



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Comité plantes fourragères

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

Mardi, le 17 février 2009

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

La contribution des plantes fourragères à la vigueur économique du secteur agricole et à sa durabilité est plus d'actualité que jamais. Le contexte dans lequel elles s'insèrent est en pleine évolution. Hier encore elles étaient perçues par le non-initié comme de l'herbe verdissant les prés où les vaches paissaient paisiblement. Aujourd'hui elles sont reconnues à juste titre comme un aliment dont la valeur nutritive a une incidence directe sur les coûts de production des ruminants, et en bout de ligne, sur le coût du panier d'épicerie constitué pour près du tiers de produits laitiers de plus en plus diversifiés, et de viande de bœuf, d'agneau ou de chèvre. À l'utilisation traditionnelle en alimentation animale se sont récemment ajoutés les besoins accrus en biomasse et le développement de la filière d'éthanol cellulosique, deux créneaux où les plantes fourragères sont appelées à jouer un rôle de premier plan.

En plus de leur valeur économique directe, les plantes fourragères protègent une très vaste portion de notre territoire agricole contre l'érosion par l'eau et le vent. Elles favorisent la biodiversité et la vitalité de l'écosystème agricole par leur faible dépendance envers les fertilisants et les pesticides et offrent un refuge à de nombreuses espèces.

L'innovation et le transfert des connaissances au secteur de la production sont essentiels pour exploiter le plein potentiel des plantes fourragères. Fort heureusement, le Québec peut compter sur une expertise en recherche et développement diversifiée et hautement compétitive au niveau international. Les communications présentées lors de la dix-septième édition de la demi-journée d'information scientifique sur les fourrages présentent des résultats de recherches effectuées au laboratoire et à la ferme qui s'attaquent aux grands enjeux de l'heure. Ces travaux constituent la base du développement technologique requis pour une production de fourrage plus abondante et de meilleure qualité. Ils favorisent de plus la formation de la relève qui assurera le futur de l'innovation en production fourragère. Nous remercions sincèrement toutes les personnes qui ont collaboré aux travaux de recherche et à la présentation des résultats qui se retrouvent dans ce compte-rendu.

Gaëtan Tremblay, président, et Yves Castonguay, vice-président,
Comité Plantes Fourragères du CRAAQ

TABLE DES MATIÈRES

1- Garder votre énergie pour les fourrages. <u>Édith Charbonneau</u>	4
2- Augmentation de la concentration en glucides non-structuraux chez la fléole récoltée en après-midi. <u>Sophie Pelletier</u>	12
3- Production de fourrages de luzerne riches en énergie : Impact de l'heure de coupe et de la variabilité génétique. <u>Caroline Chouinard-Michaud</u>	18
4- Résultats préliminaires d'essais de fertilisation minérale azotée dans le panic érigé - stade 2 ^e année d'implantation et stade production. <u>René Mongeau</u>	24
5- Les rendements des plantes fourragères lors de l'année de l'implantation. <u>Raynald Drapeau</u>	30
6- Effet des doses d'inoculant lactique sur la cinétique de fermentation et la conservation des ensilages de graminées. <u>Marie-Andrée Sylvestre</u>	38
7- Influence de la couverture, la densité, le temps et la contamination microbiologique sur la qualité nutritive du maïs ensilage et la présence de toxines. <u>André Amyot</u>	46
8- Séchage du foin en grosses balles à l'échelle industrielle. <u>René Morissette</u>	49
9- Récolte fractionnée de la fibre de maïs. <u>Pierre-Luc Lizotte</u>	57

Garder votre énergie pour les fourrages

Édith Charbonneau¹, Olivier Soucy², et Doris Pellerin¹

¹Département des sciences animales, Université Laval, Québec, Courriel :
edith.charbonneau@fsaa.ulaval.ca

² Département de phytologie, Université Laval, Québec

Le prix du carburant augmente rapidement depuis quelques années. On peut estimer l'augmentation pendant les deux dernières années à environ 26 %. Cette hausse a un impact direct sur le coût des opérations culturales et indirect par la hausse des intrants (engrais, aliments et autres). Cette augmentation affecte directement vos revenus si vous ne modifiez pas vos habitudes.

Connaissant ces nouvelles contraintes de production, quelles options sont envisageables sur une ferme laitière pour diminuer les besoins en carburants ? Quelles sont les répercussions financières associées à chacune de ces options ? Quatre grandes stratégies touchant principalement la régie des champs méritent d'être analysées :

- 1) La modification du choix des rotations pour privilégier celles demandant moins d'énergie
- 2) Le semis direct
- 3) L'utilisation des pâturages
- 4) La diminution du nombre de coupes

Pour évaluer l'impact de chacune de ces stratégies, un modèle de simulation globale d'une ferme laitière a été utilisé pour considérer autant les cultures que le troupeau dans l'analyse. Ce modèle sélectionne les rotations et les aliments pour le troupeau permettant de maximiser le revenu de l'entreprise. Les analyses ont été faites pour une ferme moyenne de 53 vaches et 90 hectares en production avec les coûts de production représentatifs de cette taille de ferme (CRAAQ, 2006a). Pour considérer adéquatement la situation des producteurs de l'Estrie, deux scénarios ont été étudiés soit, une ferme située dans une région où il est possible de produire du maïs-grain avec des rendements adéquats, et une ferme avec les mêmes caractéristiques dans une région ne permettant pas la production de maïs-grain. Les plus récents prix ont été utilisés pour les intrants sur la ferme (fertilisants, aliments pour le troupeau et prix de l'essence). Pour chacune des quatre stratégies, une simulation a été réalisée. La situation initiale de 2008 (Tableau 1) servira de point de comparaison pour chacune des stratégies étudiées.

Dans le scénario permettant la production de maïs-grain, le choix des rotations représente un équilibre entre la production fourragère, principalement utilisée dans l'alimentation du troupeau, et la production de maïs-grain et de soya, en majeure partie destinée à la vente (rotations 3 à 5 ; tableau 1). Dans le scénario ne permettant pas la production de maïs-grain, la seule rotation sélectionnée est orientée vers la production fourragère avec la récolte d'un peu d'orge (rotation 1 ; tableau 1). Dans ce cas, la majeure partie de la production est utilisée pour l'alimentation du troupeau avec un peu de vente de foin. Les principales différences entre les situations initiales des deux scénarios proviennent d'un coût moindre de production des aliments et d'achat de fertilisants, et d'un revenu moins élevé issu de la vente de récoltes lorsque la ferme ne produit pas

de maïs-grain. Le rendement plus élevé en maïs par rapport aux autres cultures est la principale explication pour ces différences.

Tableau 1. Choix des rotations et bénéfice d'une ferme laitière moyenne avec ou sans la possibilité de produire du maïs-grain

	Avec maïs	Sans maïs
Bénéfice net (\$/hL)	12,08	10,04
<i>Principaux revenus</i>		
Vente de lait (\$/hL)	70,99	70,99
Vente de récoltes (\$/hL)	5,93	0,92
<i>Principales dépenses</i>		
Achat d'aliments (\$/hL)	11,98	12,49
Production d'aliments (\$/hL)	6,54	4,25
Achat de fertilisants (\$/hL)	2,35	0,44
<i>Choix des rotations¹</i>		
Rotation 1 (%)	0,0	100,0
Rotation 2 (%)	0,0	0,0
Rotation 3 (%)	66,5	0,0
Rotation 4 (%)	7,7	0,0
Rotation 5 (%)	25,8	0,0

Avec maïs :

Rotation 1 (7 ans) = ensilage de maïs ; orge ; orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 2 (4 ans) = ensilage de maïs ; maïs grain ; soya ; blé ;

Rotation 3 (7 ans) = maïs grain ; ensilage de maïs ; ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 4 (5 ans) = orge ; orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ;

Rotation 5 (3 ans) = maïs grain ; ensilage de maïs ; soya.

Sans maïs :

Rotation 1 (6 ans) = orge ; orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 2 (4 ans) = blé ; orge ; soya ; orge ;

Rotation 3 (6 ans) = blé ; ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 4 (5 ans) = ensilage de maïs ; orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ;

Rotation 5 (6 ans) = blé ; orge ; 4 années de foin de graminée.

Stratégie 1 : La modification du choix des rotations pour privilégier celles demandant moins d'énergie

Certaines cultures demandent plus de passages ou encore des équipements plus lourds ce qui nécessite une plus forte consommation de carburant. Par exemple, l'ensilage de maïs demande une consommation de carburant s'approchant du 100 litres par hectare alors que les prairies récoltées en foin n'en demandent que 20 à 40. Pour leur part, le soya en demande environ 60 litres et le blé 50 litres par hectare. Il importe toutefois, de considérer les rendements en plus de la consommation par hectare. Ainsi par exemple, l'ensilage de maïs qui consomme plus que le blé permet aussi d'obtenir de plus hauts rendements à l'hectare que le blé. Si on divise les rendements rapportés par la Financière agricole (2008) par la consommation de carburant estimé par le CRAAQ (2006b), on obtient les valeurs présentées dans le tableau 2. On observe qu'en

général les fourrages ont des rendements en kg MS par litre de carburant plus élevés que les céréales, et que le maïs-grain obtient un résultat intermédiaire entre les fourrages et les céréales. D'autres points sont également à considérer lors du choix des rotations. La sélection et la production d'aliments par rapport à leurs achats peuvent aussi avoir un effet sur le coût des rations servies aux vaches. L'utilisation d'un modèle global d'une ferme à l'avantage indéniable de nous permettre de faire une analyse plus éclairée.

Tableau 2. Efficacité énergétique des cultures avec les rendements de l'Estrie¹

Culture	Rendement (T MS par hectare)	Carburant consommé (litre par hectare)	Efficacité (kg MS par litre)
Maïs grain	4,2	59	71
Ensilage de maïs	10,4	101	103
Soya	2,2	59	37
Orge	1,1	46	23
Blé	1,1	46	25
Ensilage de luzerne	7,8	103	76
Foin de graminée (prairie de 5 ans)	4,4	40	110

¹Rendements rapportés par la Financière agricole du Québec (2008)

Pour faire les simulations quant au choix des rotations en fonction de la hausse du prix du carburant, nous avons considéré une hausse équivalente à celle observée au cours des deux dernières années. Seul l'impact sur le carburant fut considéré pour isoler ce facteur. On se doute toutefois que dans la réalité les prix des autres intrants agricoles suivraient également cette augmentation. Le tableau 3 représente la variation des résultats en comparaison à la situation initiale due à une augmentation du prix des carburants de 26 %.

Comme on pouvait s'y attendre, l'augmentation additionnelle du prix de l'essence de 26 % résulte en une détérioration du bénéfice de l'entreprise de 0,60 à 0,70\$ par hL ; ce qui représente plus 2500 \$ pour notre ferme moyenne. Une modification dans le choix des rotations est observable pour le scénario avec la production de maïs. Le modèle suggère une légère diminution de la rotation 4 au profit de la rotation 3. La rotation 4 est celle nécessitant en moyenne la plus grande consommation de carburant. L'augmentation de la rotation 3 permet de compenser en grande partie la production fourragère qui était faite par la rotation 4 dans la situation initiale.

Pour le scénario sans la possibilité de produire du maïs, les coûts de production des aliments et d'achat des fertilisants sont augmentés à cause de la hausse du prix du carburant.

Tableau 3. Répercussions de la hausse du prix du carburant sur les choix des rotations et sur le bénéfice d'une ferme laitière moyenne

	Avec maïs	Sans maïs
Bénéfice net (\$/hL)	-0,60	-0,71
<i>Principaux revenus</i>		
Vente de lait (\$/hL)	-	-
Vente de récoltes (\$/hL)	+0,12	-
<i>Principales dépenses</i>		
Achat d'aliments (\$/hL)	+0,06	-
Production d'aliments (\$/hL)	+0,48	+0,44
Achat de fertilisants (\$/hL)	+0,04	+0,43
<i>Choix des rotations¹</i>		
Rotation 1 (%)	-	-
Rotation 2 (%)	-	-
Rotation 3 (%)	+1,4	-
Rotation 4 (%)	-1,7	-
Rotation 5 (%)	+0,1	-

¹Mêmes que celles du tableau 1.

