouellet et R. Berthiaume. 2009. Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage increases bacterial protein synthesis in late-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:1092 –1107.
- Curtis, O. F. 1944. The food content of forage crops as influenced by the time of day at which they are cut. *J. Amer. Soc. Agron.* 36:401-416.
- Gordon, A. J. 1986. Diurnal patterns of photosynthate allocation and partitioning among sinks. Pages 499-517 dans Phloem transport. Vol. 1. J. Cronshaw, W. J. Lucas et R. T. Giaquinta, ed. Alan R. Liss, Inc., New York, NY, USA.
- Griggs, T. C., J. W. MacAdam, H. F. Mayland et J. C. Burns. 2007. Temporal and vertical distribution of nonstructural carbohydrate, fiber, protein, and digestibility levels in orchardgrass swards. *Agron. J.* 99:755-763.
- Lechtenberg, V. L. 1971. Diurnal variation in various nonstructural carbohydrates of alfalfa (*Medicago sativa*), tall fescue (*Festuca arundinacea*), and Sudangrass (*Sorghum sudanense*). Thèse de doctorat. Purdue University, Lafayette, Indiana, USA.
- Miller, L. A., J. M. Moorby, D. R. Davies, M. O. Humphreys, N. D. Scollan, J. C. MacRae et M. K. Theodorou. 2001. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.): Milk production from late-lactation dairy cows. *Grass Forage Sci.* 56:383-394.
- Moorby, J. M., R. T. Evans, N. D. Scollan, J. C. Macraet et M. K. Theodorou. 2006. Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Evaluation in dairy cows in early lactation. *Grass Forage Sci.* 61:52-59.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7<sup>th</sup> rev. ed. National Research Council. National Academic Press, Washington, D.C., USA.
- Pelletier, S., G. F. Tremblay, A. Bertrand, G. Bélanger, Y. Castonguay et R. Michaud. 2010. Drying procedures affect non-structural carbohydrates and other nutritive value attributes in forage samples. *Ani. Feed Sci. Tech.* Soumis pour publication.
- Shewmaker, G. E., H. F. Mayland, C. A. Roberts, P. A. Harrison, N. J. Chatterton et D. A. Sleper. 2006. Daily carbohydrate accumulation in eight tall fescue cultivars. *Grass Forage Sci.* 61:413-421.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second ed. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.

## **Comparaison de la fétuque des prés et du brome des prés en semis pur et en association avec le trèfle blanc.**

Raynald Drapeau<sup>1</sup> et Gilles Bélanger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et grandes cultures, ferme de recherche, Normandin, QC, G8M 4K3.

<sup>2</sup>Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et grandes cultures, 2560, boulevard Hochelaga, Québec, QC, G1V 2J3.

---

### **Introduction**

Le rendement total en fourrage, la distribution du rendement sur deux ou trois coupes et la persistance du peuplement sont des variables considérées lors de la détermination du potentiel fourrager des plantes fourragères. Des différences marquées existent parmi les espèces et parmi les cultivars à l'intérieur d'une même espèce en ce qui concerne l'habileté à persister dans des environnements particuliers.

La distribution du rendement à travers la saison de croissance est aussi un facteur de grande importance, particulièrement lorsque les plantes fourragères sont utilisées pour les pâturages. Bien que les rendements en un ou deux gros volumes peuvent être des caractéristiques désirables pour le foin ou l'ensilage, des rendements en plus petits volumes distribués uniformément au cours de la saison de paissance sont plus avantageux pour l'utilisation du pâturage. Quelques espèces sont visiblement mieux adaptées pour des récoltes multiples.

La fétuque des prés (*Festuca pratensis* Huds.) est une graminée fourragère diploïde ( $2n = 2x = 14$ ) largement adaptée aux terres basses du centre et du nord de l'Europe. Elle a été introduite premièrement en Amérique du Nord avant les années 1800 (Kennedy, 1900) et s'est étendue à travers les États-Unis durant le 19<sup>ème</sup> siècle (Buckner et al. 1979). Le plus grand potentiel utilitaire de la fétuque des prés en Amérique du Nord s'est avéré être associé aux systèmes de régie intensive de pâturage (Casler et al. 1998). Au Québec, la littérature est avare sur l'utilisation de cette graminée comme plante à pâturage. On a recensé une étude qui rapportait que les associations de la fétuque des prés et de la fléole des prés (*Phleum pratense* L.) avec le lotier (*Lotus corniculatus* L.) avaient offert des rendements significativement plus faibles que les cinq autres graminées comparées (Chevrette et al. 1960). La fétuque des prés et l'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L.) mêlés au trèfle blanc (*Trifolium repens* L.) formaient le mélange le plus productif avec une excellente persistance et une bonne distribution du rendement sur l'ensemble de la période végétative dans un essai réalisé à Terre-Neuve (Mackenzie et al. 2005).

Le brome des prés (*Bromus riparius* Rehm.) croît naturellement dans le sud-est de l'Europe, dans le Caucase, en Turquie et en Asie centrale. Il a été récemment introduit au Canada (Knowles et al. 1993). Cette graminée, qui est bien adaptée pour l'ouest du Canada, a gagné en popularité depuis ce temps (Pearen et al. 1995). Le brome des prés conservait plus de tiges végétatives que le brome inerme (*Bromus inermis* Leyss.) de sorte que son regain était plus rapide et la

production était plus uniforme au cours de la saison de croissance (Foster et al. 1966; Cooper 1979; Knowles and Sonmor 1985). La repousse du brome des prés s'est avérée supérieure aux autres graminées confirmant ainsi la valeur de cette espèce en régime de pâturage tournant (Pearen et Baron, 1996; McCaughey et Simons, 1996). Le brome des prés a été inscrit à la liste des espèces fourragères recommandées au Québec par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) en 2002.

Cet article rapporte les résultats d'une étude comparative, basée sur deux semis récoltés sous un régime de coupes multiples sur trois années de production, de deux graminées très peu exploitées au Québec (fétuque des prés et brome des prés), ensemencées en monoculture et en association avec le trèfle blanc.

### **Méthodologie expérimentale**

L'étude a été réalisée à la ferme de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Normandin. Les parcelles ont été ensemencées sur un loam argileux de la série Labarre, drainé souterrainement, de bonne fertilité et dont le pH se situait aux alentours de 6,0. Deux semis consécutifs ont été implantés: le premier a été ensemencé en 1997 et le deuxième a été mis en terre en 1998. Les données expérimentales de chacun des semis ont été collectées pendant trois années suivant l'année du semis.

Le dispositif expérimental employé était le plan en blocs aléatoires. L'essai comportait onze traitements: trois cultivars de fétuque des prés (Mimer, Épic et Bartura), deux cultivars de brome des prés (Fleet et Paddock) ensemencés en monoculture et en association avec le cultivar de trèfle blanc California. Le onzième traitement était le cultivar de trèfle blanc en monoculture. Les traitements étaient répétés quatre fois. Les parcelles (1,5 m x 5,5 m) ont été ensemencées à la volée.

Les doses de semis en monoculture et en association ont été respectivement pour la fétuque des prés de 27 et 20 kg ha<sup>-1</sup>, pour le brome des prés de 20 et 12 kg ha<sup>-1</sup> et pour le trèfle blanc de 2 et 1 kg ha<sup>-1</sup>. Les semis ont été réalisés le 5 juin en 1997 et le 25 mai en 1998. On a appliqué 23 kg N ha<sup>-1</sup>, 39 kg P ha<sup>-1</sup> et 75 kg K ha<sup>-1</sup> avant chacun des semis, ainsi que 16 kg P ha<sup>-1</sup> et 62 kg K ha<sup>-1</sup> à la fin du mois d'août de l'année d'implantation. Une fauche de nettoyage a été effectuée pour réprimer les adventices l'année de l'implantation. Les parcelles de graminées en monoculture étaient fertilisées à raison de 30 kg N ha<sup>-1</sup> au printemps et après chaque coupe. Après la dernière coupe de chaque année de production, 16 kg P ha<sup>-1</sup> et 62 kg K ha<sup>-1</sup> ont été appliqués sur toutes les parcelles.

La première récolte et les récoltes subséquentes ont été effectuées lorsque les plants du trèfle blanc atteignaient 20-25 cm en hauteur. La surface récoltée était de 0,61 m sur 5 m. Le poids frais du fourrage était déterminé immédiatement après chacune des coupes. Un échantillon de fourrage haché de 500 g a été séché à une température de 55°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant pour établir le pourcentage de matière sèche (MS). Un deuxième échantillon a été prélevé à l'aide d'un sécateur et congelé pour la détermination des composantes du rendement par séparation à la main.

## Résultats et discussion

Les résultats sont présentés par comparaison des espèces et des associations en raison d'un comportement similaire entre les cultivars à l'intérieur d'une même espèce.

### *Fétuque des prés vs Brome des prés (en association avec le trèfle blanc)*

Le rendement annuel de l'association fétuque des prés et trèfle blanc ( $4.23 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ ), en 1<sup>ière</sup> année de production, a été similaire que celui de l'association brome des prés et trèfle blanc ( $4.56 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ ) (Figure 1). En 2<sup>ième</sup> année de production, les rendements des associations ont varié en 2<sup>ième</sup>, 3<sup>ième</sup> et 4<sup>ième</sup> coupe, de sorte que le rendement annuel n'a pas été significativement différent entre les deux associations. Les rendements de l'association brome des prés et trèfle blanc, en 1<sup>ière</sup> et 3<sup>ième</sup> coupe, nettement supérieurs à ceux de l'association fétuque des prés et trèfle blanc, ont permis l'obtention d'un rendement annuel significativement plus élevé à la 3<sup>ième</sup> année de production. En première année de production, la contribution du trèfle blanc au rendement a été bien inférieure dans l'association avec la fétuque des prés qu'avec celle du brome des prés démontrant une plus grande compétition de la fétuque des prés. Avec la disparition graduelle du trèfle blanc, la contribution au rendement des deux graminées a été du même ordre de grandeur à chacune des coupes en 2<sup>ième</sup> et 3<sup>ième</sup> année de production (Tableau 1). Le pourcentage de recouvrement du sol, pour chacune des espèces, a suivi la même tendance pour les deux associations.

### *Fétuque des prés vs Brome des prés (monoculture)*

Le rendement du brome des prés en monoculture a été significativement plus élevé à la 1<sup>ière</sup> coupe que celui de la fétuque des prés à chacune des années, mais le rendement annuel à la 1<sup>ière</sup> année de production des deux espèces a été du même ordre de grandeur ( $4.83 \text{ vs } 4.30 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ ) avec un léger avantage pour le brome des prés. En 2<sup>ième</sup> et 3<sup>ième</sup> année de production, le brome des prés a présenté une nette supériorité sur la fétuque des prés à tous les niveaux sauf à la 2<sup>ième</sup> coupe de chacune des années (Figure 1). La fétuque des prés a offert une contribution au rendement plus élevée en 1<sup>ière</sup> année de production que celle du brome des prés (Tableau 1). Toutefois, la contribution au rendement du brome des prés a augmenté en 2<sup>ième</sup> année de production et s'est stabilisée en 3<sup>ième</sup> année de production, alors que celle de la fétuque élevée a diminué avec les années de production.

### *Fétuque des prés et trèfle blanc vs fétuque des prés en monoculture*

Les rendements annuels de l'association fétuque des prés et trèfle blanc et de la fétuque des prés en monoculture ont été similaires en 1<sup>ière</sup> et 2<sup>ième</sup> année de production, tandis que le rendement annuel de l'association a été nettement supérieur à celui de la monoculture en 3<sup>ième</sup> année de production (Figure 1). À la 2<sup>ième</sup> année de production, le comportement de l'association de la fétuque des prés et du trèfle blanc a été similaire à celui de la fétuque des prés en regard du rendement à chacune des coupes et du rendement annuel. Avec la disparition graduelle du trèfle blanc dans l'association, la contribution de la fétuque des prés au rendement s'est maintenue en 3<sup>ième</sup> et 4<sup>ième</sup> coupe de la troisième année de production, alors qu'elle a subi une baisse dès la 3<sup>ième</sup> coupe pour la fétuque des prés en monoculture (Tableau 1). Le pourcentage de

recouvrement du sol a été légèrement plus faible en 3<sup>ième</sup> année de production pour la fétuque des prés en monoculture (54 vs 60 %).

#### *Brome des prés et trèfle blanc vs Brome des prés en monoculture*

Il n'y a pas eu de différence significative dans le rendement annuel de l'association du brome des prés avec le trèfle blanc en comparaison avec celui du brome des prés en monoculture à la 1<sup>ère</sup> année de production. Toutefois, le brome des prés, en monoculture, a produit des rendements significativement plus élevés en 2<sup>ième</sup> et 3<sup>ième</sup> année de production en comparaison avec ceux de l'association. Les rendements de la 1<sup>ière</sup> coupe en 2<sup>ième</sup> et 3<sup>ième</sup> année de production, plus élevés que ceux obtenus avec l'association et également les rendements supérieurs des 3<sup>ième</sup> et 4<sup>ième</sup> coupes en 2<sup>ième</sup> année de production, ont contribué aux productions annuelles plus grandes du brome des prés en monoculture.

### **Conclusion**

À la première année de production, les graminées en monoculture ou en association avec le trèfle blanc ont produit des rendements annuels du même ordre de grandeur variant de 4.30 à 4.83 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Cependant, la productivité du brome des prés en monoculture ou en association s'est démarquée au cours de la deuxième et troisième année de production pour surpasser la fétuque des prés. Par ailleurs, le brome des prés a produit un bon rendement à la première coupe et une productivité relativement uniforme tout au long de la saison. En association avec le trèfle blanc, le pourcentage de recouvrement du sol des deux graminées a suivi la même tendance au cours des années. La contribution du trèfle blanc au rendement a été plus grande en première année de production lorsqu'il était associé au brome des prés. Le rendement annuel des associations a été significativement supérieur à celui du trèfle blanc en monoculture à chacune des années de production. La productivité de la fétuque des prés et du trèfle blanc en monoculture a diminué de façon graduelle avec les années de production, tandis que celle du brome des prés a été constante. Considérant que ces résultats ne sont que ceux d'un essai, d'autres études sont nécessaires pour mieux connaître le comportement de ces deux graminées.

### **Bibliographie**

- Buckner, R. C., Powell, J. B., et Frakes, R. V. 1979.** Historical development. P. 1-8. In R.C. Buckner and L.P. Bush (Ed) Tall fescue. Agron. Monog. 20. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Casler, M. D., Undersander, D. J., Fredericks, C., Combs, D. K. et Reed, J. D. 1998.** An on-farm test of perennial forage grass varieties under management intensive grazing. J. Prod. Agric. 11: 92-99.
- Chevrette, J. E., Folkins, L. P., Gauthier, F. M., et Grennshields, J. E. R. 1960.** Evaluation of birdsfoot trefoil. 1. Compatibility of *Lotus corniculatus* L. with other legumes and grasses. Can. J. Plant Sci. 40: 259-267.
- Cooper, C. S. 1979.** Yields of irrigated grass and legume pasture mixtures in the northern Rocky Mountain area. Agron. J. 71: 885-888.
- Foster, R. B., McKay, H.C. et Owens, E.W. 1966.** Regar bromegrass, University of Idaho, Collège of Agriculture Exp. Sta. bull. 470. 8pp.