Stratégie 2 : Favoriser l'utilisation du semis direct

Le semis direct implique de minimiser les interventions sur la structure du sol permettant ainsi une meilleure conservation de ses propriétés. Il possède de nombreux avantages mais, dans le cas qui nous concerne, nous nous sommes surtout attardés à la diminution de travail du sol, et donc à la consommation moindre de carburant. Il faut toutefois considérer des ajustements aux pratiques culturelles et au choix des rotations lorsqu'on envisage cette méthode de culture. Il est vrai que la consommation de carburant diminue grâce à l'élimination du travail primaire du sol. Par contre, à cause des résidus, le semis demande souvent une consommation plus élevée de carburant qu'en travail de sol conventionnel. Prenons l'exemple de la production d'orge, on diminue la consommation de carburant d'environ 27 litres par hectare suite à l'arrêt du travail primaire du sol, mais on l'augmente de près de 5 litres lors du semis. Le bilan demeure largement positif et, avec le prix actuel du carburant, laisse présager un intérêt monétaire pour cette technique. Lors des simulations avec le modèle global (Tableau 3), les rotations ont été ajustées pour mieux convenir au semis direct et les points précédemment mentionnés ont été considérés avec un prix de carburant identique à la situation initiale.

Le semis direct a eu un impact positif sur le bénéfice des fermes des deux scénarios. En effet, avec la possibilité de produire du maïs-grain, la consommation moindre d'essence a résulté en une modification du choix des cultures, ce qui a diminué la vente des récoltes de 1,88 \$/hL soit environ 6124 \$, mais diminué encore plus les coûts de production (0,83 \$/hL ; 3440 \$) et d'achat d'aliments (0,63 \$/hL ; 2855 \$) ainsi que de d'achat de fertilisants (0,50 \$/hL ; 2090 \$).

Pour le scénario ne permettant pas la production de maïs-grain, une modification dans le choix des rotations a permis d'augmenter la vente de récoltes de 2,07 \$/hL et ainsi, le bénéfice de l'entreprise de 1,49 \$/hL soit un peu plus de 6000 \$.

Tableau 3. Répercussions du semis direct sur les choix des rotations et sur le bénéfice d'une ferme laitière moyenne

	Avec maïs	Sans maïs
Bénéfice net (\$/hL)	+0,55	+1,49
<i>Principaux revenus</i>		
Vente de lait (\$/hL)	-	-
Vente de récoltes (\$/hL)	-1,48	+2,07
<i>Principales dépenses</i>		
Achat d'aliments (\$/hL)	-0,69	+0,44
Production d'aliments (\$/hL)	-0,83	+0,23
Achat de fertilisants (\$/hL)	-0,50	+0,01
<i>Choix des rotations¹</i>		
Rotation 1 (%)	-	-11,7
Rotation 2 (%)	-	+11,7
Rotation 3 (%)	-34,1	-
Rotation 4 (%)	+30,2	-
Rotation 5 (%)	+3,9	-

Avec maïs :

Rotation 1 (6 ans) = ensilage de maïs ; orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 2 (4 ans) = ensilage de maïs ; maïs grain ; soya ; blé ; soya ;

Rotation 3 (7 ans) = ensilage de maïs ; maïs grain ; ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 4 (5 ans) = orge ; ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ;

Rotation 5 (3 ans) = ensilage de maïs ; maïs grain ; soya.

Sans maïs :

Rotation 1 (5 ans) = orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 2 (4 ans) = blé ; soya ; orge ; soya ;

Rotation 3 (6 ans) = blé ; ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ; foin de graminée ;

Rotation 4 (5 ans) = ensilage de maïs ; orge + ensilage de luzerne ; ensilage de luzerne ; ensilage mélangé ; ensilage mélangé ;

Rotation 5 (5 ans) = orge ; 4 années de foin de graminée.

Stratégie 3 : Favoriser l'utilisation des pâturages

D'un point de vue énergétique le pâturage comporte plusieurs avantages. En effet, ce sont les vaches qui récoltent elles-mêmes une partie de leurs fourrages et épandent une partie de leur fumier pendant l'été. De cause à effet, le besoin en carburant pour la récolte des fourrages est amoindri. Par contre, les superficies disponibles pour la production des autres cultures peut-être amputées. Il est donc important de ne pas seulement considérer la diminution des coûts de récoltes des fourrages, mais également de considérer la culture qui sera substituée. Les résultats des simulations utilisant le pâturage avec un prix de carburant identique à la situation initiale sont présentés au tableau 5.

L'utilisation du pâturage ne donne pas les mêmes résultats selon que la ferme peut produire ou non du maïs-grain. En effet, avec les paramètres que nous avons considérés, s'il y a production de maïs sur la ferme, il n'y a pas de bénéfice monétaire à l'utilisation du pâturage puisque les superficies nécessaires à son implantation diminuent la capacité de vendre des récoltes. Ainsi, les

économies sur l'utilisation de carburant sont effacées par la diminution des revenus de vente de récoltes.

Pour la ferme de la région ne produisant pas de maïs, l'introduction du pâturage permet une économie de 0,69\$ /hL (environ 2881 \$) compte tenu de la diminution des frais d'épandage du fumier (-1456 \$) et de la moins grande consommation de carburant (-2910 \$).

Tableau 5. Répercussions de l'utilisation de pâturages sur les choix des rotations et sur le bénéfice d'une ferme moyenne

	Avec maïs	Sans maïs
Bénéfice net (\$/hL)	-0,01	+0,69
<i>Principaux revenus</i>		
Vente de lait (\$/hL)	-	-
Vente de récoltes (\$/hL)	-3,09	+0,06
<i>Principales dépenses</i>		
Achat d'aliments (\$/hL)	-0,72	+0,24
Production d'aliments (\$/hL)	-1,69	-0,70
Achat de fertilisants (\$/hL)	-0,57	+0,19
Épandage du fumier (\$/hL)	-0,09	-0,35
<i>Choix des rotations¹</i>		
Rotation 1 (%)	-	-24,7
Rotation 2 (%)	-	-
Rotation 3 (%)	-37,0	-
Rotation 4 (%)	+17,4	-
Rotation 5 (%)	-7,1	-
Pâturage (%)	+26,7	+24,7

¹Mêmes que celles du tableau 1 ; Pâturage = orge + pâturage ; pâturage ; pâturage ; pâturage ; pâturage.

Stratégie 4 : Diminuer le nombre de coupes

Il peut être tentant de réduire le nombre de coupes des fourrages, ce qui permet d'obtenir de plus grands rendements à chacune des coupes et ainsi de diminuer le coût énergétique par kilogramme de matière sèche récolté. En contrepartie, les rendements annuels seront peu modifiés, surtout pour les légumineuses, compte tenu du nombre de coupes réduit. De plus, les fourrages récoltés plus tardivement sont de moins bonne qualité, avec une quantité de fibres plus élevée, de protéines moins élevée et une digestibilité moindre. Si on veut maintenir la production laitière, il faut s'attendre à devoir ajouter davantage de concentrés à la ration et possiblement des concentrés plus dispendieux. C'est un point important à considérer lorsqu'on connaît le prix actuel des concentrés. Il est donc essentiel de considérer tous les aspects de ce choix avant d'y adhérer. Les résultats de l'évaluation de cette option avec un prix de carburant identique à la situation initiale sont présentés au tableau 6.

Lorsque la ferme a la possibilité de faire du maïs, la diminution du nombre de coupes résulte en une augmentation de la production et de l'utilisation de l'ensilage de maïs au détriment de celles des fourrages de légumineuses et de graminées. De plus, la production de maïs grain est favorisée pour la vente. Malgré ces modifications, le bénéfice net est diminué de 0,43 \$/hL à cause de la

nécessité d'avoir davantage recours aux aliments achetés compte tenu de la qualité moindre des fourrages. Les coûts d'achat d'aliments sont ainsi majorés de façon importante de 1,84 \$/hL soit de 8466 \$.

Tableau 6. Répercussions de la diminution du nombre de coupes des fourrages sur les choix des rotations et le revenu d'une ferme moyenne

	Avec maïs	Sans maïs
Bénéfice net (\$/hL)	-0,43	-0,08
<i>Principaux revenus</i>		
Vente de lait (\$/hL)	-	-
Vente de récoltes (\$/hL)	+1,84	+1,29
<i>Principales dépenses</i>		
Achat d'aliments (\$/hL)	+1,89	+1,63
Production d'aliments (\$/hL)	+0,09	-0,33
Achat de fertilisants (\$/hL)	+0,31	+0,14
Épandage du fumier (\$/hL)	-	-0,06
<i>Choix des rotations¹</i>		
Rotation 1 (%)	-	-1,8
Rotation 2 (%)	-	-
Rotation 3 (%)	-0,3	-
Rotation 4 (%)	-7,7	-
Rotation 5 (%)	+8,0	+1,8

¹Mêmes que celles du tableau 1.

Comme la production de foin de graminées était augmentée davantage avec la diminution du nombre de coupes, elle a été avantageée pour la ferme dans la région sans la possibilité de produire du maïs ; ce qui a permis plus de vente de foin. Toutefois, l'augmentation de l'achat d'aliments causée en partie par cette vente, mais surtout par la diminution de la qualité des fourrages a diminué le bénéfice de 0,08 \$/hL par rapport à la situation initiale. La diminution du nombre de coupes n'est donc pas rentable pour une entreprise compte tenu de l'augmentation générale des coûts d'alimentation.

Le bon côté d'une rationalisation de l'utilisation des carburants

Plusieurs des stratégies proposées ont eu un effet positif sur le bénéfice net de la ferme, mais il y a plus que les résultats monétaires qui ont été affectés. En effet, lorsqu'on cherche à diminuer la consommation de carburant, on diminue également la production de gaz à effet de serre (Tableau 7). Ainsi, les options ci-haut mentionnées vous permettront également d'améliorer votre bilan environnemental. Dans un contexte où une bourse du carbone pourrait-être instaurée, ces alternatives deviennent encore plus intéressantes pour la santé financière de votre entreprise.

Tableau 7. Variation de l'émission des gaz à effet de serre selon quatre stratégies de réduction de carburant dans une ferme laitière moyenne

	Émission de gaz à effet de serre ($T \text{ éq } CO_2$) ¹	
	Avec maïs	Sans maïs
Situation initiale	836	811
Hausse du prix du carburant	+1	+4
Semis direct	-76	-19
Pâturage	-113	-101
↓ nombre de coupes	-43	-79

¹1 T de CO_2 = 1 T éq CO_2 ; 1 T de CH_4 = 21 T éq CO_2 ; 1 T de N_2O = 310 T éq CO_2 .

Conclusion

Plusieurs avenues sont disponibles pour contrer la hausse du prix du carburant et pourraient être combinées pour des impacts encore plus grands. Dépendant des caractéristiques de la ferme, certaines peuvent s'avérer plus intéressantes que d'autres. Celles ayant un plus gros impact sur le bénéfice net de la ferme sont le semis direct, qui permet des améliorations peu importe qu'on produise ou non du maïs-grain, et l'utilisation du pâturage qui est surtout rentable pour les fermes ne produisant pas de maïs-grain. La récolte de fourrages plus matures est quant à elle à proscrire peu importe la situation de la ferme.

Références

CRAAQ. 2006a. AGDEX 412-897b, Entreprise laitière, Analyse comparative Québec-Beauce 2003. CRAAQ, Québec, Canada. 2 pp.

CRAAQ. 2006b. AGDEX 740-825, Machinerie, Coût d'utilisation et taux à forfait suggérés. CRAAQ, Québec, Canada. 14 pp.

La financière agricole du Québec. 2008. Rendements réels 2006.

http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/cent_docu/stat/asrec/rend_reel/rend_reel_2006.pdf. Consulté le 12 août 2008.

Augmentation de la concentration en glucides non-structuraux chez la fléole récoltée en après-midi

Sophie Pelletier¹, Carole Lafrenière², Gaëtan Tremblay¹, Annick Bertrand¹, Gilles Bélanger¹, Yves Castonguay¹, Raynald Drapeau³ et John Rowsell⁴

^{1,2,3}Agriculture et Agroalimentaire Canada; ¹Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Québec, QC, G1V 2J3 (Sophie.Pelletier@agr.gc.ca); ²Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445, boul. de l'Université, Rouyn-Noranda, QC, Canada J9X 5E4; ³1468, rue St-Cyrille, Normandin, QC, Canada G8M 4K3; ⁴University of Guelph, New Liskeard Agricultural Research Station, Box 6007, 340 Armstrong St, New Liskeard, On, P0J 1P0.