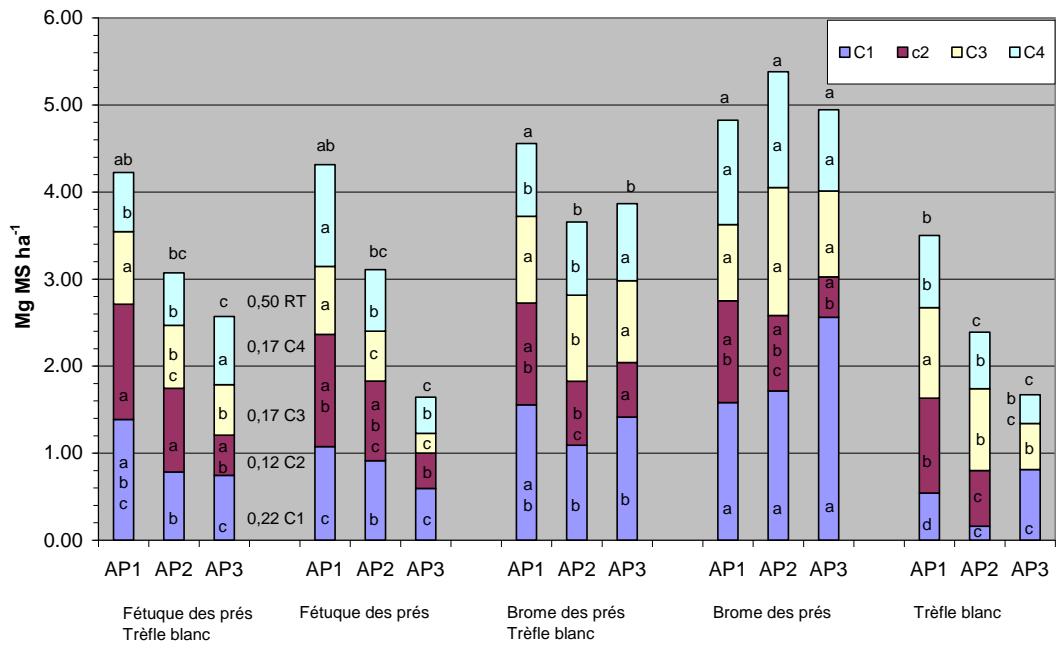
- Kennedy, P. B. 1900.** Cooperative experiments with grasses and forage plants, USDA Bull. 22.
- Knowles, R. P., Baron, V. S., et McCartney, D. H. 1993.** Meadow bromegrass. Agriculture Canada, Ottawa, On, Publ. 1889 /E. 19pp.
- Knowles, R. P. et Sonmor, L.G. 1985.** Grasses for irrigated pasture in central Saskatchewan. Can. J. Plant Sci. 65: 455-458.
- Mackenzie, D. B., Papadopoulos, Y. A., McRae, K. B. et Butt, E. 2005.** Compositional changes over four years for binary mixture of grass species grown with white clover. Can. J. Plant Sci. 85: 531-360.
- McCaughey, W. P. et Simons, R. G. 1996.** Harvest management and N fertilization effects on yield and regrowth of smooth bromegrass, crested wheatgrass, and meadow bromegrass in the eastern prairies. Can. J. Plant Sci. 76: 773-782.
- Pearen, J. R. et Baron, V. S. 1996.** Productivity, and composition of smooth and meadow bromegrass mixtures with alfalfa under frequent cutting management. Can. J. Plant Sci. 76: 763-771.

Tableau 1. Contribution des espèces au rendement et recouvrement du sol au printemps du trèfle blanc, de la fétuque des prés et du brome des prés ensemencés en association avec le trèfle blanc et en monoculture au cours de trois années de production, moyenne de deux semis à Normandin.

		Contribution des espèces au rendement										Recouvrement du sol au printemps	
		Coupe 1		Coupe 2		Coupe 3		Coupe 4		Gra	Leg		
		Gra	Leg	Gra	Leg	Gra	Leg	Gra	Leg	%	%	Gra	Leg
Fétuque des prés	AP1	75	23	58	40	53	44	49	48	47	30		
Trèfle blanc	AP2	85	10	83	8	72	22	77	20	60	17		
	AP3	71	3	73	3	64	9	69	6	60	7		
Brome des prés	AP1	69	29	38	58	38	58	32	61	42	31		
Trèfle blanc	AP2	83	6	74	14	70	17	77	13	56	14		
	AP3	67	1	60	3	68	6	69	4	62	6		
Fétuque des prés	AP1	93		88		88		93		67			
	AP2	95		93		88		93		65			
	AP3	72		71		54		56		54			
Brome des prés	AP1	88		73		73		79		71			
	AP2	92		85		89		94		70			
	AP3	80		70		79		82		69			
Trèfle blanc	AP1		60		81		86		93		69		
	AP2		6		18		50		47		14		
	AP3		13		0*		29		23		3		

\* Pas assez de matériel pour un rendement.

AP = année de production; Gra = graminée; Leg = légumineuse.



a-c Pour chaque coupe et pour le total à chaque année de production, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas différentes à  $P \leq 0,05$ .

Figure 1. Rendements en matière sèche pour quatre coupes (C) de la Fétueque des prés et trèfle blanc, de la fétueque des prés, du brome des prés et trèfle blanc, du brome des prés et du trèfle blanc au cours de trois années de production (AP), moyenne de deux semis. Fétueque des prés, moyenne de trois cultivars, brome des prés, moyenne de deux cultivars.

## **Gestion de coupes sur huit cultivars de fétuque élevée.**

Raynald Drapeau

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, ferme de recherche, Normandin, QC, G8M 4H3

---

### **Introduction**

La fétuque élevée est une graminée peu exploitée au Québec peut-être pour des raisons injustifiées, mais elle a fait l'objet de plusieurs études depuis le début des années 1990. Les premiers essais avec la fétuque élevée dans les régions agricoles du Moyen-Nord ont été effectués dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue (QC) au début des années 1990 par Carole Lafrenière (AAC Rouyn-Noranda). Les résultats fragmentaires laissaient présager une productivité intéressante jumelée à une bonne persistance. Les informations sur la gestion et la valeur alimentaire de cette espèce sont inexistantes au Québec.

Les premières données sur le comportement et adaptation de la fétuque élevée exploitée sous une gestion de pâturage, ensilage et foin ont été rapportées en 1995 (Drapeau, 1995). Des informations plus détaillées sur cette dernière étude ont été fournies en 1998 (Drapeau, 1998). La fétuque élevée a fait l'objet d'études comparatives de graminées fourragères utilisées pour la paissance (Brunelle et al. 1998; Bergeron, 2000). Les données partielles d'une étude sur l'évolution du rendement et de la qualité de la fétuque élevée en automne ont été présentées en 1999 (Drapeau, 1999) et complétées en 2006 (Drapeau et al. 2006). De plus, Bélanger et al. (2001) ont rapporté que la fétuque élevée avait un rendement annuel et une valeur nutritive plus élevés que la fléole des prés. Dans les études précitées, la fétuque élevée était exploitée en monoculture. Des informations provenant d'un essai sur la consommation par la vache laitière de la fétuque élevée sous forme de foin sec ont été publiées en 2004 (Drapeau, 2004). Les résultats sur l'utilisation de la fétuque élevée en association avec le trèfle Kura et le trèfle blanc ont été rapportés en 2006 (Seguin et Drapeau, 2006), ainsi qu'en association avec le trèfle rouge (Drapeau et Lafrenière 2007). De plus, des informations sur le rendement de la fétuque élevée lors de l'année de l'implantation ont été livrées en 2009 (Drapeau et Seguin, 2009).

Enfin, l'objectif de cet article est de présenter les données d'une étude sur le comportement de huit cultivars de fétuque élevée soumis à une gestion à trois et à quatre coupes par année de production et démontrer le rôle des précipitations sur le rendement.

### **Méthodologie**

L'étude a été réalisée à la ferme de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Normandin. Huit cultivars de fétuque élevée (Courtenay, Kokanee, Montebello, Johnstone, Festorina, Phyter, Barcel et Fuego) ont été soumis à une gestion à trois et à quatre coupes au cours de deux années de production pour chacun des semis effectués en 1996 et 1997. La première coupe a été effectuée au stade début épiaison pour chaque cultivar. La deuxième coupe, pour la gestion à trois coupes, a été réalisée dans la première semaine du mois d'août. Pour la gestion à 4 coupes, le délai entre les coupes deux et trois avait été fixé à 28 jours.

Pour les deux régimes de coupes, une coupe automnale avait été prévue pour la première semaine du mois d'octobre.

Une fertilisation de 450 kg/ha de 5-20-20 a été effectuée avant chaque semis. Pour la gestion à 3 coupes, 40 unités d'azote ont été appliquées au printemps et après la première coupe, tandis que les parcelles de la gestion à quatre coupes ont reçu 30 unités d'azote au printemps et après la première et la deuxième coupe. Une fumure d'entretien en phosphore et en potasse (37,5 et 75 unités respectivement) a été effectuée après la deuxième coupe pour la gestion à trois coupes et après la troisième coupe pour la gestion à quatre coupes.

Le rendement en matière sèche a été déterminé à chacune des coupes et les analyses de la valeur nutritive basée sur la teneur en protéines brutes et de la fibre ADF ont été effectuées pour chacune des coupes.

## Résultats

L'apparition du stade de croissance début épiaison a varié du 10 au 20 juin au cours de cette étude. À la première année de production, sous une gestion à trois coupes, à l'exception du cultivar Fuego avec 9.91 Mg MS  $\text{ha}^{-1}$ , tous les autres cultivars ont produit un rendement moyen supérieur à 10.0 Mg MS  $\text{ha}^{-1}$  (Figure 1 et 2). Les cultivars Courtenay, Kokanee et Montebello ont même surpassé les 11.0 Mg MS  $\text{ha}^{-1}$ . Sous une gestion à quatre coupes, les cultivars Courtenay et Festorina ont livré des rendements respectifs de 10.72 et 10.14 Mg MS  $\text{ha}^{-1}$ , tandis que les rendements des autres cultivars ont oscillé entre 9.92 Mg MS  $\text{ha}^{-1}$  pour Montebello et 8.91 Mg MS  $\text{ha}^{-1}$  pour Phytér.

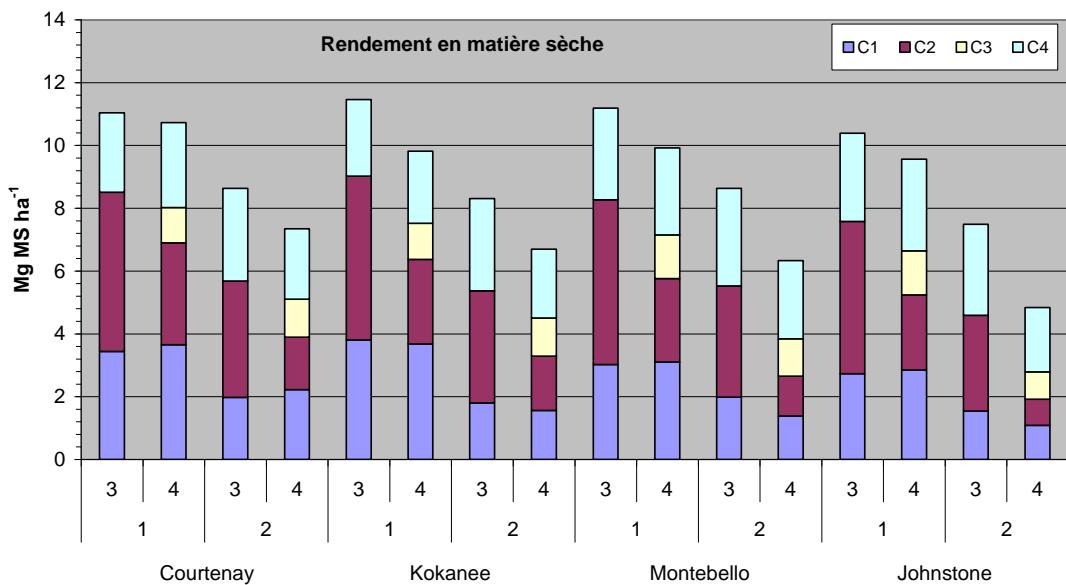


Figure 1. Rendement en matière sèche par coupe des cultivars de fétuque élevée: Courtenay, Kokanee, Montebello et Johnstone, soumis à une gestion à trois et quatre coupes (3,4) au cours de deux années de production (1,2), moyenne de deux semis.

L'hiver 1998-1999 a été particulièrement difficile pour la survie des plantes et les cultivars de fétuque élevée ont été affectés à divers degrés, ayant pour conséquence une baisse appréciable des rendements à la première coupe de la deuxième année de production du deuxième semis.

Bien que les rendements en deuxième année de production ont diminué légèrement, indépendamment de la gestion de coupes utilisée l'année précédente, les rendements moyens pour la deuxième année de production des deux semis ont été plus faibles en raison de la mortalité observée au printemps 1999.

Sous une gestion à trois coupes, en deuxième année de production, les cultivars Courtenay, Kokanee et Montebello ont produit des rendements supérieurs à  $8.0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ , les cultivars Festorina et Johnstone ont formé un groupe intermédiaire avec respectivement 7.78 et  $7.49 \text{ Mg MS ha}^{-1}$  alors que les rendements des cultivars Phyter, Fuego et Barcel se situaient entre 6.99 et  $6.25 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ .

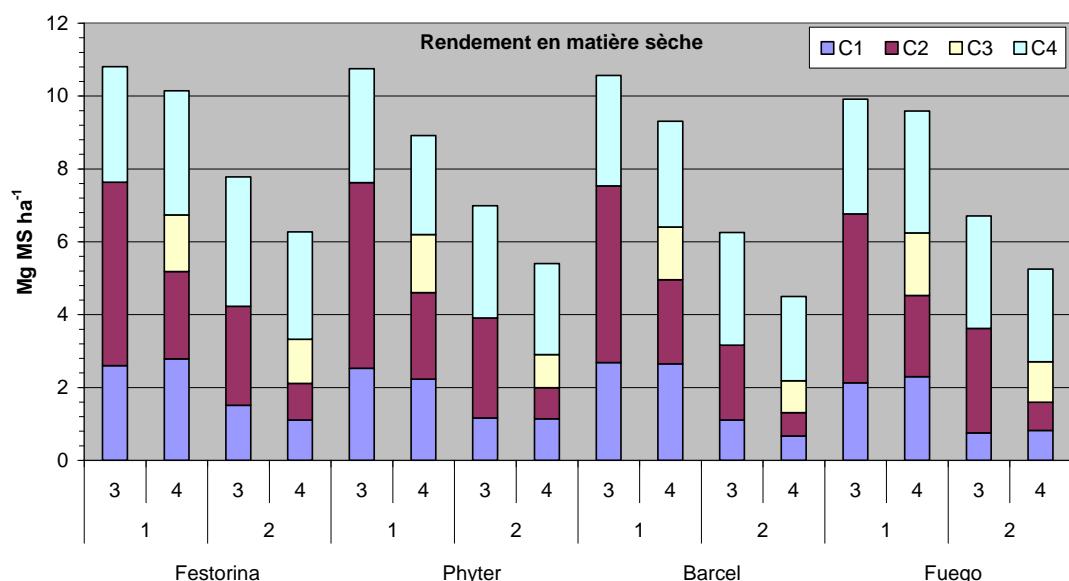


Figure 2. Rendement en matière sèche par coupe des cultivars de fétuque élevée: Festorina, Phyter, Barcel et Fuego, soumis à une gestion à trois et quatre coupes (3,4) au cours de deux années de production (1,2), moyenne de deux semis.