Les fourrages présentant une concentration élevée en glucides non-structuraux (GNS) améliorent l'utilisation de l'azote chez les ruminants et réduisent les pertes azotées dans l'environnement (Miller et coll., 2001; Moorby et coll., 2006; Hoekstra et coll., 2007; Brito et coll., 2008, 2009). La concentration en GNS des plantes peut varier de manière importante durant la journée. Ces variations sont causées par un déséquilibre entre le taux de production des GNS et leur utilisation pour la croissance des plantes (Bowden et coll., 1968). Les facteurs qui affectent la croissance des plantes, tels que les conditions climatiques, la gestion de la récolte et la fertilisation azotée peuvent théoriquement affecter la concentration en GNS des fourrages. Une récolte faite en après-midi augmente la concentration en GNS de la fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.), du dactyle (*Dactylis glomerata* L.) et de la luzerne (*Medicago sativa* L.) (Fisher et coll., 1999; Burner et Belesky, 2004; Brito et coll., 2008). Ces variations sont suffisamment importantes pour que les ruminants démontrent une préférence pour le fourrage coupé en après-midi plutôt que pour celui coupé le matin et pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote par les vaches laitières (Fisher et coll., 1999, 2002; Brito et coll., 2008, 2009). L'effet d'une coupe en après-midi sur la fléole des prés (*Phleum pratense* L.) cultivée en champ n'est pas documenté dans la littérature. Cependant, en conditions contrôlées, une augmentation de 29 % de la concentration en GNS a été observée chez la fléole récoltée en après-midi (Bertrand et coll., 2008).

Shewmaker et coll. (2006) ont observé une diminution de la concentration en GNS des fourrages avec une période de croissance tardive. Dans une étude récente, Nordheim-Viken et Volden (2008) rapportent soit une augmentation, une diminution ou une absence de réponse dans la concentration en GNS de la fléole avec la période de croissance dépendamment de l'année d'observation et du lieu de croissance.

Enfin, la fertilisation azotée affecte la composition de la fléole. Une diminution de la fertilisation azotée augmente la concentration en glucides de la fléole (Tremblay et coll., 2005). En contrepartie, une réduction de la fertilisation azotée peut diminuer les rendements et la concentration en protéine brute des fourrages. Les taux de fertilisation azotée qui permettent à la fois d'augmenter la concentration en GNS et de maintenir des

rendements en matière sèche et une production animale économiquement acceptables restent à définir.

Deux études ont été menées pour déterminer les effets de 1) la coupe en après-midi plutôt qu'en matinée, 2) la croissance du printemps vs la croissance d'été et 3) la fertilisation azotée sur la concentration en GNS et en azote de la fléole des prés.

Matériel et Méthodes

Le cultivar de fléole des prés 'Champ' a été utilisé pour les deux essais présentés ici. La concentration en azote de la fléole a été déterminée dans l'essai 1 et les rendements et la concentration en GNS de la fléole ont été déterminés pour les deux essais. Les GNS sont définis comme suit : GNS = sucrose + glucose + fructose + amidon.

Essai 1 : Cet essai a été réalisé en 2007 et 2008, à deux sites en Ontario (Kapuskasing et New Liskeard). Pour les deux années de l'étude, les parcelles ont été fertilisées en P et K avant le début de la croissance au printemps et selon les recommandations basées sur les analyses de sols. Deux semaines plus tard, cinq doses de fertilisation azotée ont été appliquées (30, 50, 70, 90, et 110 kg N ha⁻¹ sous forme de NH₄NO₃). La croissance du printemps a été récoltée au stade épiaison le 15 juin 2007 à Kapuskasing ainsi que les 13 juin 2007 et 17 juin 2008 à New Liskeard. À Kapuskasing, chaque parcelle était divisée en deux : la première moitié a été coupée le matin (7h00) et l'autre moitié a été coupée l'après-midi (15h00).

Essai 2 : Cet essai a été réalisé en 2007 à Normandin, Québec. Les parcelles ont été fertilisées en N, P et K avant le début de la croissance au printemps et selon les recommandations basées sur les analyses de sols. Une dose supplémentaire de N a été appliquée après chaque coupe. La croissance du printemps a été récoltée au stade début épiaison et la croissance d'été a été récoltée 8 semaines après la première coupe. À chaque coupe, une première moitié de parcelle a été coupée le matin (8h45) et l'autre moitié a été coupée l'après-midi (15h45).

Les échantillons des deux essais ont été séchés à 55°C durant 48 heures dans une étuve à air forcé et broyés à 1 mm. Suite à l'extraction des glucides des échantillons dans un mélange de chloroforme, méthanol et eau, le sucrose, le glucose et le fructose ont été dosés par chromatographie liquide à haute performance (high performance liquid chromatography, HPLC) et l'amidon a été quantifié par spectrométrie suite à une digestion enzymatique à l'amyloglucosidase des résidus solubles.

Résultats

Heure de coupe

Essai 1 : À Kapuskasing, la croissance du printemps de la fléole récoltée au stade épiaison avait une concentration en GNS 75 % plus élevée lorsque coupée en après-midi (85,6 mg/g MS) comparativement à la coupe du matin (49,0 mg/g MS) (Tableau 1).

Essai 2 : À Normandin, la concentration en GNS était plus élevée pour la coupe d'après-midi de la fléole, tant pour la croissance de printemps (+12,1 mg/g MS) que celle d'été (+11,3 mg/g MS) (Tableau 2). Cependant, l'augmentation de la concentration en GNS de la fléole coupée en après-midi n'était significative qu'à la croissance d'été.

Période de croissance

La concentration en GNS de la fléole tendait à être plus élevée à la croissance d'été (70,7 mg/g MS) qu'à la croissance du printemps (65,1 mg/g MS, Tableau 2). Cependant, la différence moyenne entre les deux périodes de croissance était plus petite (5,6 mg/g MS) que la différence moyenne entre les heures de coupe de la même journée (11,7 mg/g MS).

Fertilisation azotée

Essai 1 : La fertilisation azotée n'a eu qu'un effet limité sur la concentration en GNS de la fléole des prés (Tableau 3). Une augmentation de la fertilisation azotée tendait à diminuer la concentration en GNS de la fléole. Cette diminution de la concentration en GNS avec l'augmentation de la fertilisation azotée observée dans le présent essai était de moindre importance que celle rapportée par Tremblay et coll. (2005).

L'augmentation de la fertilisation azotée a augmenté la concentration en azote de la fléole au deux sites, mais n'a eu qu'un effet limité sur les rendements (Tableau 3). À Kapuskasing, les rendements de fléole n'ont que faiblement augmenté (+0,6 t MS/ha) avec les doses élevées de fertilisation azotée (90 et 110 kg N/ha). À New Liskeard, la fertilisation azotée n'a pas eu d'effet significatif sur les rendements. Cela suggère une carence limitée en azote et pourrait expliquer l'absence d'effet marqué de la fertilisation azotée sur la concentration en GNS de la fléole rapporté dans cet essai.

Conclusions

La fléole coupée en après-midi avait une concentration en GNS plus élevée que la fléole coupée le matin. La croissance d'été de la fléole tendait à avoir une concentration en GNS plus élevée que la croissance du printemps. Cependant, la différence moyenne de la concentration en GNS entre les deux périodes de croissance était plus petite que la différence moyenne entre les heures de coupe de la même journée. La fertilisation azotée n'a eu que peu d'effet sur la concentration en GNS de la fléole, probablement parce que la croissance du fourrage n'était que faiblement limitée par l'azote, même à la plus faible dose d'application. Des études sont en cours pour déterminer si le fourrage de fléole des prés coupé en après-midi maintient une concentration en GNS élevée au cours du préfanage et de la fermentation en ensilage. D'autres expériences sont aussi en cours afin de mesurer l'impact de l'heure de coupe de la fléole des prés sur les performances des vaches laitières.

Liste des ouvrages cités

- Bertrand, A., G.F. Tremblay, S. Pelletier, Y. Castonguay et G. Bélanger. 2008. Yield and nutritive value of timothy as affected by temperature, photoperiod and time of harvest. *Grass Forage Sci.* 63:421–432.
- Bowden, F.W., D.K. Taylor et W.E.P. Davis. 1968. Water-soluble carbohydrates in orchardgrass and mixed forages. *Can. J. Plant Sci.* 48:9–15.
- 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. (sous presse)*.
- Burner, D.M. et D.P. Belesky. 2004. Diurnal effects on nutritive value of alley-cropped orchardgrass herbage. *Crop Sci.* 44:1776–1780.
- Fisher, D.S., H.F. Mayland et J.C. Burns. 1999. Variation in ruminant's preference for tall fescue hays cut either at sundown or at sunup. *J. Anim. Sci.* 77:762–768.
- Fisher, D.S., H.F. Mayland et J.C. Burns. 2002. Variation in ruminant preference for alfalfa hays cut at sunup and sundown. *Crop Sci.* 42:231–237.
- Hoekstra, N.J., R.P.O. Schulte, P.C. Struik et E.A. Lantinga. 2007. Pathways to improving the N efficiency of grazing bovines. *Eur. J. Agron.* 26:363–374.
- 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. 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.
- Nordheim-Viken, H. et H. Volden. 2008. Effect of maturity stage, nitrogen fertilization and seasonal variation on ruminal degradation characteristics of neutral detergent fibre in timothy (*Phleum pratense* L.). *Anim. Feed Sci. Tech.* doi:10.1016/j.anifeedsci.2008.04.015.
- Shewmaker, G.R., Mayland, H.F., Roberts, C.A., Harrison, P.A., Chatterton, N.J. et D.A. Sleper. 2006. Daily carbohydrate accumulation in eight tall fescue cultivars. *Grass Forage Sci.* 61:413–421.
- Tremblay, G.F., G. Bélanger et R. Drapeau. 2005. Nitrogen fertilizer application and developmental stage affect silage quality of timothy (*Phleum pratense* L.). *Grass Forage Sci.* 60:337–355.

Tableau 1. Concentration en glucides non-structuraux (GNS) de la croissance du printemps de la fléole des prés cultivée à Kapuskasing et coupée le matin et en après-midi au stade épiaison (moyenne de cinq doses d'azote).

Heure de coupe	GNS mg/g MS
AM	49,0a
PM	85,6b

a-b Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 2. Concentration en glucides non-structuraux (GNS) et rendements en matière sèche (MS) de la fléole des prés cultivée à Normandin et coupée le matin et en après-midi au stade début épiaison aux croissances du printemps et d'été.

Croissance	Heure de coupe	GNS mg/g MS	Rendements t MS/ha
Printemps	AM	59,0a	2,93a
	PM	71,1ab	3,15a
	<i>Moyenne</i>	65,1	3,0
Été	AM	65,0a	3,22a
	PM	76,3b	3,26a
	<i>Moyenne</i>	70,7	3,2

a-b Dans une même colonne, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 3. Rendements en matière sèche (MS) et concentrations en glucides non-structuraux (GNS) et en azote de la fléole des prés cultivée à deux sites (Kapuskasing et New Liskeard), fertilisée avec cinq doses d'azote et récoltée au stade épiaison.

Sites	Doses d'azote kg N/ha	GNS	N	Rendements t MS/ha
		—	mg/g MS	—
Kapuskasing	30	51,9ab	16,5a	2,69ab
	50	52,0b	18,6ab	2,60a
	70	50,1ab	20,0b	2,56a
	90	49,0ab	20,0bc	3,13bc
	110	42,3a	21,2c	3,33c
	<i>Moyenne</i>	49,1	19,3	2,86
New Liskeard	30	82,3a	14,9a	4,58a
	50	77,1a	17,2b	4,70a
	70	76,9a	18,6c	4,93a
	90	66,5b	19,9c	4,78a
	110	77,6a	20,6c	4,68a
	<i>Moyenne</i>	76,1	18,4	4,73

a-c Dans une même colonne et à l'intérieur d'un site, les moyennes pour les 5 doses d'azote suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Production de fourrages de luzerne riches en énergie : Impact de l'heure de coupe et de l'amélioration génétique

Caroline Chouinard-Michaud¹, Réal Michaud², Yves Castonguay², Annick Bertrand², Gilles Bélanger², Gaëtan F. Tremblay², Robert Berthiaume³, Raynald Drapeau⁴ et Guy Allard¹

¹ Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, QC, G1K 7P4 (caroline.chouinard-michaud@agr.gc.ca);

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

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

⁴ Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 1468, rue St-Cyrille, Normandin, QC, G8M 4K3.

Introduction

Près de 50% des terres agricoles du Québec sont consacrées à la production de plantes fourragères et ce, afin de satisfaire aux besoins alimentaires des ruminants. Ces plantes constituent à elles seules, près de 60% de la matière sèche de la ration du bétail. La qualité du fourrage est donc très importante afin d'optimiser la productivité de ces animaux. La qualité peut avoir une influence sur la valeur nutritive, la densité énergétique de la ration, la prise alimentaire, les suppléments à ajouter, les coûts des différents produits et conséquemment, sur les performances des animaux.