Les rendements, sous une gestion à quatre coupes ont été plus bas que ceux obtenus de la gestion à trois coupes en deuxième année de production et l'effet des cultivars a été plus évident.

Seul le cultivar Courtenay a fourni un rendement moyen au-delà des  $7.0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ . Les cultivars Kokanee, Montebello et Festorina ont produit respectivement  $6.69$ ,  $6.33$  et  $6.27 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ , Phyter et Fuego  $5.40$  et  $5.25 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ , tandis que les cultivars Johnstone et Barcel produisaient les rendements les plus faibles avec  $4.84$  et  $4.50 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ .

Au tableau 1, sont reproduites les valeurs, minimale, moyenne et maximale pour la teneur en protéines brutes et la fibre ADF, obtenues des huit cultivars pour chacune des coupes et des années de production. À la première coupe de la première année de production, les valeurs, tant pour la teneur en protéines brutes que pour le contenu en fibre ADF, sont du même ordre de grandeur puisque la coupe a été effectuée en même temps pour chaque cultivar. En deuxième année de production, les valeurs pour la teneur en protéines brutes sont plus élevées qu'en première année de production probablement en raison de la diminution des rendements observée.

Tableau 1. Valeurs, minimale, moyenne et maximale pour le teneur en protéines brutes et en fibre ADF, obtenues de huit cultivars de fétuque élevée soumis à une gestion à trois coupes et à quatre coupes pour deux semis au cours de deux années de production (AP)

Coupe	Valeurs	Protéines brutes %				Fibre ADF %			
		3 coupes		4 coupes		3 coupes		4 coupes	
		AP1	AP2	AP1	AP2	AP1	AP2	AP1	AP2
Juin	Minimale	14.28	16.83	14.04	16.59	25.74	23.97	26.35	24.42
	Moyenne	17.77	19.90	17.62	20.48	27.48	29.22	27.63	29.34
	Maximale	21.07	22.64	21.22	23.66	29.54	34.55	29.36	34.47
Juillet	Minimale			17.73	18.30			29.30	25.95
	Moyenne			19.93	21.09			30.65	28.01
	Maximale			22.99	22.81			33.59	31.37
Août	Minimale	13.57	12.85	20.73	21.59	30.81	28.70	24.77	25.92
	Moyenne	14.41	15.37	22.04	22.68	32.14	30.75	26.08	27.13
	Maximale	15.54	18.43	23.73	23.58	33.98	32.85	28.88	28.44
Octobre	Minimale	15.83	14.15	16.25	16.14	25.37	24.65	24.53	23.93
	Moyenne	18.38	17.59	19.48	19.81	27.63	26.93	26.95	26.16
	Maximale	20.35	20.63	22.11	23.80	30.32	30.73	30.54	29.11

Sous une gestion à trois coupes, les teneurs en protéines brutes, pour une deuxième coupe prélevée de six à sept semaines après la première (Tableau 1), ont varié de 13.57 à 15.54 % en première année de production et de 12.85 à 18.43 % en deuxième année de production. Sous une gestion à quatre coupes, les teneurs en protéines brutes, pour les coupes deux et trois effectuées à 28 jours d'intervalle entre les coupes, ont été nettement supérieures à celles obtenues à la deuxième coupe sous la gestion à trois coupes, tandis que les valeurs moyennes pour la fibre ADF ont été plus basses.

À la coupe effectuée en début d'octobre, sous une gestion à quatre coupes et pour les deux années de production, les teneurs en protéines brutes ont été légèrement supérieures à celles obtenues sous une gestion à trois coupes. Les valeurs pour la fibre ADF ont été du même ordre de grandeur sous les deux régimes et pour les deux années de production.

Le tableau 2 fournit les informations détaillées sur la gestion à trois coupes et la gestion à quatre coupes, du cultivar Courtenay, qui a été effectuée dans cette étude. Ainsi, les dates d'intervention à chacune des coupes et pour chaque semis et les précipitations cumulées avant la première coupe et entre chacune des coupes permettent de comprendre l'évolution du rendement.

Tableau 2. Rendement, accumulation par cm de pluie, teneur en protéines brutes et en fibre ADF, par coupe, pour le cultivar de fétuque élevée Courtenay soumis à une gestion à trois coupes et à quatre coupes au cours de deux semis (S) et pour deux années de production (AP).

Coupes	AP <sup>x</sup>	Dates de coupe	Precipitations mm	Intervalle entre coupe (jours)	Rendement Mg MS ha <sup>-1</sup>	Accumulation kg MS ha <sup>-1</sup> par cm d'eau	Protéines brutes %	Fibre ADF %
Gestion à trois coupes								
		S1 <sup>y</sup>	S2	S1	S2	S1	S2	S1
1 Juin	1	1706	1206	89 <sup>z</sup>	124	3.17	3.70	356
2 Août	1	408	308	139	145	4.20	5.94	302
4 Octobre	1	910	3009	193	123	2.81	2.26	410
				421	392			18.78
						10.18	11.90	20.01
1 Juin	2	1806	1006	171	100	2.36	1.60	138
2 Août	2	308	2008	99	255	4.06	3.35	410
4 Octobre	2	3009	1210	123	122	2.04	3.86	166
				393	477			19.84
						8.46	8.80	14.28
Gestion à quatre coupes								
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1
1 Juin	1	1706	1206	89	124	3.40	3.91	382
2 Juillet	1	1507	1007	109	103	28	28	310
3 Août	1	1208	708	36	42	28	28	374
4 Octobre	1	910	3009	186	122	58	54	189
				420	391			19.65
						10.80	10.66	16.59
1 Juin	2	1806	1006	171	100	2.49	1.97	149
2 Juillet	2	1707	807	71	90	2.38	0.96	335
3 Août	2	1408	508	29	78	28	0.88	198
4 Octobre	2	3009	1210	122	209	47	68	21.62
				393	477			22.77
						6.71	7.99	22.32
								24.77
								24.42
								27.64
								26.61
								30.59
								27.48
								25.16
								27.76
								20.41
								14.04
								21.88
								29.36
								17.73
								20.71
								21.62
								22.73
								24.53
								27.13

<sup>x</sup> Année de production;

<sup>y</sup> Semis;

<sup>z</sup> À la première coupe, millimètres de pluie cumulés avant la coupe à partir du premier mai.

En première année de production, la quantité de pluie cumulée avant la première coupe (89 vs 124 mm) s'est traduite par une baisse de rendement de 0.5 Mg MS ha<sup>-1</sup>, tandis qu'à la deuxième année de production (171 vs 100 mm), l'écart a été de 0.5 à 0.75 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Comme déjà précité, l'hiver 1998-1999 a été passablement dur pour la survie des plantes et correspond à la deuxième année de production de semis 2, ce qui a fort probablement eu un effet sur le rendement.

Sous une gestion à trois coupes, avec un écart de six à sept semaines entre la première et la deuxième coupe à l'exception du semis 2 en AP2, les rendements se sont maintenus en raison

d'une bonne quantité de pluie. En première année de production, le semis 2 a bénéficié d'un bon apport d'eau avant la première coupe (124 mm) ainsi que d'une précipitation élevée avant la deuxième coupe (145 mm) pour fournir un rendement de 5.94 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Même avec seulement 99 mm de pluie, en deuxième année de production pour le semis 1, un rendement de 4.06 Mg MS ha<sup>-1</sup> a été obtenu fort probablement dû au fait que la réserve en eau du sol était suffisamment élevée pour initier rapidement la deuxième pousse. En deuxième année de production pour le semis 2, avec seulement 100 mm de pluie tombés avant la première coupe et un stress hivernal accentué, le rendement n'a été que de 1.60 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Cependant, une période plus longue entre les coupes et une forte pluviosité (255 mm) ont favorisé une bonne récupération de la fétuque élevée pour fournir un rendement de 3.35 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Cette grande quantité de pluie, entre la première et la deuxième coupe, a permis au sol de refaire ses réserves et de contribuer à l'obtention du plus haut rendement en automne avec 3.86 Mg MS ha<sup>-1</sup>.

Sous une gestion à quatre coupes, avec des coupes à 28 jours d'intervalle, les rendements ont varié en fonction des précipitations et de l'eau du sol. Ainsi, à la deuxième coupe de la première année de production pour les semis 1 et 2, les précipitations respectives ont été de 109 et 103 mm et les rendements de 3.38 et 3.12 Mg MS ha<sup>-1</sup>, correspondant à 80,5 et 52,5 % des rendements obtenus à la deuxième coupe sous gestions à trois coupes. À la troisième coupe pour le semis 1, le rendement a chuté de façon draconienne en raison de seulement 36 mm de précipitation, tandis que celui du semis 2 a subi aussi une baisse importante, mais moins forte que celle du semis 1, en raison probablement d'un contenu du sol plus élevé en eau. Les 186 mm de pluie, avant la coupe d'octobre du semis 1, ont permis une meilleure récupération pour produire le plus haut rendement avec 3.34 Mg MS ha<sup>-1</sup>.

En deuxième année de production, le scénario a été un peu différent. Pour le semis 1, une forte pluviométrie avant la première coupe suivie de 71 mm de pluie ont permis de maintenir la productivité à 2.38 Mg MS ha<sup>-1</sup> pour la deuxième coupe correspondant à 58,6% du rendement de la deuxième coupe sous gestion à trois coupes, tandis que le semis 2, avec 100 mm de précipitation avant la première coupe et 90 mm avant la deuxième n'ont pas permis à la fétuque élevée de récupérer et le rendement n'a été que de 0.96 Mg MS ha<sup>-1</sup>. À la troisième coupe du semis 1, avec 29 mm de pluie, le rendement n'a été que de 0.88 Mg MS ha<sup>-1</sup>, alors que celui du semis 2 a augmenté pour atteindre 1.55 Mg MS ha<sup>-1</sup>. Malgré les 122 mm de pluie tombés avant la coupe en fin de septembre, la fétuque élevée n'a pas été en mesure de récupérer suite aux faibles précipitations en août qui se sont traduites par un épuisement de l'eau du sol et une pauvre efficacité dans l'utilisation de l'eau en septembre, puisque le rendement qui n'a pas atteint le 1.0 Mg MS ha<sup>-1</sup>, ce qui explique le faible taux d'accumulation de matière sèche (79) par centimètre de pluie (Tableau 2). Les 209 mm de pluie, avant la coupe d'octobre du semis 2, ont permis une bonne récupération pour produire le plus haut rendement avec 3.52 Mg MS ha<sup>-1</sup>.

D'un point de vue pratique, les coupes trois du semis 1 en première et deuxième année de production n'auraient pas été prélevées en raison de la faible productivité. Cependant, les coupes 2, prélevées à seulement 28 jours après la première, ont fourni des rendements acceptables et avec des teneurs en protéines brutes de 4 à 6 % plus élevées que celles des deuxièmes coupes sous gestion à trois coupes. Pour le semis 2, d'un point de vue pratique, la récolte de la deuxième coupe de la première année de production n'aurait pas eu lieu, vue le

faible rendement. Cependant, les rendements de la troisième coupe des deux années de production sont identiques à  $1.55 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ . Ce seuil de production peut être acceptable en fonction de la qualité du matériel.

## Conclusions

Les cultivars de fétuque élevée se sont comportés de la même façon peu importe la gestion de coupe utilisée. Sous une gestion à trois coupes, en première année de production, seul le cultivar Fuego a fourni un rendement inférieur à  $10.0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ . Les cultivars Courtenay, Kokanee et Montebello ont même produit au-delà des  $11.0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ . Sous une gestion à quatre coupes, le rendement a été légèrement inférieur à celui de la gestion à trois coupes en première année de production et l'écart s'est accentué en deuxième année de production. Cependant, les cultivars Courtenay et Festorina ont quand même fourni des rendements supérieurs à  $10.0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$  en première année de production. Une bonne gestion de la deuxième coupe peut permettre des rendements acceptables avec une qualité supérieure. Les précipitations, la quantité et la répartition, jouent un rôle important pour l'obtention de gros rendements avec la fétuque élevée.

## Bibliographie

- Bélanger, G., Michaud, R., et Brégard, A. 2001. Rendement et valeur nutritive de la fléole des prés et de la fétuque élevée. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CPVQ. 1 février, p 9-10.
- Bergeron, L. 2000. Comparaison à la ferme entre cinq graminées fourragères sous régie pâturage en rotation : la fléole des prés, le dactyle peletonné, la fétuque élevée, le brome des prés et le brome inerme. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CPVQ. 25 février, p 11-16.
- Brunelle, A., Michaud, R., Poulin, V., Bergeron, L., Tremblay, J.R., Bouffard, M. et Béland, C. 1998. Comparaison de cinq graminées fourragères utilisées en paissance. 1998. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CPVQ. 20 février, p 43-44.
- Drapeau, R. 1995. Rendement potentiel, adaptation et qualité de quatre cultivars de Fétuque élevée exploitée sous régie pâturage, ensilage et foin au Saguenay-Lac St-Jean. Journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CPVQ. 21 novembre.
- Drapeau, R. 1998. Le fétuque élevée exploitée selon la régie pâturage, ensilage et foin. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CPVQ. 20 février, p 45-50.
- Drapeau, R. 1999. Évolution du rendement et de la qualité de la fétuque élevée en automne. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CPVQ. 16 février, p 6-11.
- Drapeau, R. 2004. La fétuque élevée à l'étable. Info-fourrage. Conseil Québécois des Plantes Fourragères. Vol. 3, p. 4-5.
- Drapeau, R., Bélanger, G., Tremblay, G., Michaud, R. 2006. Rendement et valeur nutritive de la fétuque élevée à l'automne. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CQPF. 14 février, p 6-11.

- Drapeau, R., Lafrenière, C. 2007. Mélanges trèfle rouge-graminées. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CQPF. 20 février, p 6-10.
- Drapeau, R., Seguin, P. 2009. Les rendements des plantes fourragères lors de l'année de l'implantation. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CQPF. 17 février, p 30-37.
- Seguin, P., Drapeau, R. 2006. Productivité et composition de mélanges trèfle Kura-graminées. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Comité des plantes fourragères et CQPF. 16 février, p 41-45.