Un des critères permettant d'améliorer la qualité du fourrage est d'augmenter sa valeur nutritive; hautement définie par sa teneur en protéines et en énergie. L'énergie retrouvée dans la plante se trouve sous forme de glucides structuraux (hémicellulose, cellulose et pectine) dégradés très lentement; et de glucides non structuraux (GNS = sucres simples et amidon) qui contribuent à fournir l'énergie nécessaire aux activités microbiennes du rumen et à l'animal.

Les GNS sont une source d'énergie majeure rapidement fermentescible, permettant d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote (Miller et coll., 2001; Moorby et coll., 2006; Brito et coll., 2008). En effet, une faible teneur en énergie (faible quantité de concentrés ou fourrage pauvre en GNS), combinée à une dégradation rapide et intensive de la protéine, contribue à limiter l'utilisation de l'azote par les microbes du rumen. Le surplus d'azote est alors transformé en urée par le foie et rejeté dans l'environnement sous forme d'urine. En plus d'entraîner une dépense importante d'énergie qui devient non disponible pour la production de lait ou de viande, ce processus a des effets négatifs sur l'environnement. L'ajout de sources exogènes de GNS (concentrés) est actuellement utilisé par les producteurs pour subvenir aux besoins de l'animal, mais ces ajouts sont dispendieux et donnent des résultats variables (Lee et coll., 2003).

Différentes approches ont été évaluées au cours des dernières années afin de travailler de concert avec les producteurs pour améliorer la productivité. Il est sans doute possible d'augmenter la teneur en GNS par une bonne gestion de coupe. En effet, il a été rapporté dans la littérature que la teneur en GNS varie en fonction du moment de la journée. Les GNS augmentent avec le nombre d'heures de lumière (Castonguay et coll. 2006), et leur concentration est plus élevée en après-midi qu'en matinée (Fisher, 2002). Outre ce moyen, il a été observé par Castonguay et coll. (2006) et Tremblay et coll. (2006), que la teneur en GNS varie en fonction des génotypes de luzerne utilisés. Cette nouvelle avenue est présentement étudiée afin de voir l'impact de cette variabilité sur la teneur en GNS de la plante et également d'observer sa réponse sur les paramètres étudiés. Offrir une plante enrichie en GNS, soit par une gestion adéquate (stade et moment de récolte), soit par l'amélioration génétique ou encore une combinaison des deux, semble d'un grand intérêt. Un fourrage riche en énergie est plus appétant, donc ingéré en plus grande quantité, ce qui procure à l'animal plus d'énergie. Il est également plus digestible et a des effets bénéfiques sur les performances des ruminants (Fisher et coll., 2002; Tava et coll., 1995).

Ce projet vise à effectuer un cycle de sélection divergente pour la teneur en GNS chez la luzerne, d'évaluer la réponse des populations de luzerne sélectionnées lorsque récoltées en avant-midi ou en après-midi et à mesurer l'effet de cette sélection sur d'autres paramètres associés à la valeur nutritive, notamment la protéine, les fibres digestibles ADF et NDF, les sucres solubles et l'amidon.

Méthodologie :

En 2005, une sélection divergente pour la teneur en GNS avait été réalisée sur plus de 500 génotypes de luzerne du cultivar AC Caribou. Deux populations ont été obtenues par le croisement de 10 génotypes sélectionnés pour leur haute (GNS +) ou basse concentration (GNS -) en GNS. Une troisième population (GNS 0) a été obtenue par le croisement de 10 génotypes pris aléatoirement parmi tous les génotypes. Ces trois populations ont été transplantées au champ à Lévis en 2006. Les récoltes ont été effectuées en 2007 et 2008 à deux moments différents de la journée (9h et 15h). Chaque traitement a été répété huit fois selon un dispositif en plan en tiroir, avec le moment de coupe en parcelles principales et les populations en sous-parcelles. Chaque population était représentée par un rang de sept plantes espacées de 30 cm. Les coupes ont été effectuées au stade début floraison et le rendement en matière sèche a été évalué. Chaque échantillon récolté a été immédiatement séché (55 °C), moulu et balayé par spectroscopie dans le proche infrarouge. Une partie du matériel est analysée chimiquement (sucres solubles, amidon, fibres digestibles NDF-ADF, protéine) et l'ensemble est prédit par spectroscopie.

Résultats

Concentration en GNS selon le moment de la journée

En 2007, la teneur moyenne en GNS a été plus élevée lors des coupes effectuées en après-midi (116,6 vs. 93,7 g/kg MS) par rapport à celles effectuées en avant-midi (tableau 1). Par contre, la différence dans la concentration en sucres solubles n'a été significative que pour la deuxième (67,9 vs. 53,8 g/kg MS) et troisième (59,0 vs. 48,5 g/kg MS) coupe (tableau 2). En 2008, la concentration en sucres solubles a été significativement plus élevée lors de la coupe réalisée en après-midi et ce, pour les trois récoltes (tableau 2). La teneur en amidon a été

significativement plus élevée lors de chaque coupe en 2007 (tableau 2). Les analyses de la teneur en amidon pour la récolte de 2008 n'ont pas encore été effectuées.

Tableau 1 : Composition chimique et rendement en matière sèche selon les différents moments de coupe; AM et PM (moyenne de trois coupes par année).

Récolte	2007		2008	
	AM	PM	AM	PM
Composition chimique (g/kg MS)				
Sucres solubles	61,2 ^b	69,9 ^a	84,3 ^b	97,0 ^a
Amidon	32,7 ^b	46,7 ^a	---	---
Glucides non structuraux	93,7 ^b	116,6 ^a	---	---
Protéines	24,3 ^a	23,8 ^a	---	---
ADF	336,1 ^a	314,6 ^b	287,9 ^a	265,4 ^b
NDF	393,4 ^a	377,6 ^b	345,8 ^a	329,7 ^b
Rendement (g MS/m ²)	404,9 ^a	383,4 ^a	419,9 ^a	411,7 ^a

^z Les moyennes appartenant à une même ligne, à une même année et possédant la même lettre ne sont pas différentes à $P \leq 0,05$ selon le test de LSMEANS en Procedure Mixed.

Tableau 2: Teneur en GNS pour les trois coupes effectuées selon les différents moments de la journée en 2007 et 2008.

Récolte	AM	PM	
		2007	2008
Composition chimique (g/kg MS)			
Sucres solubles			
Coupe 1	80,9 ^a		82,7 ^a
Coupe 2	53,8 ^b		67,9 ^a
Coupe 3	48,5 ^b		59,0 ^a
Amidon			
Coupe 1	56,5 ^b		65,2 ^a
Coupe 2	18,5 ^b		38,7 ^a
Coupe 3	23,0 ^b		36,3 ^a
Glucides non structuraux			
Coupe 1	137,4 ^b		147,8 ^a
Coupe 2	72,3 ^b		106,6 ^a
Coupe 3	71,4 ^b		95,4 ^a
Sucres solubles		2008	
Coupe 1	83,0 ^b		88,1 ^a
Coupe 2	75,4 ^b		88,0 ^a
Coupe 3	94,6 ^b		114,7 ^a

^z Les moyennes appartenant à une même ligne et possédant la même lettre ne sont pas différentes à $P \leq 0,05$ selon le test de LSMEANS en Procedure Mixed.

Concentration en GNS selon la sélection génétique

En 2007, la teneur en GNS a été plus élevée pour la population GNS+ (109,7 vs. 98,9 g/kg MS) (tableau 3) comparativement à la population GNS-. La population GNS 0 a en général donné des valeurs intermédiaires. Cette différence est principalement due à la première coupe où on a obtenu une augmentation de la concentration en sucres solubles (84,2 vs. 78,3 g/kg MS) et en amidon (67,7 vs. 52,9 g/kg MS). Aucune différence entre les populations n'a été remarquée au cours de la deuxième et troisième coupe. En 2008, une différence a été notée pour la teneur en sucres solubles entre les populations GNS+ et GNS- uniquement pour la première (88,4 vs. 82,0 g/kg MS) coupe (résultats non présentés).

Tableau 3 : Composition chimique et rendement en matière sèche pour les trois coupes selon les différentes populations (moyenne de trois coupes par année).

Populations	2007		
	GNS-	GNS 0	GNS+
Composition chimique (g/kg MS)			
Sucres solubles	63,5 ^b	66,1 ^{ab}	66,9 ^a
Amidon	35,4 ^b	40,8 ^a	42,8 ^a
Glucides non structuraux	98,9 ^b	106,9 ^a	109,7 ^a
Protéines	24,0 ^b	24,7 ^a	23,5 ^c
ADF	333,4 ^a	314,8 ^a	327,7 ^a
NDF	394,3 ^a	374,6 ^b	387,6 ^{ab}
Rendement (g MS/m ²)	400,2 ^a	371,6 ^a	410,8 ^a

^z Les moyennes appartenant à une même ligne et possédant la même lettre ne sont pas différentes à $P \leq 0,05$ selon le test de LSMEANS en Procedure Mixed.

Les teneurs en NDF et en ADF ont en général été significativement plus basses lors des coupes effectuées en après-midi pour les deux années de récolte. Lors des récoltes de 2007 et 2008, aucune différence significative n'a été observée entre les populations GNS+ et GNS- pour leur teneur en fibres et pour leur rendement (tableau 4).

Tableau 4 : Teneur en NDF, ADF et rendement selon le moment de coupe et les populations sélectionnées pour 2007 et 2008.

Récolte/Populations	AM	PM	GNS-	GNS 0	GNS+
	2007				
Composition chimique (g/kg MS)					
NDF					
Coupe 1	394,3 ^a ^z	375,4 ^b	397,2 ^a	373,3 ^b	384,0 ^b
Coupe 2	427,1 ^a	416,0 ^a	424,2 ^{ab}	410,5 ^b	430,1 ^a
Coupe 3	358,9 ^a	341,4 ^b	361,6 ^a	340,0 ^b	348,8 ^{ab}
ADF					
Coupe 1	332,9 ^a	317,9 ^a	336,4 ^a	316,5 ^b	323,2 ^b
Coupe 2	382,8 ^a	361,7 ^b	374,5 ^{ab}	361,4 ^b	380,9 ^a
Coupe 3	292,5 ^a	264,1 ^b	289,3 ^a	266,6 ^b	279,1 ^{ab}
Rendement (g MS/m ²)					
NDF					
Coupe 1	450,0 ^a	409,2 ^a	408,2 ^a	421,9 ^a	458,7 ^a
Coupe 2	473,8 ^a	470,9 ^a	480,0 ^a	452,1 ^a	484,9 ^a
Coupe 3	291,1 ^a	270,1 ^a	312,3 ^a	240,7 ^b	288,9 ^{ab}
2008					
NDF					
Coupe 1	409,5 ^a	394,9 ^b	405,8 ^a	402,9 ^a	397,8 ^a
Coupe 2	353,6 ^a	338,2 ^b	354,0 ^a	342,4 ^a	341,2 ^a
Coupe 3	274,4 ^a	256,2 ^b	263,2 ^a	260,8 ^a	271,8 ^a
ADF					
Coupe 1	344,0 ^a	321,6 ^b	338,6 ^a	332,0 ^a	327,9 ^a
Coupe 2	297,5 ^a	273,9 ^b	293,5 ^a	280,7 ^a	282,9 ^a
Coupe 3	222,4 ^a	200,5 ^b	214,0 ^a	205,0 ^a	215,4 ^a
Rendement (g MS/m ²)					
NDF					
Coupe 1	747,8 ^a	733,0 ^a	709,5 ^a	748,1 ^a	763,5 ^a
Coupe 2	361,8 ^a	360,6 ^a	369,1 ^a	331,6 ^a	382,9 ^a
Coupe 3	150,0 ^a	141,6 ^a	169,0 ^a	116,8 ^b	151,6 ^{ab}

^z Les moyennes appartenant à une même ligne, à un même traitement et possédant la même lettre ne sont pas différentes à $P \leq 0,05$ selon le test de LSMEANS en Procedure Mixed.

Conclusion

Les résultats obtenus démontrent que la concentration en GNS chez la luzerne peut être accrue par une meilleure gestion de coupe ainsi que par la sélection génétique. Cependant, il semble que l'augmentation des GNS soit plus stable et plus marquée suite à une coupe effectuée en après-midi que par la sélection génétique. Il faut toutefois considérer que l'impact de l'amélioration

génétique sur les teneurs en GNS de la luzerne est susceptible de s'accentuer suite à l'application de cycles additionnels de sélection. Cette hypothèse fait présentement l'objet de recherches dans nos laboratoires.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'Action concertée AAC-FQRNT-MAPAQ-Novalait Inc. (2007-2011) pour le soutien financier accordé à ce projet, de même que le personnel des Centres de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures de Québec et de Normandin qui ont contribué de toutes autres manières à ce projet.

Liste des ouvrages cités

- Brito, A.F., et al., Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage improves milk yield of late-lactation dairy cows. *Journal of dairy science*, 2008. 91: p. 1-15.
- Castonguay, Y., G.F. Tremblay, A. Bertrand, G. Bélanger, R. Michaud, and R. Berthiaume. 2006. Genotypic variability for non structural carbohydrates in alfalfa. Affiche scientifique présentée à la « 40th North American Alfalfa Improvement Conference » et la « 19th Trifolium Conference », Minneapolis, Minnesota, 16-19 juillet.
- Fisher, D.S., H.F. Mayland, and J.C. Burns. 2002. Variation in ruminant preference for alfalfa hays cut at sunup and sundown. *Crop Science*. 42: p. 231-237.
- Lee, M.R.F., et al., *Effect of increasing availability of water-soluble carbohydrates on in vitro rumen fermentation*. *Animal Feed Science and Technology*, 2003. 104: p. 59-70.
- Miller, L.A., J.M. Moorby, D.R. Davies, M.O. Humphreys, N.D. Scollan, J.C. MacRae, and 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. MacRae, and 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.
- Tava, A., N. Berardo, C. Cunico, M. Romani, and M. Odoardi. 1995. Cultivar differences and seasonal changes of primary metabolites and flavor constituents in tall fescue in relation to palatability. *Jour. of Agri. and Chem.* 43: p.43-98.
- Tremblay, G.F., Y. Castonguay, A. Bertrand, G. Bélanger, R. Michaud, and R. Berthiaume. 2006. Variability for non structural carbohydrates amongst alfalfa genotypes. Affiche scientifique présentée au « Joint colloquium of the CSAS, the CSA, and the CSHS », Halifax, NE, 1-4 August. *Proceedings*, p.121.

Résultats préliminaires d'essais de fertilisation minérale azotée dans le panic érigé en Montérégie ouest

René Mongeau¹, Gilles Tremblay², Simon Guertin³ Quentin Royer⁴

¹MAPAQ, Montérégie ouest, Québec, Rene.mongeau@mapaq.gouv.qc.ca;

²CEROM, St-Mathieu-de Beloeil, Québec, gilles.tremblay@cerom.qc.ca

³IRDA, St-Hyacinthe, Québec, simon-p.guertin@irda.qc.ca

⁴MAPAQ, Montérégie ouest, Québec, stagiaire

Mots clés: Biomasse, panic érigé, azote

Parmi les cultures à vocation de biomasse, le panic érigé en est une qui suscite beaucoup d'intérêt au Québec présentement, où malgré sa nouveauté il y a déjà 500 ha à 1000 ha d'ensemencés actuellement. Le panic érigé, une plante pérenne de climat chaud (C4) présente naturellement dans les grandes prairies de l'Amérique du Nord, s'est développée à l'état sauvage en multiples populations diversifiées. Par conséquent, il en résulte beaucoup de variations entre les espèces ainsi qu'une large diversité d'adaptation géographique. Ces espèces naturelles ont initialement été utilisées comme plantes fourragères au cours des 50 dernières années aux États-Unis (3). Récemment les américains ont commencé à explorer son potentiel à produire du biocarburant à partir de sa biomasse. Alors qu'au Canada, plus particulièrement en Ontario et au Québec, nous croyons que la biomasse du panic érigé pourrait servir directement de biocombustible énergétiquement et environnementalement efficace (5), ou encore remplacer avantageusement différentes litières pour élevages, alors que ce matériau devient de plus en plus rare et coûteux.

Par ailleurs, on considère que la culture du panic érigé pourrait aider à réduire certaines problématiques agroenvironnementales causées par l'érosion des sols et le transport des sédiments vers les cours d'eau de différentes façons. D'abord comme plante pérenne, elle offre une alternative à l'abandon des cultures fourragères dans des secteurs fragiles à l'érosion. Dans les secteurs de grandes cultures, elle pourrait remplacer les cultures annuelles improductives ensemencées dans des zones de sols pauvres et enfin elle pourrait constituer une excellente culture permanente en bande riveraine, à valeur économique, d'autant plus que la plante est reconnue pour ses faibles besoins en fertilisants et sa haute productivité.

Les mécanismes de cette frugalité fertilisante restent toutefois mal connus. La gestion culturale du panic érigé nécessite quelques attentions, dont la date de semis, la profondeur du semis et la gestion des adventives. Une des principales interrogations sur la gestion particulière de cette culture comme biomasse concerne la gestion optimale des besoins en azote (1). L'information sur la fertilisation azotée en vue d'optimiser les rendements de biomasse, sur les prélevements d'azote et sur la dose optimale d'azote est limitée. Par ailleurs, le panic semble avoir cette capacité d'aller chercher de l'azote de sources dont les autres plantes ne réussissent pas à le faire. (3). Ainsi l'azote absorbé pour produire une récolte est souvent beaucoup plus importante que l'azote appliqué. Par exemple, aux

É.U., dans des régions recevant suffisamment de pluie pour la production, on a obtenu une récolte annuelle (à une coupe) de 15 Tm/ha avec 50 kg/ha de N. Il semble qu'une récolte annuelle par année après avoir atteint la maturité complète de la plante et sa dessiccation sur pied, permet une translocation de l'azote dans les tissus permanents et ainsi constitue une réserve d'azote.

Au Canada le guide de production du panic érigé «Le panic érigé dans l'est de l'Ontario; Un guide pour les producteurs» (6) indique que 50 à 60 kg/ha d'N sont suffisants au risque de provoquer la verse de la culture. Au champ, un producteur en Montérégie ouest qui en cultive depuis près de 15 années, généralement sans fertilisant, a fait une application d'N en 2007 pour observer aussi que le panic érigé semblait répondre à une faible dose de 50 kg/ha d'N. Simon Guertin, agronome et chercheur à l'IRDA, a réalisé un projet en 2007 pour identifier le potentiel de production de biomasse de diverses plantes annuelles (sorgho, millet et chanvre) comparé à du panic érigé bien implanté (12 ans). Dans son projet, différentes doses de N (0 – 100 – 200) ont été appliquées pour assurer un maximum de production. Sur le panic érigé, seule la dose 200 kg/ha de N a eu un effet significatif.

Sous ces différentes considérations, il apparaît donc nécessaire de mieux comprendre la gestion de l'azote dans la culture du panic érigé, d'autant plus que la gestion de la culture elle-même nécessite encore quelques ajustements pour optimiser son démarrage. Plusieurs des essais d'implantation réalisés au Québec depuis 2006 ont nécessité au moins une période de trois années pour atteindre une pleine production, confirmant ce que la littérature rapportait. Toutefois, au travers de ces essais, on a aussi observé quelques champs ou parcelles où la croissance s'était particulièrement démarquée, produisant une biomasse abondante dès la deuxième année (plus de 80% du rendement optimal) ou même une croissance importante dès la première année (en bordure de champs de maïs grain). Le délai d'implantation étant un obstacle économique important au développement de la production, il y a lieu de rechercher les facteurs favorables à une implantation rapide. La fertilisation azotée pourrait-elle y jouer un rôle clé? Deux questions sous-tendaient donc les présents essais : 1- peut-on optimiser le rendement par une bonne gestion de l'azote dans une culture bien établie? 2- l'application d'une juste dose d'N en deuxième année d'implantation peut-elle influencer la performance de production?

ESSAI DE FERTILISATION AZOTÉE SUR UNE CULTURE DE PANIC ÉRIGÉ BIEN IMPLANTÉE (3 ANNÉES)

Quatre doses d'N ont été évaluées (25N – 50N – 75N – 100N) et comparée à un témoin 0N. Les essais ont été répétés sur quatre blocs, dans la région de Salaberry-de-Valleyfield, chez M. Normand Caron. Les essais ont été réalisés sur un sol de type loam sablo graveleux et les analyses démontrent une certaine uniformité organo-chimique (tableau 1) et un pourcentage moyen de matière organique de 3.9%.

Tableau 1 –Analyses de sol au printemps

Doses de N	pH eau	pH tampon	MO (%)	Ca	P	saturation	
						P	K
0N	6,1	6,6	4,0	2120	81	2,3	93
25N	6,1	6,4	3,9	2240	74	2,1	100
50N	6,2	6,6	3,8	2410	87	2,4	100
75N	6,0	6,5	4,1	2310	87	2,4	113
100N	6,1	6,5	3,9	2330	94	2,5	111

Les parcelles de 3 m X 12 m ont été fertilisées avec un fertilisant azoté à base de nitrate (27-0-0) dès le démarrage de la repousse au printemps. Une mesure de la hauteur de croissance a été prise en début juillet où on a pu distinguer une différence dans les parcelles fertilisées avec 50N et plus. Toutefois cette différence ne s'accentuait pas avec l'augmentation de la dose, lorsque supérieure à 50N (tableau 2).

Tableau 2 – Hauteur de la plante – mi-juillet

fertilisation	0N	25N	50N	75N	100N
Hauteur des plants (cm)	77.2	76.6	85.6	83.1	89.4

La récolte a été effectuée en début octobre alors que le panic avait complètement changé de couleur, à un taux moyen d'humidité de 50%. Les rendements moyens des parcelles qui ont reçu 50N – 75N et 100N apparaissent supérieurs à priori avec un écart moyen de 16 %. (Tableau 3 et Figure 1) à celles de 0N et 25N. Par contre les rendements des parcelles avec des doses de 50N et plus ne montrent pas de différence entre elles.

Tableau 3 – Rendements des parcelles de panic érigé en production avec fertilisation N

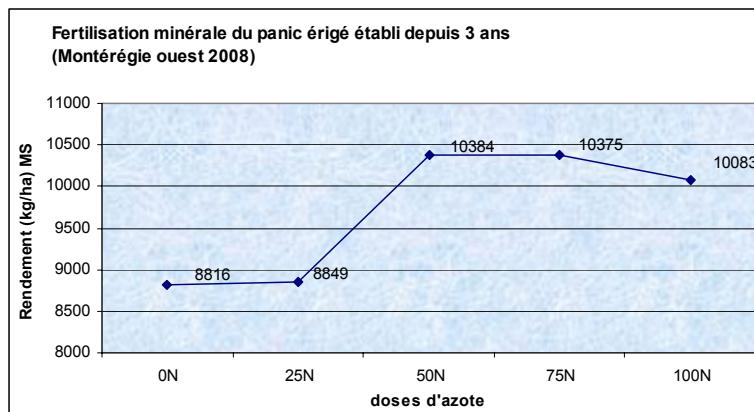
fertilisation	0N	25N	50N	75N	100N	Rendement M.S. (kg/ha)
Bloc 1	9953	6981	10561	10500	9433	
Bloc 2	9574	10000	10410	10648	12724	
Bloc 3	7765	9207	10283	10536	8988	
Bloc 4	7970	9207	10283	9814	9187	
moyenne	8816^a	8849^a	10384^a	10375^a	10083^a	

Cette perception ne résiste toutefois pas à l'analyse statistique. Pour chaque dose d'azote, les valeurs respectives de chaque parcelle comportaient trop d'écart entre elles avec un R^2 de 57,6

Par contre considérant que l'effet Bloc (variation entre les blocs d'essais) était minime, la courbe linéaire semblable aux courbes de fertilisation optimales vient donner une

certaine tendance aux résultats, à l'effet que le seuil de fertilisation azotée pourrait se situer à 50 kg/ha (figure 1).

Figure 1 – Rendements moyens des différentes doses d'azote



Par ailleurs, considérant que la culture est essentiellement destinée à approvisionner un marché de biocombustible solide et qu'en ce domaine il faut tenir compte de la teneur en chlorure et en potassium de la plante, deux constituants qui influencent la quantité de cendre et sa propension à former un mâchefer solide dans les appareils de combustion, une analyse des tissus récoltés à l'automne a été effectuée pour s'assurer qu'un apport d'azote n'ait pas d'influence sur leurs concentrations. Les résultats d'analyses (Tableau 4) n'indiquent pas de variation significative de ces deux constituants de la plante suite à l'apport de différentes doses d'azote, ni d'influence sur les quantités de cendre après combustion.

Tableau 4 – Concentration de Cl, K et cendres des tissus de panic érigé

Doses de N	K (%)	Cl (%)	cendres (%)
0N	0,8	0,2	4,3
25N	0,9	0,2	4,4
50N	0,9	0,2	4,2
75N	0,9	0,2	4,2
100N	0,9	0,2	4,1

ESSAI DE FERTILISATION AZOTÉE SUR UNE CULTURE DE PANIC ÉRIGÉ EN IMPLANTATION (1 AN)

Deux doses d'azote ont été mises à l'essai (50N – 100N) pour mesurer si un apport d'azote à la deuxième année pouvait stimuler la croissance et optimiser le temps d'implantation. Cet essai n'a pas démontré d'avantages mesurables lors de l'essai, d'autant plus que le site retenu a présenté des variations imprévues entre les blocs (Tableau 5). Sans en tirer une conclusion, nos résultats portent à croire que la structure de sol a plus d'influence sur la vigueur de la repousse d'une culture en démarrage que l'apport de fertilisant azoté.