## **Les hybrides BMR ont-ils leur place sur nos fermes?**

Alain Fournier<sup>1</sup>, Madeleine Bouffard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MAPAQ, Bureau régional de Nicolet, 460, boul. Louis-Fréchette, Nicolet J3T 1Y2

<sup>2</sup> MAPAQ, Centre de services agricoles de Drummondville, 750, boul. René-Levesque, bureau 101, Drummondville, J2C 7N7

---

### **INTRODUCTION**

Cette mutation, que l'on qualifie sous le nom de BMR (« brown midrib ») en raison de la coloration rouge tirant sur le brun de la nervure centrale des feuilles, fut observée pour la première fois en 1924. On remarque une baisse importante de la teneur en lignine (34 %) du plant de maïs qui possède ce trait génétique et une amélioration de la digestibilité des fibres NDF de près de 20 % (18,7 %) comparativement aux hybrides standards. Les hybrides BMR n'ont pas que des avantages, puisque les rendements sont environ 10 % plus faibles et le prix de la semence est presque 60 % plus élevé que les autres hybrides. Ils sont aussi moins tolérants aux conditions environnementales très sèches, de même qu'à la verse, si la récolte est retardée pour diverses raisons (Eastridge, 1999).

Avec la précieuse collaboration de MM. Gilbert et Gilles Perreault de Saint-Germain-de-Grantham, propriétaires de Ferme Gilpero inc., un essai comparant deux hybrides à deux fins (ensilage et grain de maïs) à deux hybrides BMR a été réalisé au cours de l'été 2009 sur leur entreprise. Les résultats de ce projet seront présentés dans ce document.

### **MÉTHODOLOGIE**

#### **Hybrides utilisés**

Les champs de la Ferme Gilpero inc. sont localisés dans une zone cumulant 2600 unités thermiques maïs (UTM). Les UTM des semences utilisées pour cette comparaison variaient entre 2600 et 2850, selon les hybrides (tableau 1). Quatre hybrides différents provenant de deux compagnies ont été utilisés pour cette expérience. Les deux hybrides de la compagnie Dekalb sont à deux fins et peuvent ainsi être utilisés autant pour la production d'ensilage que pour la production de grains. Les deux hybrides de la compagnie Mycogen sont destinés exclusivement à la production d'ensilage de maïs et contiennent le gène « brown midrib » ou BMR.

#### **Caractéristiques de la parcelle et suivi des hybrides**

Une partie d'un champ de Ferme Gilpero Inc. a été utilisée pour effectuer la comparaison entre les quatre hybrides. Le sol de ce champ était riche en phosphore et moyen en potassium et avait un taux de matière organique de 13,5 %. Le précédent cultural de ce champ était une culture d'ensilage de maïs. Les apports en éléments fertilisants ont été de 39 tonnes à l'hectare de fumier liquide épandu au mois de mai et de 63 kg d'azote en postlevée au stade de 6 à 7 feuilles du maïs.

Le dispositif de l'expérience est de type entièrement aléatoire avec trois répétitions par hybride. Chacune des répétitions a été semée sur une largeur de semoir de six rangs sur une longueur de Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, CRAAQ/CQPF, 16 février 2010

206 mètres. Le semis a été effectué le 13 mai au taux de 76 600 grains à l'hectare (31 000 grains/acre). La mesure de la population faite le 17 juin a donné pour les hybrides Dekalb une densité de 74 833 plants/ha pour le DKC40-20 et de 78 000 plants/ha pour le DKC42-72. Du côté des hybrides Mycogen, une population de 75 667 plants/ha pour le F2F297 et de 81 000 plants/ha pour le F2F485 a été mesurée.

Les croix des hybrides Dekalb sont apparues en même temps, soit 83 jours après le semis. Elles sont apparues avant les croix de l'hybride F2F485 de Mycogen (87 jours) et après celles de l'hybride F2F297 (80 jours). Cet ordre correspond au classement des hybrides selon leurs unités thermiques maïs.

Les parcelles ont été récoltées le 8 octobre après une faible gelée qui a endommagé les plants mais ne les a pas complètement tués. La ligne d'amidon variait entre 1/3 à 3/4 selon les hybrides n'a pas été un très bon indicateur de l'humidité de l'ensilage à la récolte (tableau 1 et 2).

**Tableau 1** Particularités, croissance et rendements des Hybrides évalués

Hybrides	Dekalb		Mycogen	
	DKC40-20	DKC42-72	F2F297	F2F485
UTM	2700	2775	2600	2850
Maturité relative (jours)	90	92	90	95
Gènes	VT3*	VT3	BMR	BMR
Émergence (plants/ha)	74 833	78 000	75 667	81 000
Émergence (%)	97.7	101.9	98.8	105.8
Sortie des croix (jours)	83	83	80	87
Ligne d'amidon, récolte (%)	40 à 50	33	66 à 75	40

\* YieldGard VT Triple<sup>MC</sup>

### **Mesure des rendements**

Les wagons utilisés pour la récolte ont tous été pesés vides avant le début de la récolte à l'aide de quatre plaques fournies par un représentant de la compagnie Dekalb. Par la suite, les wagons étaient pesés à la récolte d'une répétition d'un des hybrides. Chaque répétition mesurée était contenue dans une de ces boîtes.

### **Analyses de laboratoire**

Les analyses de laboratoire ont été réalisées par les laboratoires Agridirect de Longueuil et Dairy One d'Ithaca dans l'État de New York. Les principales composantes nutritionnelles ont été analysées par infrarouge par le laboratoire Agridirect. Un deuxième échantillon préparé par le laboratoire Agridirect a été envoyé au laboratoire Dairy One pour mesurer la digestibilité de la fibre NDF avec un temps d'incubation de 48 heures. Les échantillons ont été mis dans une étuve à une température de 55 °C pour une période de 48 heures afin de déterminer la matière sèche.

### **Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS avec la procédure GLM pour vérifier si les moyennes mesurées étaient statistiquement différentes. Un test LSD (least significant test) avec un alpha de 0,10 a été utilisé afin de discriminer les moyennes des différents hybrides.

## **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Les rendements des hybrides sont rapportés en tonnes par hectare à 35 % de matière sèche (tableau 2). Les deux hybrides Dekalb donnent des résultats similaires pour ce facteur. Les rendements des hybrides BMR sont semblables, mais significativement inférieurs aux hybrides Dekalb. Les hybrides BMR obtiennent des rendements de 18 % (F2F297) et 11 % (F2F485) inférieurs à la moyenne des rendements des deux hybrides Dekalb. La baisse de rendement observée excède la diminution de rendement de 10 % généralement mentionnée dans la littérature (Weiss, 2001). Des baisses de rendement de 30 % ont été obtenues en 2005 avec l'hybride F2F227 (hybride BMR de 2750 UTM) dans un essai analogue, confirmant la baisse de rendement importante observée en 2009 (Fournier et Bouffard, 2005). En ce qui concerne la matière sèche, un seul hybride obtient un résultat significativement inférieur aux autres hybrides, il s'agit du BMR F2F485. Cet hybride n'est vraiment pas adapté pour cette zone d'UTM. La teneur en fibre NDF de l'hybride DKC40-20 est significativement inférieure aux autres hybrides. La teneur en amidon a suivi une tangente inverse, étant significativement inférieure pour un des hybrides BMR (F2F485) comparativement aux autres hybrides. Le développement moins avancé de la plante au moment de la récolte, comparativement aux autres hybrides, peut expliquer une partie de la différence observée. La teneur en protéines, cendres et gras n'est pas significativement différente entre les hybrides. Telle qu'anticipée, la digestibilité in vitro de la fibre NDF avec un temps d'incubation de 48 heures est significativement inférieure pour les hybrides Dekalb comparativement aux hybrides BMR. La différence de digestibilité des fibres NDF entre les deux groupes d'hybrides est de 20 % supérieur pour les hybrides BMR par rapport aux hybrides Dekalb, ce qui ressemble à ce qui a été publié comme valeur dans la littérature (Eastridge, 1999).

**Tableau 2** Comparaison des rendements et de la valeur alimentaire des hybrides testés

Hybrides	DEKALB		MYCOGEN	
	DKC40-20	DKC42-72	F2F297	F2F485
Rendement 35 % MS (kg/ha)	47 852 <sup>a</sup>	47 567 <sup>a</sup>	39 286 <sup>b</sup>	42 252 <sup>b</sup>
Matière sèche (%) <sup>1</sup>	33,8 <sup>a</sup>	32,5 <sup>a</sup>	31,7 <sup>a</sup>	27,8 <sup>b</sup>
Protéine brute (%)	7,2 <sup>a</sup>	7,3 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	7,7 <sup>a</sup>
Fibre NDF (%)	32,4 <sup>a</sup>	36,8 <sup>b</sup>	40,2 <sup>b</sup>	39,2 <sup>b</sup>
Amidon (%)	43,6 <sup>a</sup>	42,9 <sup>a</sup>	38,8 <sup>a</sup>	33,8 <sup>b</sup>
Cendres (%)	4,0 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>
Gras (%)	2,6 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>
Digest. fibre NDF <sup>2</sup> (% NDF)	63,0 <sup>a</sup>	61,7 <sup>a</sup>	75,0 <sup>b</sup>	75,3 <sup>b</sup>
Kg de lait/tonne de MS	1819 <sup>a</sup>	1720 <sup>a</sup>	1835 <sup>a</sup>	1785 <sup>a</sup>
Kg de lait/ha	30 479 <sup>a</sup>	28 628 <sup>ab</sup>	25 221 <sup>c</sup>	26 404 <sup>bc</sup>

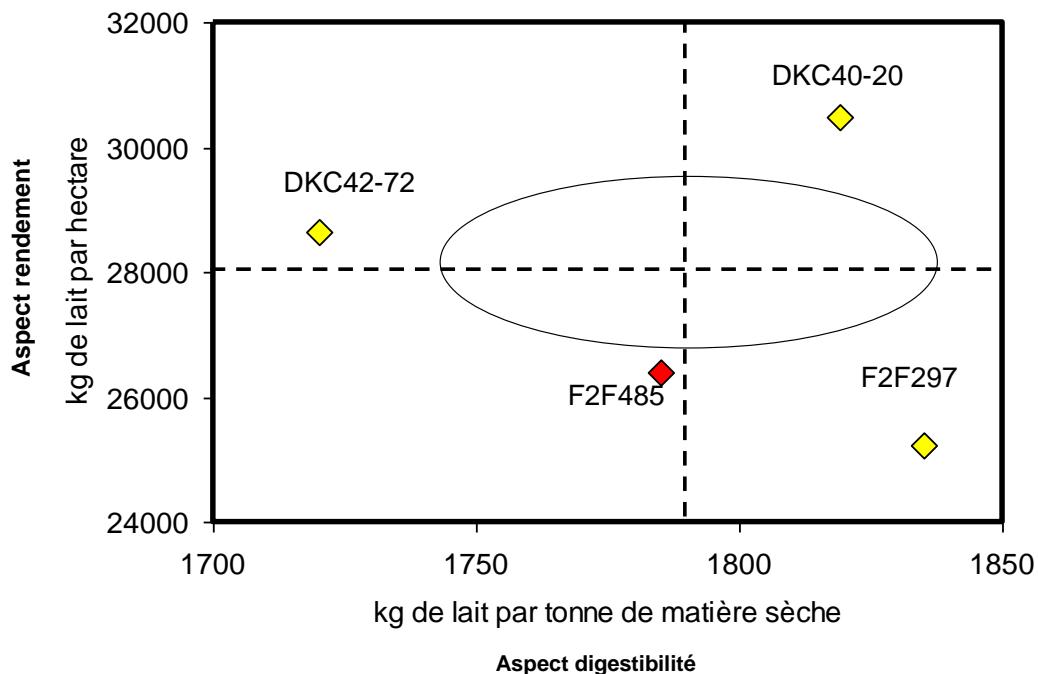
<sup>1</sup> La détermination des matières sèches a été effectuée à l'étuve et a débuté après la récolte.

<sup>2</sup> Digestibilité évaluée avec un temps d'incubation de 48 heures.

<sup>a,b</sup> Pour un critère donné, les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent à un seuil de P < 0,05.

Le logiciel « MILK2006 » a par la suite été utilisé pour calculer la quantité de lait en kg produite par tonne de matière sèche d'ensilage et la quantité de lait produits par hectare (Lauer et coll., 2009). La faible différence obtenue entre les hybrides au niveau de leurs composantes nutritionnelles ne permet pas de les différencier sur le nombre de kg de lait produit par tonne de matière sèche d'ensilage. Cependant, une portion importante de la valeur alimentaire des hybrides Dekalb provient de l'amidon tandis qu'une part importante de l'énergie des hybrides Mycogen est due à la digestibilité des fibres. L'hybride DKC40-20 de la compagnie Dekalb obtient la meilleure valeur pour la quantité de lait produite par hectare d'ensilage. L'hybride F2F297 de la compagnie Mycogen obtient la plus faible quantité pour ce facteur. Les deux autres hybrides recueillent des valeurs intermédiaires. Les résultats des hybrides sont également présentés à la figure 1. Le cercle au centre du graphique représente la valeur critique du test LSD (alpha de 0,01) pour le lait par tonne de matière sèche d'ensilage en kg (en abscisse) et pour la quantité de lait par hectare (en ordonnée). Le losange de l'hybride F2F485 est rouge pour indiquer que cet hybride n'a pas atteint une teneur en humidité adéquate pour être récolté en ensilage de maïs.

Figure 1 Comparaison des hybrides testés avec le logiciel « MILK2006 »



## CONCLUSION

L’expérience a permis de démontrer qu’il existait des différences importantes entre les hybrides deux fins de la compagnie Dekalb et les hybrides BMR de la compagnie Mycogen. L’hybride BMR (F2F297) recommandé pour la zone de 2600 UTM obtient une teneur en humidité adéquate pour la récolte tandis que l’humidité élevée de l’hybride BMR (F2F485) indique qu’il n’est pas adapté pour cette zone de culture. Les hybrides Dekalb obtiennent des rendements tout près de 20 % supérieurs à l’hybride BMR recommandé pour la zone d’UTM, ce qui est considérable. Cependant, cet hybride se distingue par la très grande digestibilité de ses fibres, ce qui est un avantage indéniable pour la production laitière. L’hybride Dekalb (DKC40-20) obtient les meilleurs résultats en termes de kg de lait par hectare de matière sèche d’ensilage. Il obtient également une bonne note pour sa valeur alimentaire en raison de sa concentration importante en amidon, ce qui est avantageux si on considère le prix élevé des grains.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Gilbert et Gilles Perreault de Saint-Germain-de-Granham, propriétaires de la Ferme Gilpero inc., pour leur dynamisme et leur participation dans ce projet de testage d’hybrides de maïs pour l’ensilage. Des remerciements spéciaux vont aussi à nos collaborateurs des compagnies Dekalb (Vincent Chifflot), Mycogen (Nasser Seggar) et Sylvain Cormier de Meunerie Labonte-Belhumeur pour leur collaboration à la réussite de ce projet.

## **LISTE DES OUVRAGES CITÉS**

- Fournier, A. et M. Bouffard. 2005. Évaluation d'hybrides de maïs pour l'ensilage. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, CRAAQ, CQPF, 17 février 2005
- Lauer, J., K. Kohn et P. Flannery. 2009. 2009 Wisconsin corn hybrid performance trials – grain and silage. <http://corn.agronomy.wisc.edu/>
- Weiss, W. 2001. Assessing the merits of different corn hybrids for silage. Tri-State dairy nutrition conference.
- Eastridge, M. L. 1999. Brown Midrib Corn Silage.Tri-state dairy nutrition conference. p. 178-191.

# Fractionnement et récolte printanière de la fibre de maïs

Pierre-Luc Lizotte<sup>1</sup> et Philippe Savoie<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département des sols et de génie agroalimentaire, 2425, rue de l’Agriculture, Université Laval, Québec (QC), G1V 0A6, pierre-luc.lizotte@mail.mcgill.ca

<sup>2</sup>Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560, boul. Hochelaga, Québec, (QC), G1V 2J3, philippe.savoie@fsaa.ulaval.ca

---

## RÉSUMÉ

Une quantité de 42 tonnes de matière sèche (t MS) de fibre de maïs a été récoltée sur deux sites au sud-ouest du Québec (La Présentation, Saint-Philippe-de-Laprairie) au printemps 2009 sur une surface totale de 11,4 ha. Après la récolte du maïs-grain, une première parcelle à chaque site a été fauchée et râtelée à l’automne 2008 (PA). Une deuxième parcelle a été fauchée et râtelée à chaque site au printemps 2009 (PP). Tous les andains ont été pressés au printemps 2009. Le rendement de fibre avant le battage était pratiquement identique sur les deux sites à 8,3 t MS/ha. Le rendement de grain était de 10,8 et 12,4 t MS/ha aux sites 1 et 2, avec un ratio de masse de fibre à celle du grain de 0,77 et 0,67, respectivement. Au site 1, la fibre a été récoltée en grosses balles carrées (0,8 m x 0,9 m x 2,0 m); les PA formaient des balles plus lourdes (241 kg) et plus denses (150 kg MS/m<sup>3</sup>) que les PP (197 kg et 128 kg MS/m<sup>3</sup>). Toutes les balles étaient très sèches en moyenne (9% pour les PA et 5% de teneur en eau – TEE) mais l’humidité des andains d’automne était plus hétérogène que celle des andains de printemps (écart-types de 11 et 4%, respectivement). Au site 2, une partie des andains a été récoltée en balles rondes (1,2 m de largeur par 1,4 m de diamètre) qui étaient de masse semblable (195 kg/balle) aux grosses balles carrées mais moins denses (95 kg MS/m<sup>3</sup>). Une fois récoltés en balles rondes, les andains d’automne étaient plus humides que les andains de printemps (18 vs. 5% de TEE). Au site 2, une autre partie des andains de printemps a été récoltée en petites balles carrées (0,35 m x 0,45 m x 0,60 m) légères (8,8 kg) et peu denses (87 kg MS/m<sup>3</sup>). L’étude a démontré que la récolte printanière de fibre était possible au Québec, avec un rendement de l’ordre de 4 t MS/ha correspondant à 45% de récupération de la biomasse observée l’automne précédent. La TEE était très basse, inférieure à 15% et même 10% dans les bonnes conditions. La formation des andains au printemps est préférable à la formation des andains d’automne pour éviter l’englacement durant l’hiver et obtenir une TEE finale plus homogène. La récolte printanière de la fibre de maïs offre le potentiel d’une biomasse naturellement très sèche, facile à conserver sans détérioration et propice à des applications comme la litière et la combustion.

## INTRODUCTION

Au Québec, la filière des biomasses et des bioénergies est grandissante. Que ce soit au niveau de la production, de l'utilisation ou de la transformation, certaines entreprises ont développé leurs activités en considérant l'épanouissement de cette filière. Les raisons sont multiples: indépendance énergétique, la protection de l'environnement, la valorisation des résidus de production, etc. Néanmoins, en comparaison avec nos voisins du sud, les développements entourant les biomasses et les bioénergies au Québec n'en sont qu'à leurs débuts.

La culture du maïs est une des productions dominantes au Québec. Avec près de 400 000 ha en culture chaque année selon l’Institut de la statistique du Québec (2010), l'utilisation des résidus de maïs comme source de biomasse peut être particulièrement attrayante. La production du maïs est très bien établie au Québec. Comparativement à d'autres biomasses telles que le panic érigé ou le saule, le maïs est très bien connu des agriculteurs québécois. Cette production ne demande pas plusieurs années de croissance pour atteindre la maturité. Elle n'est pas une culture dédiée à la production de biomasse. Le maïs est d'abord cultivé pour son grain; les revenus générés par la vente de résidus sont secondaires et complémentaires. De bon rendements de résidus de maïs peuvent être récoltés tout en minimisant les impacts négatifs sur la qualité des sols avec une bonne gestion, selon divers chercheurs américains (Wilhelm et al., 2007; Moebius-Clune et al., 2008).

La récolte de fibre de maïs est peu pratiquée au Québec. Selon Agriculture et Agroalimentaire Canada (2010), moins de 5% des résidus sont récoltés pour en faire de la litière au Canada. D'autres usages ont été évoqués comme le fourrage, un combustible et une fibre pour les matériaux comme les panneaux agglomérés (D'Amours et Savoie, 2008). L'utilisation de la fibre de maïs sous forme de litière ou de fourrage est déjà accessible pour les producteurs agricoles. Pour la combustion toutefois, certains règlements devront être revus (Villeneuve et Savoie, 2010). De nouveaux équipements de combustion et des systèmes de manutention mieux adaptés à la fibre de maïs devront être développés.

Les objectifs de cette recherche étaient : 1) d'étudier et de documenter la récolte de la fibre au Québec et 2) de récolter une fibre de maïs très sèche. Une TEE inférieure à 15% est ciblée pour maximiser la qualité de la fibre lors de l'entreposage et pour favoriser une bonne efficacité de combustion.

## MÉTHODE ET MATÉRIEL

### Méthodologie

La fibre de maïs a été récoltée à deux sites au printemps 2009. Chaque site était divisé en deux parcelles. Une parcelle était fauchée et râtelée à l'automne 2008 (PA) alors qu'une autre parcelle était fauchée et râtelée au printemps 2009 (PP). Pour les deux parcelles, la fibre de maïs a été récoltée au printemps 2009. Les rendements et la teneur en eau (TEE) des différentes fractions de maïs ont été mesurés selon la méthodologie décrite dans Lizotte et Savoie (2009). Les pertes de fibre engendrées par les différentes opérations de récolte ont été évaluées en collectant toute la fibre se trouvant sur une superficie de 1,00 m par 3,05 m (4 rangs de 30"). Trois échantillons de pertes ont été pris après chaque opération de récolte. Ils ont été séchés à l'étuve 103°C pendant 24 h afin d'en déterminer la matière sèche (MS). Mesurées sur une base de surface cultivée, les pertes correspondent aux pertes accumulées par toutes les opérations précédentes. Par exemple, les pertes prélevées à l'endroit où un andain a été retourné et pressé correspondent aux pertes produites par le râtelage et le pressage de la fibre. Étant donné que les pertes générées par le râtelage ont été évaluées en premier lieu, les pertes associées au pressage étaient estimées en soustrayant des pertes des andains pressés celles du râtelage. Après la récolte, certaines balles de fibre ont été aléatoirement sélectionnées. Celles-ci étaient échantillonnées, mesurées et pesées. Deux échantillons de fibre ont été pris par balle. Ces échantillons ont été séchés à l'étuve à 103°C pendant 24 h afin d'en évaluer la TEE.

Afin d'estimer les rendements de fibre des parcelles récoltées, plusieurs échantillonnages ont été effectués quelques semaines avant la récolte du grain. Dans chaque parcelle aux deux sites, 5 plants de maïs ont été prélevés à chacune des dates suivantes : le 15 octobre et le 22 octobre 2008 au site 1; le 8

octobre, le 22 octobre et le 5 novembre 2008 au site 2. Les plants de maïs ont été séparés en 7 fractions : les grains, la rafle, les spathes, les feuilles situées au-dessus du premier épi (feuilles-haut), les feuilles-bas, la tige située au-dessus de l'épi (tige-haut) et la tige-bas. Ces fractions ont été séchées à l'étuve pendant plus de 24 h afin d'en évaluer les rendements en matière sèche (MS) et la TEE.

## Site 1

Le site 1 est une ferme de 1000 ha à La Présentation, Québec, Canada. Le producteur fait une rotation des cultures échelonnée sur trois ans (maïs, soya et céréales). Il pratique également le travail minimal des sols. Le grain a été battu le 1<sup>er</sup> novembre 2008. Le 5 novembre, 1,83 ha (PA) de résidus de maïs ont été fauchés à l'aide d'une faucheuse rotative New Idea (modèle 5208) de 2,7 m de largeur et un tracteur White (modèle 6810) de 110 hp (tableau 1). La faucheuse permettait de couper trois rangs de maïs à une hauteur d'environ 60 à 90 mm (2,5 à 3,5") du sol. Ensuite, cette parcelle a été râtelée à l'aide d'un râteau à barres parallèles de marque New Holland (modèle 258) et le tracteur White. Quatre passages de râteau ont été nécessaires pour former un andain de grosseur suffisante. Le 26 avril 2009, ces andains ont été retournés pour accélérer le séchage au champ. Durant cette même journée, 3,08 ha (PP) ont été fauchés et râtelés avec la faucheuse et le râteau mentionnés ci-haut. Les andains des deux parcelles ont été retrouinés le 29 avril 2009 pour cause de pluie survenue le 28 avril 2009. Le 30 avril, la fibre de chaque parcelle a été récoltée à l'aide d'une presse à grosse balles carrées CaseIH (modèle LBX 332) et un tracteur John Deere (modèle 8110) de 165 hp. Durant cette même journée, les balles mesurant 1,83 m (72") par 0,90 m (35") par 0,81 m (32") ont été transportées et entreposées dans un hangar fermé non loin des parcelles.

## Site 2

La fibre de maïs a également été récoltée à une ferme située à Saint-Philippe-de-Laprairie, Québec, Canada. Le producteur possède 1800 ha en culture sous une rotation de deux ans, soit du maïs et du soya en alternance et en semis-direct. Le maïs-grain a été battu le 12 novembre 2008. Le 19 novembre, 2,16 ha de résidus de maïs ont été fauchés avec une faucheuse rotative de marque Taarup (modèle 2424) de 2,4 m de largeur et un tracteur Massey Ferguson (modèle 461) de 55 hp. La fibre de maïs a été mise en andain avec un râteau de même modèle (NH 258) que celui utilisé au site 1. De même, un andain correspondait à quatre passes de râteau. Les andains ont été retournés le 24 mai 2009 et ils ont été pressés le lendemain, soit le 25 mai 2009. La récolte s'est effectuée à l'aide d'une presse à balle ronde John Deere (modèle 458) et d'un tracteur John Deere (modèle 5420) de 65 hp. En ce qui a trait à la PP, la fibre a été coupée et mise en andain en une seule opération à l'aide d'une broyeur-andaineur de 4,57 m (15') de largeur de marque Hiniker (modèle 5610) et d'un tracteur John Deere (modèle 7430) de 161 hp. La fibre se trouvant sur 2,68 ha de cette parcelle de 4,36 ha a été pressée avec les mêmes machines que la PA. L'autre surface de 1,68 ha de fibre a été récoltée avec une presse à petites balles carrées de marque New Holland (modèle 315) et un tracteur New Holland (modèle 7511) de 90 hp. Des petites balles carrées d'une longueur de 0,60 m (24") ont été pressées afin de servir dans la chambre de combustion d'une fournaise à bois. Les balles rondes ont été empilées à l'extérieur, sous une toile, alors que les petites balles carrées ont été entreposées à l'intérieur, sur des palettes de bois.

Le tableau 1 résume les différentes séquences d'opérations de récolte aux deux sites. L'acronyme GBC représente les parcelles pressées en grosses balles carrées, BR représente les parcelles pressées en balles rondes et PBC représente les parcelles pressées en petites balles carrées.

Tableau 1. Séquence d'opérations de récolte de fibre de maïs après le battage : andainage d'automne ou de printemps et trois forme des balles : grosses balles carrées (GBC), balles rondes (BR) et petites balles carrées (PBC).

Dates des Opérations	Site 1		Site 2		
	Automne GBC (1.83 ha)	Printemps GBC (3.08 ha)	Automne BR (2.16 ha)	Printemps BR (2.68 ha)	Printemps PBC (1.68 ha)
01 Nov	Battage	Battage			
05 Nov	Fauche				
	Râtelage 1				
12 Nov			Battage	Battage	Battage
19 Nov			Fauche		
			Râtelage 1		
26 Apr	Râtelage 2	Fauche			
		Râtelage 1			
29 Apr	Râtelage 3	Râtelage 2			
30 Apr	Pressage	Pressage			
24 May			Râtelage 2	Fauc. + And.	Fauc. + And.
25 May			Pressage	Pressage	Pressage

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Rendements et TEE de la fibre avant la récolte du grain

Le tableau 2 montre le rendement et la TEE du grain et des fractions de fibre de maïs avant le battage (1<sup>er</sup> novembre au site 1; 12 novembre au site 2). Les données pré-récoltes ont été regroupées pour les parcelles destinées à l'andainage d'automne (PA) et à l'andainage de printemps (PP); le rendement total de fibre le 22 octobre était de 8,38 t MS/ha sur PA et 8,23 t MS/ha sur PP du site 1. De même, les données pré-récolte des parcelles du site 2 étaient semblables : le rendement total de la fibre le 5 novembre était de 8,46 t MS/ha sur PA et 8,22 t MS/ha sur PP. Le rendement de fibre de toutes les parcelles sur les deux sites juste avant la récolte du grain était très semblable, en moyenne de 8,3 t MS/ha.

Lors du premier échantillonnage au site 1 (15 octobre), le rendement de fibre moyen des deux parcelles était de 8,93 t MS/ha, alors que pour le dernier prélèvement (22 octobre), le rendement était de 8,30 t MS/ha. Le rapport du rendement de fibre sur le rendement de grain correspondait à 0,79 et 0,77 pour le premier et le dernier échantillonnage. Une diminution de 0,63 t MS/ha de fibre a été observée sur 7 jours. À la dernière date au site 1, la rafle avec 1,55 t MS/ha et la tige-bas avec 2,57 t MS/ha étaient les fractions de fibre les plus importantes.

Pour le site 2, les rendements moyens de fibre lors du premier échantillonnage (8 octobre) et du dernier (5 novembre) étaient de 8,67 et 8,34 t MS/ha avec des ratios de 0,70 et 0,67 de rendements fibre/grain, respectivement. Une diminution de 0,33 t MS/ha a été enregistrée sur 28 jours entre ce deux échantillonnages. Tout comme le site 1, les résultats du site 2 montrent que les deux fractions les plus importantes sont la rafle (1,58 t MS/ha) et la tige-bas (2,36 t MS/ha), suivies de près par les feuilles.

Selon les résultats présentés par Lizotte et Savoie (2009), les rendements de fibre diminuent de façon à peu près linéaire, mais à un rythme différent selon les hybrides, sur une période du début de septembre jusqu'à la mi-novembre. Cette diminution des rendements est attribuée principalement à la sénescence de la fibre, mais également aux conditions météorologiques et aux insectes nuisibles. Il est donc probable que les rendements réels lors de la fauche de la fibre à l'automne et au printemps soient inférieurs aux résultats présentés ci-haut, juste avant le battage. Cependant, l'évaluation des rendements par prélèvement d'épis avant battage est considérée comme la méthode la plus précise.