Tableau 5 – Rendements de panic érigé en implantation avec fertilisation N

fertilisation	0 N	50 N	100N
Bloc 1	2557	3970	4145
Bloc 2	4987	3754	4639
Bloc 3	7973	4482	5893
Bloc 4	5871	6776	8392
moyennes	5347	4746	5768

DISCUSSION

Les résultats préliminaires d'un premier essai de fertilisation azotée du panic érigé en production nécessitent évidemment que l'essai soit répété sur plus d'une année. Par contre, ils reflètent les recommandations de fertilisation publiées dans le guide de production de R.E.A.P Canada, ainsi que les observations faites au champ par le producteur de Valleyfield.

Par ailleurs, des essais menés aux É.U. (1) ont démontré que le panic érigé bénéficie davantage des réserves de N-NO³ accumulées dans les horizons inférieurs du sol que de l'azote apporté directement par la fertilisation annuelle. Huang et al. (1996) (6) ont rapporté que le panic érigé avait pu prélever jusqu'à 20 kg de N-NO³ /ha à des profondeurs supérieures à 120 cm, soit environ 22% de l'azote total requis. Nos résultats, où l'influence de l'azote appliqué semble plafonner à 50 kg/ha pourraient s'expliquer par ce phénomène. Il y aura lieu de «creuser» cette question.

D'autre part, il faut prendre en considération que les résultats d'essais menés par S. Guertin de l'IRDA démontrant une réponse du panic érigé à l'azote seulement à une dose de 200 kg/ha, ont été obtenus sur une culture de panic érigé de 12 ans, comparativement à l'essai ci-contre qui a été réalisé sur un champ de trois ans. Sur un champ de 12 ans, l'accumulation de matière organique au cours des années par les résidus de culture, créant potentiellement une banque d'azote en profondeur, pourrait expliquer la différence de résultats, considérant les réponses obtenus par Huang et al. (1996) (6).

Quant aux avantages d'une fertilisation en deuxième année d'implantation, malgré des résultats non significatifs, il ne semble pas prioritaire de poursuivre sur cette piste. La réserve du sol en N-NO₃³ et sa structure pourraient constituer de meilleures pistes de travail pour l'avenir.

Liste des ouvrages cités

- (1) Rocky Lemus, Davis J. Parrish, Ozzie Abaye; 2008; Nitrogen-Use Dynamics in Switchgrass Grown for Biomass; Bioenerg. Res. 1 :53-162
- (2) Kenneth P. Vogel, John J. Brejda, Daniel T. Walters, Dwayne R. Buxton; 2002; Switchgrass Biomass Production in the Midwest USA; Agronomy Journal 94:413-420
- (3) Parrish David J., Fike John H.; 2005; The biology and agronomy of switchgrass for biofuels; Critical reviews in plant sciences, vol. 24, n° 5-6 pp 423-459
- (4) Guertin, Simon; 2008; Évaluation agronomique du potentiel d'espèces végétales comme sources de matières brutes dans la fabrication de biocarburant; IRDA
- (5) Girouard Patrick, Mehdi Bano, Samson Roger; 2007; Le Panic Érigé dans l'Est de l'Ontario; Un Guide pour les Producteurs; R.E.A.P. Canada
- (6) Huang Y, Rickerl DH; 1996; Recovery of deeppoint injected soil nitrogen-15 by switchgrass, alfalfa, ineffective alfalfa and corn. J. Environ. Quality. 25 :1394-1400
- (7) Remerciements aux producteurs agricoles qui ont collaborés aux essais : MM. Gilles Leduc & Normand Caron

Les rendements des plantes fourragères lors de l'année de l'implantation.

Raynald Drapeau¹ et Philippe Seguin²

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

²Université McGill, Campus Macdonald, 21111 Lakeshore Road, Sainte-Anne-de-Bellevue, Qc. H9X 3V9.

Introduction

Plusieurs producteurs laitiers, pour des raisons diverses, abandonnent la production laitière pour se lancer dans la production de céréales à petits grains. La culture répétée des plantes annuelles sur un même sol peut avoir des effets négatifs à long terme. Les rotations de culture dans les champs amenuisent ces effets. Les plantes fourragères, généralement utilisées pour de longues rotations, contribuent au maintien de la richesse des sols.

Les plantes fourragères cultivées au Québec sont souvent établies avec une céréale à petits grains comme plante-abri. L'établissement des plantes fourragères en semis pur fait perdre le revenu de la récolte de la céréale pendant l'année de l'implantation. Il y a très peu de données sur le potentiel de rendement des plantes fourragères l'année du semis lorsqu'elles sont établies en semis pur.

Les rendements, lors de l'année de l'implantation, sont-ils suffisants pour générer un revenu par la vente de la récolte en utilisant les plantes fourragères en courte rotation, en région à courte saison de croissance? Est-ce qu'il y a des espèces de plantes fourragères qui pourraient se démarquer en produisant un rendement élevé l'année de l'implantation avec une gestion à une coupe en août et une gestion comportant une deuxième coupe en octobre? De plus, quel est l'effet d'une deuxième coupe, en octobre, sur la production l'année suivante? Voici les questions auxquelles le présent projet cherche à fournir des réponses.

Matériel et Méthodes

L'étude a été réalisée à la Ferme de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Normandin (48° 51' Nord; 72° 2' Ouest). L'essai a été effectué avec les espèces des deux grandes familles de plantes fourragères : les graminées et les légumineuses. En considération de la gestion spécifique à appliquer aux espèces de chaque famille, l'essai a été divisé en deux, les légumineuses et les graminées. Afin de pouvoir vérifier l'effet d'une deuxième coupe, en octobre l'année de l'implantation, deux périodes de coupes ont été définies : vers le 20 août et tard en octobre.

Un arrangement factoriel a été utilisé pour chaque groupe de plantes. Ainsi pour les légumineuses 40 parcelles (5 espèces x 2 dates de coupe x 4 répétitions) et pour les graminées 64 parcelles (8 espèces x 2 dates de coupe x 4 répétitions) ont été implantées. Les espèces utilisées, leur cultivar et la dose de semis, sont présentées au tableau 1.

Avant le semis, une application de 5-20-20 +0.2% de bore a été effectuée dans toutes les parcelles. Après la première coupe, les légumineuses ont reçu une fumure de 0-15-30 + 0.2 % B (250 kg ha⁻¹), tandis que les graminées recevaient 50 unités d'azote. Les

semis ont été effectués le 10 mai en 2005, le 9 mai en 2006, le 14 mai en 2007 et le 13 mai en 2008.

Les herbicides employés sur les graminées ont été : le Refine extra (20g ha^{-1} + Ag Surf 2L /1000 L eau) en 2005 et 2007, le Refine extra (20g ha^{-1} + Ag Surf 2L /1000 L eau) et le 2-4 D Amine 600 (2.1L ha^{-1}) en 2006 et le Premium 3 Way (5.5 L ha^{-1}) en 2008. Pour les légumineuses, sur la luzerne, le Cobutox 600 (2 L ha^{-1}), sur les trèfle rouge, blanc et d'Alexandrie, le Tropotox Plus 400 (3 L ha^{-1}) et sur le trèfle kura, le Pursuit (312 ml ha^{-1} + Ag Surf 2L /1000 L eau) ont été appliqués pour la répression des mauvaises herbes.

Tableau 1. Liste des espèces, des cultivars et de la dose de semis utilisés pour évaluer le rendement l'année de l'implantation.

Spèces	Cultivars	Dose de semis ($kg ha^{-1}$)
Luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.)	AC Caribou	10
Trèfle d'Alexandrie (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.)	Bigbee	10
Trèfle blanc (<i>Trifolium repens</i> L.)	Shasta	2
Trèfle Kura (<i>Trifolium ambiguum</i> M.B.)	Endura	10
Trèfle rouge (<i>Trifolium pratense</i> L.)	AC Charlie	12
Alpiste roseau (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)	Bellevue	11
Brome inerme (<i>Bromus inermis</i> Leyss)	Radisson	13
Brome des prés (<i>Bromus riparius</i> Rehm.)	Paddock	13
Dactyle pelotonné (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	AC Nordic, Okay	11
Fétuque élevée (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	Kokanee	16
Fléole des prés (<i>Phleum pratense</i> L.)	Champ	10
Pâturin du Kentucky (<i>Poa pratensis</i> L.)	Balin	9
Vulpin des prés (<i>Alopecurus pratensis</i> L.)	Commercial	11

Les récoltes ont été effectuées le 24 août et le 19 octobre en 2005, le 31 juillet pour les légumineuses en 2006, alors que le vulpin des prés, la fléole des prés, le dactyle, le brome inerme et le brome des prés étaient prélevés le 3 août et la fétuque élevée et le pâturin des prés le 22 août. La deuxième coupe a eu lieu le 10 octobre en 2006. En 2007, les récoltes ont eu lieu le 21 août et le 17 octobre, tandis qu'en 2008, elles ont été effectuées le 11 août et le 6 octobre.

Le rendement de chaque parcelle a été obtenu en mesurant le poids frais récolté sur une surface de 0,61 par 5 m. Un échantillon de 500 g a été prélevé immédiatement après le coupe et séché à 55° C pour déterminer la matière sèche. En 2005, toutes les parcelles ont subit deux coupes, tandis qu'en 2007, les conditions particulières de sol ont fait que seulement deux répétitions ont pu être conservées. Les parcelles ont été maintenues jusqu'après la première coupe de la première année de production afin d'évaluer l'effet de la deuxième coupe prélevée lors de l'année d'implantation.

Les données météorologiques concernant les températures moyennes mensuelles et les précipitations sont présentées au tableau 2 pour les années 2005 à 2008. De façon

générale, les données de l'année 2005 se comparent à l'année 2007, tandis que celles de l'année 2006 à celles de 2008. Les températures moyennes de juin, juillet, août et septembre en 2005 ont été supérieures à la normale, alors qu'en 2007, ce sont celles des mois de mai, juin et septembre qui ont été plus élevées que la normale. Les mois de mai, juin, et juillet en 2005 et 2007 ont reçu respectivement 34 et 37 % de la précipitation totale de la saison répartie sur 33 et 31 jours. La première partie de la saison 2006 a été relativement chaude avec des températures moyennes supérieures à la normale et 50 % de la précipitation saisonnière répartie sur 49 jours, tandis qu'en 2008, les températures moyennes ont été plus près des normales avec 61 % de la précipitation saisonnière également répartie sur 49 jours. En 2006, le mois d'août a été sec, septembre et octobre furent très humides, alors qu'en 2008, ces trois derniers mois ont contribué pour seulement 39 % de la précipitation saisonnière.

Tableau 2. Températures moyennes mensuelles, les précipitations en mm et les jours avec précipitation pour les saisons de croissance de 2005 à 2008, à Normandin.

Mois	Températures		Précipitations		Jours avec		Températures		Précipitations		Jours avec	
	Moyennes C		mm		précipitation		Moyennes C		mm		précipitation	
	2005	69 ans	2005	69 ans	2005	69 ans	2006	70 ans	2006	70 ans	2006	70 ans
Mai	8.7	8.9	23.0	70.4	10	12.1	10.6	8.9	69.5	70.4	19	12.2
Juin	16.5	14.6	58.0	80.6	9	13.3	16.6	14.6	74.0	80.5	11	13.3
Juillet	17.6	17.0	65.0	107.8	14	15.4	17.8	17.0	140.6	108.3	19	15.5
Août	16.1	15.6	126.0	87.2	17	14.3	14.4	15.6	29.2	86.3	10	14.2
Septembre	12.6	10.8	79.0	89.8	10	13.5	10.1	10.8	133.3	90.4	20	13.6
Octobre	6.2	4.7	73.6	62.8	11	12.2	4.3	4.7	121.1	63.6	15	12.2
Saison	13.0	11.9	424.6	498.6	71	80.8	12.3	11.9	567.7	499.5	94	81.0
Températures		Précipitations		Jours avec		Températures		Précipitations		Jours avec		
Moyennes C		mm		précipitation		Moyennes C		mm		précipitation		
2007	71 ans	2007	71 ans	2007	71 ans	2008	72 ans	2008	72 ans	2008	72 ans	
Mai	10.1	8.9	12.6	69.6	6	12.1	8.0	8.9	38.4	69.1	10	12.1
Juin	14.8	14.6	52.4	80.1	12	13.2	14.9	14.6	128.4	80.8	19	13.3
Juillet	16.2	17.0	90.4	108.0	13	15.4	17.8	17.0	119.8	108.0	20	15.5
Août	14.0	15.6	97.8	86.5	14	14.2	16.8	15.6	52.4	86.0	15	14.2
Septembre	11.2	10.8	75.2	90.2	10	13.5	10.9	10.8	50.6	89.6	13	13.5
Octobre	6.9	4.7	94.1	64.1	9	12.2	5.0	4.7	78.0	64.3	23	12.3
Saison	12.2	11.9	422.5	498.5	64	80.6	12.2	11.9	467.6	497.8	100	80.9

Résultats:

Les résultats sont présentés par année de production pour chaque espèce. Il faut mentionner qu'en 2005, toutes les espèces ont été récoltées à deux reprises, tandis qu'en 2007, en raison de conditions particulières du sol où les semis ont été effectués, seulement deux répétitions ont pu être maintenues.