Tableau 2. Rendement et TEE du grain et des fractions de fibre de maïs évalués à deux dates de prélèvement avant la récolte du grain (battage le 1<sup>er</sup> novembre au site 1; le 12 novembre au site 2).

Fractions	Site 1				Site 2			
	15 oct.		22 oct.		08 oct.		05 nov.	
	Rend. (t MS/ha)	TEE (%)						
Grains	11,35	24,7	10,79	23,6	12,47	32,2	12,40	22,2
Rafle	1,68	50,9	1,55	47,4	1,54	56,6	1,58	36,5
Spathes	0,63	19,4	0,59	31,1	0,79	23,7	0,85	13,2
Feuilles-haut	1,54	20,3	1,38	23,4	1,65	24,8	1,20	10,3
Feuilles-bas	1,37	20,4	1,35	30,2	1,18	15,4	1,45	14,4
Tige-haut	0,91	61,6	0,88	60,7	0,90	67,5	0,90	22,4
Tige-bas	2,81	80,5	2,57	79,1	2,61	79,7	2,36	72,1
Fibre totale	8,93	49,1	8,30	50,7	8,67	50,0	8,34	35,1

Entre le 15 et le 22 octobre au site 1, la TEE pondérée de la fibre totale et la TEE de chacune des fractions sont restées relativement constantes (avec une légère réhumidification des spathes et des feuilles-bas possiblement à cause d'une pluie en surface). En date du 22 octobre, la fraction la plus humide demeurait la tige-bas (79,1%). Entre le 8 octobre et le 5 novembre au site 2, la TEE pondérée de la fibre totale est passée de 50,0 à 35,1%. Cette diminution est attribuée en partie à la déshydratation de la rafle dont la différence de TEE est importante (de 56,6% à 36,5%) ainsi que son rapport massique en référence à la masse totale du plant (7,6% de la plante en date du 5 novembre). Tout comme au site 1, la fraction de la fibre avec la TEE la plus élevée au site 2 est la tige-bas avec 72,1%. La TEE de cette fraction a peu changé au cours des 28 jours séparant le premier (79,2%) et le dernier prélèvement. Cette même fraction (tige-bas) affecte davantage la TEE pondérée des parcelles des deux sites considérant sa TEE élevée et son rapport massique élevé (13,5% et 11,4% pour le site 1 et 2 lors du dernier échantillonnage). Étant exposées au vent et au soleil, les feuilles-haut ont la TEE la moins élevée (23,4 et 10,3% pour les sites 1 et 2 lors du dernier échantillonnage).

### Rendements et TEE de fibre récoltée

Le tableau 3 présente la quantité de fibre récoltée par parcelle. L'indice de récolte représente la quantité de fibre récoltée au printemps 2009 sur la quantité totale de fibre se trouvant au champ à l'automne précédent selon la dernière mesure avant le battage. Les rendements de fibre récoltée au site 1 sont identiques, soit 3,9 t/ha pour la PA et PP, avec un indice de récolte moyen de 48%.

Au site 2, le rendement de fibre récolté avec la presse à balle ronde est légèrement supérieur sur la PA par rapport à la PP : 4,2 vs. 3,7 t MS/ha (indices de récolte de 50 et 45%, respectivement). L'andain d'automne aurait donc conservé une plus grande partie de la biomasse. Avec la presse à petites balles

carrées, le rendement récolté est très faible (2,3 t MS/ha) avec un indice de 28%. Le ramasseur d'andains de la presse à petites balles était trop petit pour le volume élevé de fibre à ramasser; il rejettait sur le côté les surplus, ce qui explique un ramassage considérablement moins efficace. Au total sur les deux sites, on a récolté 42 t de MS de fibre de maïs sur 11,43 ha (moyenne de 3,7 t MS/ha).

Considérant que le producteur du site 2 pratiquait le semis-direct, une certaine quantité de résidus de maïs de la saison 2006 était toujours présente sur le sol à l'automne 2008. Ces résidus échantillonnés selon la même méthode que les pertes de fibre discutées dans la méthodologie ont été estimés à 2,9 et 2,7 t MS/ha pour PA et PP respectivement. Ces résidus étaient composés de fragments de feuilles, rafles, spathes et tiges, reposant sur le sol, mais légèrement enterrés. Ces fragments étaient en état de dégradation avancée et excessivement contaminés par le sol. Après la récolte de la fibre au printemps 2009, certains fragments de rafle et de tige âgés de deux ans et demi étaient encore présents dans les balles. Cependant, la majorité des résidus de 2006 n'étaient pas récoltables puisque les fragments étaient trop près du sol pour être soulevés par les dents du râteau et de la presse. Donc, les résidus de maïs de 2006 ont été considérés lors de l'estimation des pertes au champ, mais ceux-ci ont été exclus lors de l'évaluation des indices de récolte basés seulement sur la fibre aérienne à l'automne 2008.

Tableau 3. Résultats de récolte de fibre de maïs au printemps 2009 selon la période d'andainage et la forme des balles : grosses balles carrées (GBC), balles rondes (BR) et petites balles carrées (PBC).

	Site 1		Site 2		
	Automne GBC	Printemps GBC	Automne BR	Printemps BR	Printemps PBC
Superficie (ha)	1,83	3,08	2,16	2,68	1,68
Quantité récoltée (t MS)	7,2	12,1	9,1	9,9	3,8
Rend. récoltés (t MS/ha)	3,9	3,9	4,2	3,7	2,3
Rend. Pré-récolte (t MS/ha)	8,4	8,2	8,5	8,2	8,2
Indice de récolte (%)	47	48	50	45	28

Le tableau 4 présente certaines caractéristiques des balles par format et par parcelle. Le volume moyen des balles rondes était plus grand que celui des grosses balles carrées. Cependant, le poids moyen sec des balles carrées était généralement plus élevé que celui des balles rondes. Pour le site 1, la densité sèche des grosses balles carrées de la PA était supérieure à celle des balles de la PP. Le poids moyen sec des balles de la PA était de 31,5 kg de plus que celui de la PP. Un volume inférieur et une masse sèche supérieure font en sorte que la densité, en termes de matière sèche, est plus élevée pour les grosses balles carrées que pour les balles rondes. Les grosses balles carrées présentent un double avantage par rapport aux balles rondes pour le transport, avec une densité plus élevée et une forme facilitant un chargement compact sur les camions.

Lors de la fauche d'automne, la TEE moyenne des andains était de 29,7 et 52,1% pour les sites 1 et 2, respectivement. La TEE des andains du site 2 est plus élevée que celle du fractionnement d'avant battage du grain. Les résultats de fractionnement du début septembre à la mi-novembre ont démontré que la TEE pondérée de la fibre diminue de façon presque linéaire durant cette période (D'Amours and Savoie, 2008; Lizotte and Savoie, 2009). Cette augmentation de la TEE ponctuelle serait causée par la pluie, l'humidité du sol et la disposition de la fibre dans le champ suite à la récolte du grain. Entre le battage (12 novembre) et la fauche (19 novembre) de la PA, des précipitations sont survenues le 13 (9

mm) et le 15 novembre 2008 (28 mm). Une fois le grain récolté, une partie de la fibre est au sol et peut absorber l'eau de pluie, avec un potentiel d'évaporation très limité. Ainsi, la TEE moyenne de la fibre a gagné 17 points entre le battage et la mise en andains d'automne.

Tableau 4. Caractéristiques des balles de fibre de maïs récoltées au printemps 2009 après l'andainage d'automne ou de printemps sous trois formats de balles.

	Site 1		Site 2		
	Automne GBC	Printemps GBC	Automne BR	Printemps BR	Printemps PBC
Nombre de balles	33	65	55	55	455
Masse humide (kg)	241	197	200	191	8,83
Masse sèche (kg)	218	187	165	181	8,36
TEE (%)	9,0	5,2	17,8	5,3	5,3
É. T. TEE (%)	11,0	3,7	18,4	5,3	0,6
Longueur, diamètre (m)	2,09	2,01	1,37	1,39	0,59
Volume (m <sup>3</sup> )	1,51	1,45	1,81	1,85	0,10
Densité humide (kg/m <sup>3</sup> )	161	132	111	103	92,1
Densité sèche (kg/m <sup>3</sup> )	150	128	91	98	87,2

Selon les balles échantillonnées suite à la récolte de fibre, les balles des PA ont généralement une TEE plus élevée que celles des PP. De plus, la TEE des balles des PA est beaucoup plus hétérogène que celle des PP (écart-types plus élevés au tableau 4). Ces observations ne sont pas étonnantes du fait qu'en date du 6 avril 2009, le bas des andains formés à l'automne était encore gelé et pris dans la glace. Bien qu'il n'y avait plus de neige sur le sol ce jour-là, l'andain avait créé une bande isolante ralentissant le dégel printanier aux deux sites. À la fin d'avril, les andains étaient dégelés, mais la fibre se trouvant au bas et au centre des andains était encore humide. Néanmoins, des balles dont la TEE était sous 15% ont été pressées dans toutes les parcelles, à l'exception de la PA du site 2. Au site 1, les andains de la PA ont été tournés deux fois avant d'être pressés alors que les andains de la PA du site 2 n'ont été retournés qu'une seule fois. Ceci a limité la déshydratation de la fibre des andains du site 2. Pour les deux PP, la TEE des balles étaient nettement inférieure à 15%, soit environ 5,3%. De plus, la TEE de ces balles était très homogène (faible écart-type).

### Les pertes de fibre associées aux opérations de récolte

Les pertes associées à la récolte ont été évaluées après chaque opération. On a supposé que les rendements de fibre maximums étaient ceux déterminés par le fractionnement juste avant le battage du grain. Au tableau 5, on observe que les opérations de récolte qui ont produit le plus de pertes étaient la fauche et le premier râtelage combinés. Ces pertes étaient estimées à 21% de la fibre avant le battage. Les pertes produites par la broyeur-andaineur n'ont été mesurées que dans la section pressée en balles rondes de la PP du site 2. Il est sous-entendu que les pertes du broyeur-andaineur seraient les mêmes dans les deux sections de la PP au site 2. La moyenne des pertes de « Râtelage 1 » n'inclut pas la section pressée en petites balles carrées de la PP du site 2.

Pour les PA, le premier retournement des andains survenu au printemps (Râtelage 2) n'a pas produit davantage de pertes que le Râtelage 1. Le retournement des andains d'automne n'a généré, en moyenne, que 0,03 t MS/ha sur 3,09 t MS/ha de pertes des PA. Cependant, le premier et seul retournement des andains de la PP du site 1 a créé 15% de pertes. Une fibre fragilisée et un effritement accentué des

feuilles à basse TEE (Tableau 4) seraient à l'origine de ces pertes. Le tableau 3 montre que les indices de récolte pour la PA et PP du site 1 étaient relativement similaires. Toutefois, si les andains de la PP avaient été retournés une deuxième fois tout comme ceux de la PA, moins de fibre aurait été probablement récoltée dans la PP.

Tableau 5. Perte de fibre de maïs (en %) attribuable aux opérations de récolte et aux autres facteurs (lessivage, effritement et oxydation) par rapport au rendement évalué avant le battage.

Opérations	Site 1		Site 2			Moy
	Automne GBC	Printemps GBC	Automne BR	Printemps BR	Printemps PBC	
Râtelage 1 <sup>1</sup>	19	20	24	21	21	21
Râtelage 2	0	15	0	---	---	5
Râtelage 3	2	---	---	---	---	2
Pressage	11	15	7	9	13	11
Autres	23	17	20	25	38	25

<sup>1</sup> Perte produite par la fauche et le premier râtelage combinés.

Les pertes générées par l'opération de pressage de la fibre étaient semblables pour toutes les parcelles des deux sites (entre 9 et 15%, moyenne de 11%). C'est dans les PA que les pertes reliées au pressage étaient moindres. Le pressage de la PP du site 1 a généré le plus de pertes, soit 15% des rendements de fibre initiaux. Ce haut taux de pertes aurait été causé par l'irrégularité de la surface du champ. Une roue de la presse prenant appui sur un point plus élevé, les dents du ramasseur étaient trop éloignées du sol pour ramasser toute la fibre de certains andains.

Les pertes illustrées dans la catégorie « Autres » sont celles qui n'ont pas été générées par les opérations de récolte, mais bien par d'autres processus tels que la sénescence de la fibre, les insectes, le lessivage par la pluie et l'oxydation. On a également observé que le vent pouvait balayer la fibre jonchée au sol. Ces pertes ont été estimées à partir des indices de récolte de la fibre pressée. Ces pertes seraient très variables se situant entre 17 et 38%. Au site 2, la section de la PP pressée en petites balles carrées a été soumise à la même séquence d'opération que la section pressée en balle ronde. Néanmoins, l'indice de récolte de la section pressée en petites balles carrées était de 17% inférieur à celui de la section pressée en balles rondes (Tableau 3). De plus, les pertes reliées aux processus autres que ceux de récolte étaient également différentes pour les deux sections de la PP du site 2. Or, des pertes « Autres » de même grandeur auraient été normalement prévus. Ces résultats seraient dus à une sous-estimation des pertes de la presse à petites balles carrées. Une quantité importante de pertes générées par la presse (13% des rendements de fractionnement) accompagnée d'une fibre fragilisée par une TEE très basse auraient générés une importante quantité de petits fragments de fibre. Notre capacité à échantillonner ces fragments était limitée par la taille des particules. Donc, une certaine quantité de fibre n'a pu être échantillonnée résultant en une sous-estimation des pertes du pressage de petites balles carrées.

Certains avantages ont été identifiés avec l'utilisation d'un broyeur-andaineur comparativement aux opérations successives de fauche et de râtelage. Premièrement, la broyeur-andaineur a permis de compléter deux opérations en un passage, soit la fauche et la formation d'un andain. Deuxièmement, la

vitesse au champ du broyeur-andaineur (8,0 km/h) était similaire à celle de la fauche (11,4 km/h) et du râtelage (7,1 km/h). Finalement, l'utilisation du broyeur-andaineur a généré des pertes légèrement plus élevée (22,5% en moyenne), mais de même ordre de grandeur que les opérations combinées de fauche et de râtelage (19,9% en moyenne). Alors, il serait possiblement plus profitable d'utiliser le broyeur-andaineur que d'utiliser successivement une faucheuse et un râteau à foin. Cependant, le producteur possédant déjà une faucheuse et un râteau ne bénéficiera pas de l'achat d'une broyeur-andaineur considérant le coût d'achat (environ \$28 000 CAD) et l'utilisation limitée d'une telle machine sur une base annuelle.

## **CONCLUSION**

L'étude de la récolte de la fibre de maïs au printemps a permis de quantifier certains paramètres tels que les rendements et la TEE de la fibre récoltée, la masse et la densité des balles pressées, ainsi que les pertes associées aux différentes opérations. En général, près de la moitié de la fibre de maïs a pu être récoltée, soit 4,0 t MS/ha par rapport à un rendement moyen de 8,3 t MS/ha sur pied à l'automne précédent. La fibre récoltée avait une TEE inférieure à 15%, ce qui devrait faciliter la conservation de cette biomasse. L'andainage à l'automne permettait de récolter un peu plus de biomasse que l'andainage au printemps, mais la TEE était plus variable dans les andains faits l'automne précédent. De plus, les andains d'automne étaient pris dans la glace au début d'avril et pouvaient retarder le dégel du sol. Les andains faits au printemps étaient très secs, homogènes au point de vue de la TEE et, somme toute, plus faciles à récolter en balles que les andains d'automne. Les grosses balles carrées étaient le format le plus dense (130 à 150 kg MS/m<sup>3</sup>) et le plus pratique pour le transport de fibre de maïs hors du champ.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient La Coop fédérée et Agriculture et Agroalimentaire Canada pour leur soutien accordé dans le cadre d'un projet du Programme de partage des frais à l'investissement (PPFI) en recherche et développement. Une partie des travaux de recherche est également possible grâce au soutien d'une Bourse en milieu pratique (programme BMP) du Fonds québécois pour la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et du Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada (CRSNG). Les auteurs remercient Marie-Pierre Fortier, Marc-Antoine Beaulieu et René Morissette pour leur assistance technique.

## **Listes des ouvrages cités**

Agriculture and Agri-Food Canada. Corn Stover. Site visité le 28 janvier 2010.  
<http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1226595533096&lang=eng>

D'Amours, L. et P. Savoie. 2008. Fractionnement de la fibre de maïs pour servir comme fourrage, bioénergie et biomatériaux. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, CRAAQ, CQPF. p. 38-47.

Institut de la statistique du Québec. 2010. Estimations révisées des superficies et de la production du maïs-grain, par région administrative, 1998-2002. Site visité le 28 janvier 2010 à :  
[http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econom\\_finnc/filr\\_bioal/culture/culture/am116re3.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econom_finnc/filr_bioal/culture/culture/am116re3.htm)

Lizotte, P.L., et P. Savoie. 2009. Récolte fractionnée de la fibre de maïs. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, CRAAQ, CQPF. p. 57-66.

- Moebius-Clune, B.N., H.M. Van Es, O.J. Idowu, R.R. Schindelbeck, D.J. Moebius-Clune, D.W. Wolfe, G.S. Abawi, J.E. Thies, B.K. Gugino, and R. Lucey. 2008. Long-term effects of harvesting maize stover and tillage on soil quality. *Soil Science Society of America Journal*. 72(4): 960-969.
- Villeneuve, J. et P. Savoie. 2010. Normes de combustion pour les plantes herbagères et autres biomasses agricoles. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, CRAAQ, CQPF.
- Wilhelm, W.W., J.M.F. Johnson, D.L. Karlen, and D.T. Lightle. 2007. Corn Stover to Sustain Soil Organic Carbon Further Constrains Biomass Supply. *Agron J*. 99(6): 1665-1667.

# **NORMES DE COMBUSTION POUR LES PLANTES HERBAGÈRES ET AUTRES BIOMASSES AGRICOLES**

Joey villeneuve<sup>1</sup>, Philippe savoie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Joey Villeneuve, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2560, boulevard Hochelaga Québec (QC) G1V 2J3 CANADA. [joey.villeneuve@agr.gc.ca](mailto:joey.villeneuve@agr.gc.ca)

<sup>2</sup> Philippe Savoie, Ph.D., agr., ing., Chercheur et Professeur associé, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2560, boulevard Hochelaga Québec (QC) G1V 2J3 CANADA. [philippe.savoie@fsaa.ulaval.ca](mailto:philippe.savoie@fsaa.ulaval.ca)

---

## **RESUME**

De nombreux pays ont mis en place une législation-cadre afin de réglementer et d'assurer que la combustion de la biomasse forestière et agricole soit faite de manière appropriée. La législation est souvent un compromis entre les besoins du marché, la qualité de l'air et les priorités concernant la santé publique. La concentration des particules fines (PM) dans l'air est un excellent indicateur pour en évaluer la qualité. Les PM10 comprennent toutes les particules de 10 microns ( $\mu\text{m}$ ) et moins.

Depuis janvier 2010 en Europe, les PM10 doivent être de moins de  $20 \mu\text{m}/\text{m}^3$  en moyenne annuellement et moins de  $50 \mu\text{m}/\text{m}^3$  sur une base journalière avec un maximum de sept dépassements par année. Les règles sont moins précises lorsqu'il est temps d'évaluer les quantités de PM10 qui peuvent être émises par une cheminée. Le Québec permet l'émission de  $340 \text{ mg}/\text{m}^3$  de matière particulaires pour les fournaises à puissance élevée ( $> 3 \text{ MW}$  ou  $10,2 \text{ MBTU}/\text{h}$ ) et  $600 \text{ mg}/\text{m}^3$  de matière particulaire pour les fournaises de puissance faible ( $< 3 \text{ MW}$ ). Il permet la combustion de biomasse forestière, mais interdit la combustion de toute autre biomasse (paille, herbacée, rafle). Par contraste, la ville de Vancouver aura, à partir du 1<sup>er</sup> septembre 2010, des exigences beaucoup plus sévères :  $35 \text{ mg}/\text{m}^3$  pour les fournaises à puissance élevé ( $> 3 \text{ MW}$ ) et de  $50 \text{ mg}/\text{m}^3$  pour les fournaises de puissance faible. Cette différence s'explique par le fait que la majorité des installations au Québec sont en région rurale tandis que la ville de Vancouver est un endroit densément peuplé où les émissions des fournaises doivent être contrôlées à la source et non par dilution naturelle. En Europe, des niveaux maximums pour le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub>, les COV (composés aromatiques volatiles) et le NH<sub>3</sub>, sont établis et entrent en vigueur en 2010. Cependant chacun des 27 pays membres de l'Europe a des objectifs particuliers; les pays les plus riches ont des standards plus contraignants.

Il n'est pas réaliste d'établir une norme d'émission universelle concernant la combustion puisque les niveaux de tolérance varient selon les conditions socio-économiques. Un objectif universel devrait être un niveau annuel de PM10 sous  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec un maximum journalier de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les unités de combustion peuvent émettre plus, mais les niveaux tolérés devraient être inversement proportionnels à la taille de la population environnante. La mise en place de technologies comme la hauteur de la cheminée, les filtres et les cyclones est importante pour faire face à une utilisation diversifiée de biomasses pour la combustion.

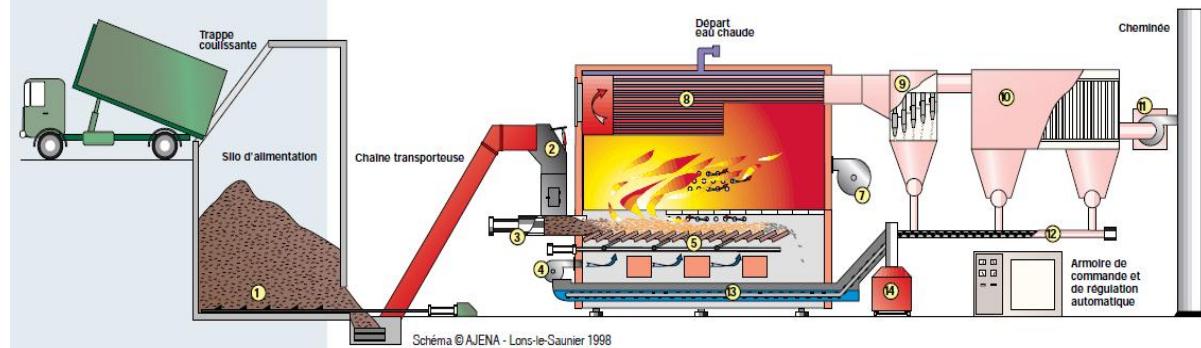
**Mots clés :** biomasse; combustion; particules; qualité de l'air; normes; émissions.

## **INTRODUCTION**

L'intérêt pour la biomasse à des fins de combustion est en croissance au Canada. Plusieurs sources de biomasse peuvent produire de l'énergie par combustion. La réglementation est généralement en fonction du type de polluants produits lors de la combustion. Certaines fibres sont plus propres que d'autres et leurs émissions atmosphériques sont plus faciles à limiter ou à nettoyer.

La valeur d'un combustible a tendance à augmenter avec sa capacité calorifique et la propreté de ses émissions. De plus, la technologie pour la manutention, l'entreposage et l'alimentation est fonction du type de combustible. Le schéma suivant (figure 1) décrit un système complet de bouilloire utilisant une biomasse broyée comme combustible.

**Figure 1** Schéma du principe de fonctionnement d'une bouilloire à la biomasse (Source : Ajena, 2010).



1. Extracteurs à échelles; 2. Sas de dosage coupe-feu; 3. Pousoir d'introduction du combustible; 4. Ventilateur d'air primaire; 5. Foyer à grilles dynamiques; 6. Chambre de combustion; 7. Ventilateur d'air secondaire et tertiaire; 8. Échangeur à tubes de fumée; 9. Dépoussiéreur multicyclones; 10. Filtre à manches; 11. Extracteur de fumée; 12. Vis d'évacuation des poussières 13. Décendrage par voie humide; 14. Conteneur à cendres

Les normes varient d'un pays à l'autre; elles peuvent même varier d'une province à l'autre à l'intérieur d'un pays. En général, les normes sont plus sévères en Europe et près des régions à densité de population élevée. Le contenu de cet article permettra de comparer les normes en vigueur au Québec à celles qui sont en vigueur au Canada et ailleurs dans le monde. Il sera alors possible d'émettre des recommandations sur les normes appliquées ainsi que sur les normes souhaitables (Villeneuve, 2009).

Les normes peuvent être exprimées de différentes façons, mais en général elles font un lien entre les particules et l'énergie produite. Les normes d'émissions de particules sont régulièrement présentées sous l'une des quatre formes suivantes : mg/Nm<sup>3</sup>, µg/Nm<sup>3</sup>, ppm, ppb (Tableau 1). En général, on considère toutes les particules inférieures à 10 microns, PM10. Par contre, l'agence de protection de l'environnement (EPA) aux États-Unis suggère de classer ces particules en deux catégories, soit :

-Les particules grossières (PM<sub>10-2.5</sub>) qui sont les particules que l'on retrouve à proximité des routes et des industries émettrices de poussière. L'EPA recommande de remplacer le standard existant pour les particules grossières qui comprennent toutes les particules de 10 microns et moins par le (PM<sub>10-2.5</sub>) qui comprendrait uniquement les particules de 2,5 à 10 microns.

-Les particules fines (PM<sub>2.5</sub>) que l'on retrouve dans les fumées et les brouillards. Les particules sont considérées comme primaires si elles sont directement émises dans l'atmosphère et comme secondaires si elles sont issues d'une réaction chimique entre les gaz dans l'atmosphère.

## METHODOLOGIE

**Avantages environnementaux de la combustion de biomasse.** Sur le plan environnemental, le chauffage à partir de biocombustibles solides a un bilan énergétique fort positif. Avec l'hypothèse que le CO<sub>2</sub> émis lors de la combustion est absorbé par les plantes durant leur croissance, le chauffage à partir de biocombustibles solide permettrait une réduction des émissions de GES allant jusqu'à 90 % par rapport à un chauffage à partir de combustibles fossiles (Segrest, 2002). Donc, du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub>, la combustion de la biomasse est presque neutre et ne constitue pas une source importante de gaz à effet de serre pouvant modifier le climat.

En effet, le cycle de conversion des plantes comme le bois et la biomasse est très court par rapport à celui des énergies fossiles (quelques années pour les plantes vs. des millions d'années pour le cycle de carbone issu des énergies fossiles). Par ailleurs, la biomasse, même si on la laisse se décomposer naturellement, va restituer la même quantité de CO<sub>2</sub> que lors de sa combustion, mais à un rythme plus lent.

De plus, le chauffage à la biomasse ne contribue pas de façon importante aux pluies acides, car la plupart des biocombustibles ont une teneur en souffre négligeable (Environnement Canada, 2010). Les équipements de chauffage doivent toutefois être bien adaptés au type de biomasse utilisé afin d'éviter les émissions de particules fines qui contribuent à la formation de smog.

**Crédits de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>).** L'intérêt du bilan de CO<sub>2</sub> est d'évaluer le gain en émission par rapport à l'utilisation des énergies fossiles. En général, l'étape de conversion de la biomasse en énergie présente un bilan de CO<sub>2</sub> nul puisque le CO<sub>2</sub> émis est équivalent à celui que la plante a capturé lors de sa croissance.

Les crédits de carbone deviendront un enjeu majeur dans le monde. Par exemple, en Europe, où les cibles sont plus contraignantes au niveau des émissions, on peut constater un meilleur débouché et des prix à la hausse pour ces crédits (EU ETS, 2005).

**Réglementation environnementale et contraintes.** Les installations de chauffage à la biomasse nécessitent souvent des démarches particulières pour des questions telles que les primes d'assurance incendie, les normes de qualité de l'air, les mesures d'élimination des cendres et la sécurité en général. Lors d'une installation d'une nouvelle chaudière à la biomasse, l'unité doit pouvoir répondre aux exigences environnementales ayant un lien direct avec celle-ci. Ces exigences peuvent être d'ordre national, provincial ou municipal.

De plus, la combustion de la biomasse est souvent associée à la formation de polluants qui doit être atténuée. La formation de polluants est principalement liée à trois raisons :

1. La combustion incomplète peut mener à l'émission élevée de polluants non brûlés tels que le CO, les scories, les matières organiques condensables (goudron), ainsi que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). La formation des HAP est intimement liée à une présence élevée de CO. Il est donc impératif d'avoir une combustion complète pour éviter ces polluants atmosphériques.

2. Les polluants tels que les NO<sub>x</sub> et les particules sont attribuables aux composés naturels du combustible comme le N, K, Cl, Ca, Na, Mg, P et le S.
3. Les biocombustibles peuvent être des véhicules de transport additionnels pour certains contaminants tels que des métaux lourds ou le chlore, qui à leur tour peuvent mener à l'émission de métaux lourds, de HCl, de dioxines et de furannes.

La combustion de la biomasse émet des concentrations relativement élevées de NO<sub>x</sub> lorsque comparée à la combustion du gaz naturel et du mazout léger. De plus, la combustion de la biomasse contribue à augmenter la quantité de particules fines (PM<sub>10</sub>), d'ozone et de NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant. Selon la procédure « The Ecological Scarcity Method » développée par le « Federal Office for the Environment (FOEN) » du gouvernement suisse, il est possible de déterminer l'analyse du cycle de vie (ACV) d'un système de combustion moderne au bois (Frischknecht et al. 2006). Toujours selon cette méthode, il fut déterminé que 38,6 % de l'impact environnemental est attribuable au NO<sub>x</sub>, 36,5 % aux PM<sub>10</sub>, seulement 2 % est attribuable au CO<sub>2</sub> et 22,9 % correspond aux autres polluants. Les conclusions de cette analyse démontrent qu'il est important d'améliorer la chaîne d'approvisionnement de la biomasse afin que l'impact environnemental global soit le plus négligeable possible. Ces conclusions sont uniquement valables lorsque la réaction de combustion est bien maîtrisée, car, dans le cas d'une mauvaise combustion de la biomasse, son impact environnemental négatif est supérieur à celui du gaz naturel. Les niveaux d'émission de polluants atmosphériques varient en fonction du type de combustible qui est brûlé (Tableau 6).