Légumineuses

Le trèfle d'Alexandrie, un trèfle annuel, qui a présenté la productivité moyenne totale la plus élevée avec $3,72 \text{ Mg MS ha}^{-1}$. Le rendement annuel a varié de $2,78$ à $5,72 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ avec des rendements moyens de $1,86 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ pour la première et la deuxième coupe (Figure 1).

Le trèfle rouge a produit un rendement annuel moyen de $2,91 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ avec une variation de $2,01$ à $3,98 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ et s'est classé au premier rang des légumineuses pérennes. Le rendement moyen de la première coupe de trèfle rouge a été supérieur à celui du regain avec respectivement $1,66$ et $1,25 \text{ Mg MS ha}^{-1}$.

La luzerne a fourni un rendement annuel moyen inférieur à celui du trèfle rouge, soit $2,39 \text{ Mg MS ha}^{-1}$, avec des variations de $1,18$ à $3,66 \text{ Mg MS ha}^{-1}$. Le rendement moyen à la première coupe a été de $1,48 \text{ Mg MS ha}^{-1}$, tandis que celui de la deuxième coupe n'a été que de $0,91 \text{ Mg MS ha}^{-1}$. Seulement une année sur quatre le regain de la

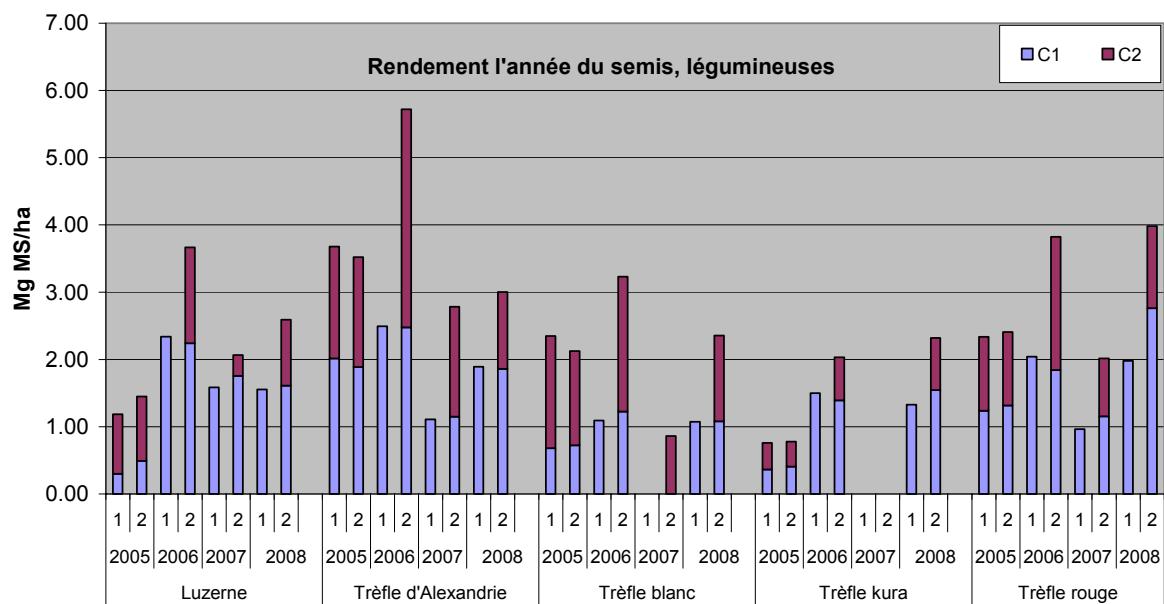


Figure 1. Rendement en matière sèche pour les légumineuses soumises à une et deux coupes l'année de l'implantation: saison 2005, 2006, 2007 et 2008.

luzerne a été supérieur à $1,0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ (Figure 1).

Le rendement annuel moyen du trèfle blanc a été de $2,18 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ avec des variations de $0,86$ à $3,23 \text{ Mg MS ha}^{-1}$. En 2007, à la première coupe, le trèfle blanc était présent, mais pas assez abondant pour assurer un rendement. Le rendement moyen du regain du trèfle blanc a été supérieur à celui de la luzerne avec $1,44 \text{ Mg MS ha}^{-1}$.

Le trèfle Kura, réputé pour sa lente implantation, a fourni des rendements annuels moyens supérieurs à 2,0 Mg MS ha^{-1} deux années sur quatre. En 2007, le trèfle Kura, comme le trèfle blanc, était présent, mais pas assez abondant pour fournir un rendement.

Graminées

Le rendement annuel moyen du dactyle a été près de 5,0 Mg MS ha^{-1} avec 4,97, soit la plus haute productivité des graminées. La production moyenne pour la première coupe a été de 2,16 Mg MS ha^{-1} , alors que celle du regain était de 2,73 Mg MS ha^{-1} . La production du dactyle est bien répartie entre les coupes et cette espèce a démontré un bon potentiel de pousse à l'automne (Figure 2).

Le brome des prés a produit un rendement annuel moyen de 2,86 Mg MS ha^{-1} avec des écarts de 2,47 à 3,17 Mg MS ha^{-1} pour obtenir le deuxième rang et a démontré une productivité plutôt stable. La production moyenne à la première coupe a été de 1,39 Mg MS ha^{-1} , tandis que celle de la deuxième coupe a atteint 1,57 Mg MS ha^{-1} . Le rendement moyen du regain du brome des prés a été près du double de celui enregistré avec le brome inerme et s'est classé au deuxième rang, après le dactyle, des toutes les graminées à l'étude (Figure 3).

Le brome inerme a produit un rendement annuel moyen de 2,66 Mg MS ha^{-1} avec des écarts de 1,78 à 3,18 Mg MS ha^{-1} ; s'est positionné en troisième place. Le rendement moyen à la première coupe était de 1,78 Mg MS ha^{-1} , tandis que celui de la deuxième coupe n'était que de 0,85 Mg MS ha^{-1} . À l'exception de l'année 2005 où la production a

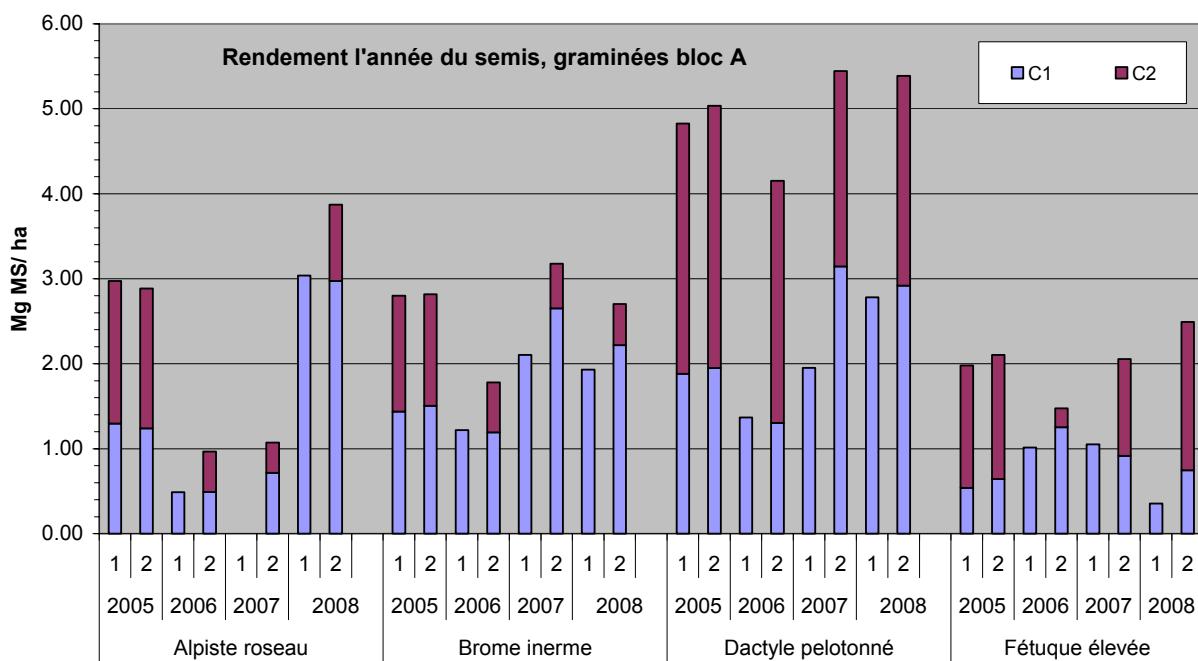


Figure 2 . Rendement en matière sèche pour les graminées (bloc A) soumises à une et deux coupes l'année de l'implantation: saison 2005, 2006, 2007, 2008.

été assez bien répartie entre les coupes, le rendement du brome inerme est surtout le résultat de la première coupe.

La fléole des prés avec une production annuelle moyenne de 2,47 Mg MS ha^{-1} avec des variations allant de 1,57 à 3,46 Mg MS ha^{-1} s'est classée au quatrième rang. Le rendement moyen de la première coupe (1,33) a été supérieur à celui du regain (1,19).

Pour l'alpiste roseau, le rendement annuel moyen a été de 2,35 Mg MS ha^{-1} avec cependant de grandes variations entre les années de (0,97 à 3,87 Mg MS ha^{-1}). Une année sur quatre le rendement en première coupe a été très bon et une année sur quatre le regain a été supérieur à 1,5 Mg MS ha^{-1} (Figure 2).

La fétuque élevée a fourni un rendement annuel moyen de 2,02 Mg MS ha^{-1} avec de variations de 1,48 à 2,49 Mg MS ha^{-1} pour se placer en sixième place (Figure 2). La production moyenne de la première coupe a été inférieure à 1,0 Mg MS ha^{-1} . À l'exception de l'année 2006 où le regain a été faible, la plus grande partie de la production annuelle provient de la pousse à l'automne.

Le vulpin des prés a fourni un rendement annuel moyen de 1,01 Mg MS ha^{-1} avec de grandes variations entre les années de 0,51 à 2,43 Mg MS ha^{-1} pour occuper l'avant dernier rang parmi les huit graminées évaluées. Le rendement moyen de la première coupe a été inférieur à celui du regain. Les conditions d'implantation en 2008 ont été particulièrement favorables au vulpin des prés.

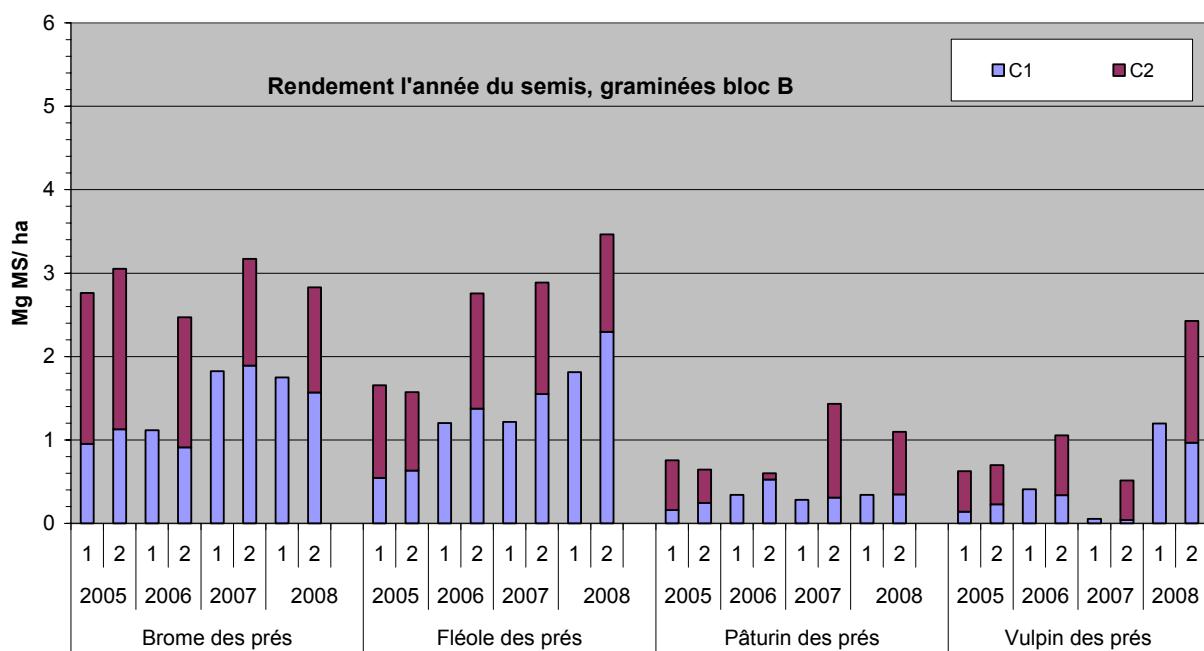


Figure 3 . Rendement en matière sèche pour les graminées bloc (B) soumises à une et deux coupes l'année de l'implantation: saison 2005, 2006, 2007, 2008.