Une inquiétude de plus en plus soulevée en Europe concernant la combustion de biomasse est le niveau des particules fines (PM) qui peuvent avoir des effets non négligeables sur la santé des populations. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (WHO, 2005), les particules fines (PM) sont liées à de nombreuses maladies cardio-vasculaires et respiratoires et affectent autant les pays développés que les pays sous-développés en zone urbaine. Une ligne directrice a été établie et l'OMS recommande que les niveaux de PM ne dépassent pas des seuils spécifiques (Tableau 2).

Toujours selon l'OMS, les moteurs au diesel et la combustion de biomasse sont les deux principales sources de production de PM dans l'atmosphère. Il est donc impératif que la combustion de biomasse se fasse de manière à limiter la production de PM, surtout en milieu urbain.

**Les normes et règlements en vigueur au Québec.** Au Québec, l'utilisation d'un combustible biomasse est légiférée selon le *Règlement sur la qualité de l'atmosphère* (c. Q-2, r.20) qui fait partie de la *Loi sur la qualité de l'environnement*. Le Règlement sur la qualité de l'air concerne tous les secteurs d'activités ainsi que tous les appareils susceptibles de modifier de quelque façon la qualité de l'air. Les aspects importants de ce règlement concernant la combustion de la biomasse forestière sont regroupés ci-dessous. Le règlement c. Q-2, r.20 sert de ligne directrice générale et couvre tout le territoire du Québec. Cependant, les municipalités sont libres de passer des règlements plus sévères et plus contraignants et c'est à ce palier de gouvernement que les informations peuvent porter à confusion.

Selon la SECTION I du Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement, l'installation ou l'utilisation d'un appareil de combustion d'une puissance inférieure à 3000 kW (10,2 MBTU/h) est soustraite de l'application de l'article 22 (certificat d'autorisation) de la Loi sur la qualité de l'environnement. La définition dans cette exclusion est la suivante : l'installation ou l'utilisation d'un appareil de combustion d'une puissance inférieure à 3000 kW, à l'exclusion d'un incinérateur, d'un appareil de combustion ou d'un four industriel utilisant à des fins énergétiques des matières dangereuses résiduelles au sens de l'article 5 du Règlement sur les matières dangereuses.

Le Règlement sur la qualité de l'atmosphère précise à l'article 45 que, pour une nouvelle chaudière (combustion du bois) dont la puissance est inférieure à 3000 kW, l'émission de particules ne doit pas être supérieure à 600 mg/Nm<sup>3</sup>. Lorsque la puissance de la chaudière excède 3000 kW, l'émission de particules ne doit pas être supérieure à 340 mg/Nm<sup>3</sup>. Cette norme s'applique uniquement à la combustion du bois, dans le cas de la combustion d'une biomasse agricole telle que le panic, le miscanthus, l'alpiste roseau, etc., l'appareil de combustion doit avoir une double chambre de combustion et l'utilisateur doit démontrer par une série d'essais que le combustible (biomasse agricole) respectera les normes de qualité de l'air en vigueur au Québec (Gagné, 2010). À partir du 1<sup>er</sup> avril 2010, la norme CSA B415 entrera en vigueur, ce qui aura pour effet de modifier les normes d'émissions. La nouvelle norme s'appliquera aux chaudières d'une puissance inférieure à 2000 kW (6,8 MBTU/h) et limitera les émissions à 137 mg/Nm<sup>3</sup>. Un Nm<sup>3</sup> équivaut à 1 m<sup>3</sup> de gaz à pression et température normale (101,3 kPa et 25 °C) (MDDEP, 2009). Le tableau 3 présente les normes provinciales de qualité de l'air pour les principaux contaminants.

**Les normes et règlements en vigueur au Québec (administration municipale).** La loi sur la qualité de l'environnement permet aux municipalités de réglementer sur certains aspects qui ne sont pas définis ou explicites à la loi. Les règlements qui sont élaborés par les instances municipales ne peuvent pas aller à l'encontre de la loi et doivent servir à renforcer la nature de celle-ci. Les lois du Québec sont refondues en continu et leurs mises à jour les plus récentes sont disponibles sur le site web de l'Assemblée nationale (<http://www.assnat.qc.ca/fra/39legislature1/Projets-loi/Publics/index.htm>). Les règlements eux ne sont pas refondus, il faut contacter individuellement chaque municipalité avant le début d'un projet afin de connaître les dispositions particulières des règlements en vigueur. De plus, les règlements municipaux peuvent changer rapidement, le processus d'adoption étant plus simple et plus rapide que le processus en vigueur au niveau provincial. Chaque individu a la responsabilité de s'informer auprès de sa municipalité des règlements de zonage, des permis et des taxes municipales en vigueur.

**Comparaison des normes entre provinces et pays.** Le tableau 4 est un sommaire des normes d'émissions acceptables selon diverses juridictions. En général, on recommande une concentration de PM10 inférieure à 50 mg/m<sup>3</sup>, mais à plusieurs endroits (près de sites industriels et de cheminées) on tolère des niveaux ponctuels plus élevés. Le tableau 5 illustre les émissions acceptées directement des cheminées de chaudières de combustion à Vancouver (Weilbach, 2005) et au Québec. Les normes en milieu urbain sont plus sévères que celles sur un large territoire comme le Québec.

## **CONCLUSION**

Il y a certaines divergences au niveau de la réglementation des émissions de particules dans l'air au Canada et ailleurs. La définition même de combustibles de biomasse est différente également : le Québec autorise uniquement la combustion de la biomasse forestière tandis que la plupart des autres juridictions acceptent les autres biomasses végétales à la condition de rencontrer les normes d'émissions. La combustion de biomasses autre que le bois est permise au Québec selon certaines conditions déterminées au cas par cas en fonction des demandes faites au MDDEP.

Une étude approfondie des règlements en vigueur dans diverses juridictions pourrait servir au développement de standards pancanadiens sur la combustion de biomasse. Cela permettrait par la suite de développer des standards de qualité concernant le combustible biomasse afin d'éviter la combustion de matière polluante et toxique.

**Tableau 1 Unités d'émissions de particules**

mg/Nm <sup>3</sup>	milligramme par mètre cube de gaz à pression et température normale
µg/Nm <sup>3</sup>	microgramme par mètre cube de gaz à pression et température normale
Ppm	partie par million
Ppb	partie par milliard

**Tableau 2 Recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé sur les matières particulières fines et grossières acceptables dans l'air (WHO, 2005).**

	valeur moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	moyenne sur 24 heures ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PM <sub>2.5</sub>	10	25
PM <sub>10</sub>	20	50

**Tableau 3 Normes de qualité de l'air pour l'ensemble du territoire du Québec**

nature contaminants	des	valeur moyenne		ou	Période de mesure
		µg/Nm <sup>3</sup>	ppm*		
Particules en suspension		0-150			moyenne sur 24 heures
Particules en suspension		0-70			moy. géométrique annuelle
retombées de poussières		0-7,5 tonnes/km <sup>2</sup>			moyenne sur 30 jours
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	0-1310	0-0,50 ppm*			moyenne sur 1 heure
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	0-288	0-0,11 ppm*			moyenne sur 24 heures
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	0-52	0-0,02 ppm*			moyenne annuelle
monoxyde de carbone (CO)	0-34	0,30 ppm*			moyenne sur 1 heure
monoxyde de carbone (CO)	0-15	0-13 ppm*			moyenne sur 8 heures
ozone (O <sub>3</sub> )	0-157	0-0,08 ppm*			moyenne sur 1 heure
hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S)	0-14	0-10 ppb**			moyenne sur 1 heure
hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S)	0-11	0-8 ppb**			moyenne sur 2 heures
dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	0-414	0-0,22 ppm*			moyenne sur 1 heure
dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	0-207	0-0,11 ppm*			moyenne sur 24 heures
dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	0-103	0-0,055 ppm*			moyenne annuelle
plomb (Pb)	0-2				moy. géométrique annuelle

**Tableau 4 Comparaison des normes sur les particules entre le Canada, les États-Unis, l'Europe et l'OMS (Villeneuve, 2009).**

	particules en suspension (µg/Nm <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
<b>Canada (Province)</b>			
Alberta	100	s.o.	30
Colombie-Britannique	160-260	50	25
Île-du-Prince-Édouard	n/a	s.o.	30
Manitoba	s.o.	s.o.	30
Ontario	120	s.o.	30
Nouveau-Brunswick	s.o.	s.o.	30
Nouvelle-Écosse	120	s.o.	30
Québec	0-150	s.o.	30
Saskatchewan	120	s.o.	s.o.
Terre-Neuve-et-Labrador	120	50	25
<b>Canada (Territoire)</b>			
Territoires du Nord-Ouest	120	s.o.	30
Yukon	n/a	s.o.	30
Nunavut	120	s.o.	30
<b>États-Unis</b>			
	160-260	150	35
<b>Europe</b>			
	75	50	25
<b>OMS-WHO</b>			
	<b>s.o.</b>	<b>50</b>	<b>25</b>

**Tableau 5 Comparaison de deux règlements en vigueur sur la combustion de biomasse au Canada**

puissance utile de la chaudière	En vigueur	concentration (mg/Nm <sup>3</sup> de gaz sec corrigé à 12% de CO <sub>2</sub> )	Septembre 2010	
fournaise ou de la fournaise ou chaudière (existante ou nouvelle)				
< 3 MW	50	35		
≥ 3 MW	100	50		
Province de la Colombie-Britanique (Ville de Vancouver)				
< 3 MW	50	35		
≥ 3 MW	100	50		
Province de Québec				
< 3 MW		fournaise ou chaudière existante	nouvelle chaudière	fournaise ou chaudière
> 3 MW		600	600	
> 3 MW		450	340	

**Tableau 6 Comparaison des émissions de polluants ramenées à l'unité d'énergie entrante dans les installations de combustion de puissance inférieure à 50 MW du secteur industriel ou du chauffage collectif (Source : CITEPA, 2003)**

	Charbon	Mazout lourd	Mazout domestique	Gaz naturel	Bois
SO <sub>2</sub> (g/GJ)	618	819	95	0,5	20
NOx (g/GJ)	160	170	100	60	200
COVNM (g/GJ)	15	3	1,5	4	4,8
CO (g/GJ)	200	15	15	19	250
Poussières (g/GJ)	100	48	3	0	100
Dioxines (ng i-TEQ /GJ)	3,85	2,5	0	0	40
HAP (µg/GJ)	1920	5	0	0	8000

## Références

- Ajena. 2010. Énergie et environnement en Franche-Comté. Site visité le 2 février 2010.  
<http://www.ajena.org/index.php>
- CITEPA, 2003, Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France, Centre Interprofessionnel technique d'études des la pollution atmosphérique.
- Environnement Canada, 2010, Branché sur l'air pur, Site visité le 2 février 2010.  
[http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/Renewables-WS4DC791BB-1\\_Fr.htm](http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/Renewables-WS4DC791BB-1_Fr.htm)
- EU ETS, 2005, Directorate-General for the Environment, Emission Trading System.  
[http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/index_en.htm)
- Frischknecht, R., R. Steiner and N. Jungbluth. 2006. The Ecological Scarcity Method - Eco-Factors 2006. 188 pages. Federal Office for the Environment FOEN.
- Gagné, C., 2010, Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère (MDDEP), conversation téléphonique (418-521-3813) le 1<sup>er</sup> février 2010
- MDDEP, 2009, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs,  
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/ministere/certif/fiche1.htm>
- Segrest, S., 2002, Carbon Dioxide Reduction and Carbon Sequestration by Co-Firing Tree Energy Crops in Florida's Coal-fired Power Plants, The Common Purpose Institute.  
<http://www.treepower.org/papers/co2.pdf>
- Villeneuve, J. 2009, Normes de combustion de la biomasse au Québec, au Canada, aux États-Unis et en Europe, Centre de recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2560, boul. Hochelaga, Québec, QC G1V 2J3.
- Weilbach, K., 2008, Greater Vancouver Regional District Agricultural Boilers Emission Regulation Bylaw No. 1098,  
[http://www.metrovancouver.org/boards/bylaws/Bylaws/GVRD\\_Bylaw\\_1098.pdf](http://www.metrovancouver.org/boards/bylaws/Bylaws/GVRD_Bylaw_1098.pdf)
- World Health Organization (WHO), 2005, Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update, 22 pages,  
[http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf)

## L'EFFET DE LA DATE DE RÉCOLTE DU PANIC ÉRIGÉ SUR SON POTENTIEL DE PRODUCTION DE MÉTHANE

Yan Gilbert<sup>1</sup>, Daniel Massé<sup>1</sup>, Philippe Savoie<sup>2</sup>,  
Gilles Bélanger<sup>2</sup>, Gaétan Parent<sup>2</sup>, Daniel Babineau<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de recherche et de développement du bovin laitier et du porc, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sherbrooke, Canada

<sup>2</sup> Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec, Canada

<sup>3</sup> Groupe EBI, Berthierville, Canada

---

### Résumé

La production d'énergie renouvelable à partir de plantes fait l'objet de recherche intensive depuis plus de 20 ans. En Europe, cette recherche a mené au développement de digesteurs anaérobies commerciaux alimentés par des cultures énergétiques. Le panic érigé a été reconnu, parmi diverses plantes pérennes, comme une culture prometteuse pour la production d'énergie, sous des climats chauds à tempérés. Cependant, peu d'études ont été entreprises sous des conditions climatiques plus froides avec de plus courtes saisons de végétation. L'objectif principal de ce projet était de déterminer le rendement en méthane du panic érigé cultivé au Québec, lors d'une digestion anaérobio mésophile. La récolte du panic érigé a été réalisée à trois périodes différentes durant la saison (juillet, août et septembre 2007). La repousse des parcelles coupées en juillet a également été récoltée en septembre afin de vérifier l'effet d'une double récolte sur le rendement en méthane. Les échantillons de panic érigé ensilé ont été digérés dans des bioréacteurs à l'échelle de laboratoire (30 L) à 35°C. Le rendement spécifique en méthane a significativement diminué avec la maturité de la plante (de 0,289 à 0,207 L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> VS (solides volatils)). Cependant, les rendements étaient similaires entre les deux échantillons de la parcelle coupée à deux reprises (juillet et septembre). Les rendements de méthane par unité de surface au champ obtenus ( $1,8 \times 10^6$  à  $3,4 \times 10^6$  L<sub>N</sub> CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>) sont similaires à ceux retrouvés dans la littérature pour le panic érigé cultivé en Floride. Les résultats indiquent qu'approximativement 25% plus de méthane pourraient être produits par hectare pour la stratégie à deux récoltes par an, comparé à la récolte réalisée à la fin d'août. Cependant, cette différence n'était pas statistiquement significative ( $P > 0.05$ ). Des essais supplémentaires sont nécessaires afin de vérifier l'effet à long terme de la période de récolte et des stratégies de coupe sur la productivité au champ du panic, de façon à établir adéquatement les coûts de production de cette énergie verte.

**Mots clés:** Panic érigé, digestion anaérobio, méthane, culture énergétique, énergie verte