Le pâturin des prés n'a produit que $0,91 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ comme rendement annuel moyen avec des écarts de $0,60$ à $1,43 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ s'est classé en dernière place.

Rendement l'année après le semis

Le rendement comparatif de la première coupe à la première année de production a servi pour déterminer si la deuxième coupe l'année du semis avait eu un effet sur le rendement.

Pour le dactyle, les résultats sont pour une année seulement, car le cultivar AC Nordic, utilisé pour les semis 2005 et 2006, s'est avéré non résistant à l'hiver. Pour le semis 2007, il a été remplacé par le cultivar Okay (Tableau 3).

Il faut mentionner que l'hiver 2006-2007 a été particulièrement difficile en région et que la luzerne, le trèfle rouge, le trèfle blanc, l'alpiste roseau, le brome des prés, la fétuque élevée, le pâturin des prés ainsi que le vulpin des prés ont subi des baisses importantes de rendement à la première coupe du printemps 2007. Pour le trèfle blanc, il n'y a pas eu de récolte en 2007 pour le semis 2006 (Tableau 3).

Pour le trèfle Kura, aucun effet n'a été observé, tandis que la fléole des prés accusait une baisse inférieure à $0,5 \text{ Mg MS ha}^{-1}$.

En ne prenant pas en compte les résultats de l'année 2007, on observe que le prélèvement de la deuxième coupe lors de l'année de l'implantation n'a pas eu d'effet négatif sur le rendement à la première coupe de la première année de production, permettant même pour le trèfle Kura, le brome inerme et la fléole des prés des rendements légèrement supérieurs au cours de deux années de récolte.

Conclusion

Les températures moyennes et les précipitations jouent un rôle important lors de l'implantation des plantes fourragères en semis pur. Des conditions chaudes et relativement humides, années 2006 et 2008 vont être favorables à l'implantation des légumineuses. Par ailleurs, des températures moyennes élevées en mai et juin avec des précipitations normales ont eu un impact négatif sur l'ensemble des graminées à l'exception de la fétuque élevée.

Il a été possible d'obtenir un rendement annuel moyen au-delà de $3,5 \text{ Mg MS ha}^{-1}$ avec le trèfle d'Alexandrie, un trèfle annuel, avec une répartition égale de la production entre les deux coupes. Des rendements annuels moyens entre $2,0$ et $3,0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$, l'année du semis, sont aussi possibles avec le trèfle rouge et la luzerne.

Le dactyle a été la graminée qui a fourni le plus haut rendement annuel moyen avec près de $5,0 \text{ MG MS ha}^{-1}$ avec également une bonne répartition de la production entre les deux coupes. Le brome des prés, le brome inerme, la fléole des prés, l'alpiste roseau et la fétuque élevée peuvent fournir des rendements annuels moyens supérieurs à $2,0 \text{ Mg MS ha}^{-1}$. Cependant, les regains du brome inerme et de l'alpiste roseau ont été inférieurs à 40% de la production annuelle, tandis que celui de la fétuque élevée représentait près de 60 %.

Lorsque les conditions hivernales sont dans la normale, le prélèvement d'une deuxième coupe l'année du semis n'a pas d'effet négatif sur le rendement de la première coupe de l'année suivante.

Tableau 3. Rendement en matière sèche ($Mg\ MS\ ha^{-1}$) de la première coupe, à la première année de production, des légumineuses et des graminées soumises à une et deux coupes lors de l'année de l'établissement à Normandin.

		Semis 2005	Semis 2006	Semis 2007
		Récolte 2006	Récolte 2007	Récolte 2008
	NCAE*	$Mg\ Ms\ ha^{-1}$	$Mg\ Ms\ ha^{-1}$	$Mg\ Ms\ ha^{-1}$
Luzerne	1	2.94	3.32	1.94
	2	2.56	1.87	2.23
Trèfle blanc	1	0.33	0.00	0.89
	2	0.31	0.00	1.06
Trèfle Kura	1	2.54	1.31	1.44
	2	2.69	1.34	1.58
Trèfle rouge	1	2.83	1.23	2.58
	2	2.55	0.43	2.16
Alpiste roseau	1	3.13	2.12	3.80
	2	2.96	1.10	3.27
Brome inerme	1	3.66	3.86	2.84
	2	3.92	3.17	3.26
Brome des prés	1	3.79	3.01	1.65
	2	3.92	1.82	1.63
Dactyle	1			2.51
	2			2.09
Fétuque élevée	1	3.10	1.35	2.74
	2	3.41	0.56	2.74
Fléole des prés	1	4.65	2.81	3.45
	2	4.86	2.35	3.76
Pâturin des prés	1	3.34	1.30	1.98
	2	3.29	0.87	1.90
Vulpin des prés	1	3.60	1.89	1.06
	2	3.58	1.24	1.06

* = Nombre de coupes l'année de l'établissement

Effet des doses d'inoculant lactique sur la cinétique de fermentation et la conservation des ensilages de graminées.

Marie-Andrée Sylvestre¹, Pascal Drouin¹, Robert Berthiaume², Carole Lafrenière³.
¹UQAT, Rouyn-Noranda, ²AAC, Sherbrooke, ³AAC, Rouyn-Noranda.

Introduction

Les inoculants lactiques pour ensilage sont des bactéries lactiques sélectionnées pour améliorer l'efficacité de la fermentation lors du processus d'ensilement. En Europe, des études sur les populations épiphytes ont établi que pour être efficace, la dose d'inoculation devait être de 10^6 UFC/g de fourrage frais (FF) puisque les dénominations sur les plantes sont souvent de l'ordre de 10^5 UFC/g FF (Pahlow, 1986). En Amérique du Nord, selon Bölsen (1996), il ne serait pas nécessaire de dépasser 10^5 UFC/g FF. Nous posons donc l'hypothèse suivante : une augmentation du nombre de bactéries lactiques par l'inoculation des plantes lors de l'ensilement permet un démarrage plus rapide de la fermentation en diminuant le temps de latence, ce qui augmente le taux de diminution du pH pour ainsi diminuer plus rapidement le pH et ainsi améliorer les paramètres de conservation. L'objectif de cet essai était de déterminer l'effet des doses de bactéries lactiques lors de l'ensilement sur les paramètres de la cinétique de fermentation et des paramètres de conservation.

Matériel et méthodes

Les silos expérimentaux ont été préparés avec de la fléole des prés (*Phleum pratense L.*) récoltée le 28 juin 2007 au stade épiaison avec une matière sèche moyenne de 37 %. Les silos ont été inoculés avec du *Lactobacillus plantarum* avec une dose de 10^5 , 10^6 , 10^7 UFC/g FF. Ces doses ont été comparées à un traitement témoin n'ayant pas reçu de traitement d'inoculation. Plusieurs silos avec la même dose d'inoculation ont été préparés pour avoir des temps d'ouverture de silos selon la progression suivante : 0, 6, 12, 24, 48, 72 heures, 7, 14, 28 et 105 jours. Tous les traitements ont été appliqués selon un modèle en blocs complets aléatoires répétés trois fois. L'ensilabilité (pouvoir tampon, sucres solubles, teneur en matière sèche et bactéries lactiques) des plantes a été mesurée lors de la mise en silos. Lors des ouvertures des silos après 105 jours de fermentation, le pH,

l'acide lactique, les acides gras volatils, ont été mesurés. L'étude de la cinétique de fermentation a été analysée avec les mesures de pH selon le modèle non linéaire développé par Jones *et al.* (1992) :

$$pH = pH_a \times \exp^{-k(jour-lag)} + pH_z$$

où

$$pH_a = pH \text{ initial} - pH \text{ final}$$

$$k = \text{taux de diminution du pH}$$

$$pH_z = pH \text{ final}$$

$$\text{lag} = \text{temps de latence avant la diminution rapide du pH}$$

Les paramètres de modélisation de la cinétique du pH pour chacun des traitements ont été prédits en utilisant le modèle statistique non linéaire à l'aide de la procédure NLIN de SAS (2001).

Le temps de latence (lag), la vitesse de diminution du pH (k) de même que les caractéristiques biochimiques des plantes ont ensuite été soumis à l'analyse de variance avec PROC MIXED pour déterminer l'effet des doses de bactéries lactiques et du témoin (population épiphyte) sur ces paramètres. Lorsque le test de F a été significatif ($P < 0,05$) les différences entre les traitements ont été déterminées par le test de Tukey.

Résultats et discussion

Les caractéristiques biochimiques des plantes ont permis d'atteindre un coefficient de fermentation supérieur à 45, seuil critique pour obtenir une bonne conservation, selon Weissbach et al. 1996 (tableau 1). Les doses d'inoculant n'ont pas eu d'effet sur les caractéristiques biochimiques. La population de bactéries lactiques épiphytes lors de l'ensilement était faible (tableau 1). Il est à noter que les doses d'inoculant lactique réellement appliquées ont été inférieures à la dose calculée (tableau 1) et ce, malgré la détermination de la population dans le contenant lors de l'achat.

La modélisation de la cinétique du pH a démontré un temps de latence pour chacun des traitements (graphique 1). Le temps de latence (To) a été significativement différent entre les traitements 10^5 et 10^6 UFC/g FF. Par contre, il n'y a pas eu de différence significative entre le témoin et les traitements ayant reçu une dose d'inoculant (Tableau 2). La vitesse de diminution du pH (k) a été significativement différente entre le témoin et les traitements ayant reçu une dose d'inoculant, mais il n'y a pas eu différence entre les traitements ayant reçu une dose d'inoculant au niveau de la vitesse de diminution du pH (Tableau 2).

Le pH des ensilages témoin a été de 4,4 alors que les ensilages des trois doses d'inoculant a été de 3,9 après 7 jours de fermentation. Malgré l'atteinte du pH de stabilité anaérobiose, l'évolution de la cinétique de fermentation par la suite est difficile à expliquer. Pour tous les traitements, il y a diminution des teneurs en acide lactique avec une augmentation de la fermentation butyrique alors que l'inverse s'est produit un peu plus tard (Graphique 2). Il faut aussi noté qu'il y a eu augmentation de l'acide acétique au départ avec l'augmentation de l'acide lactique. Une augmentation de l'acide butyrique suit cette augmentation d'acide acétique. Bergère (1975) a démontré que l'acide acétique favorise la germination des spores de *Clostridium tyrobutyricum*. C'est ce qui pourrait expliquer la diminution d'acide lactique et l'augmentation d'acide butyrique qu'on observe après 7 jours de fermentation. Ce qui est surprenant, c'est l'observation de l'augmentation de l'acide lactique avec la diminution de l'acide butyrique vers la fin de la fermentation. La présence de spores butyriques a été observée mais elle n'a pas été constante d'une répétition à l'autre, ni même d'un traitement à l'autre.

Conclusions

L'addition d'un inoculant permet une diminution plus rapide du pH. Toutefois, cela ne permet pas de diminuer le temps de latence. Ces résultats ne permettent pas de conclure à une réponse définitive dans la mesure où la teneur en matière sèche et la population initiale sur la plante pourrait modifier ces résultats.

Liste des ouvrages cités

Bergère, J.-L., Zevaco, C., Cherrier, C. et Petitdemange, H. 1975. La germination de la spore de *Clostridium tyrobutyricum*. Ann. Microbiol. (Inst.Pasteur). 126 A: 421-434.

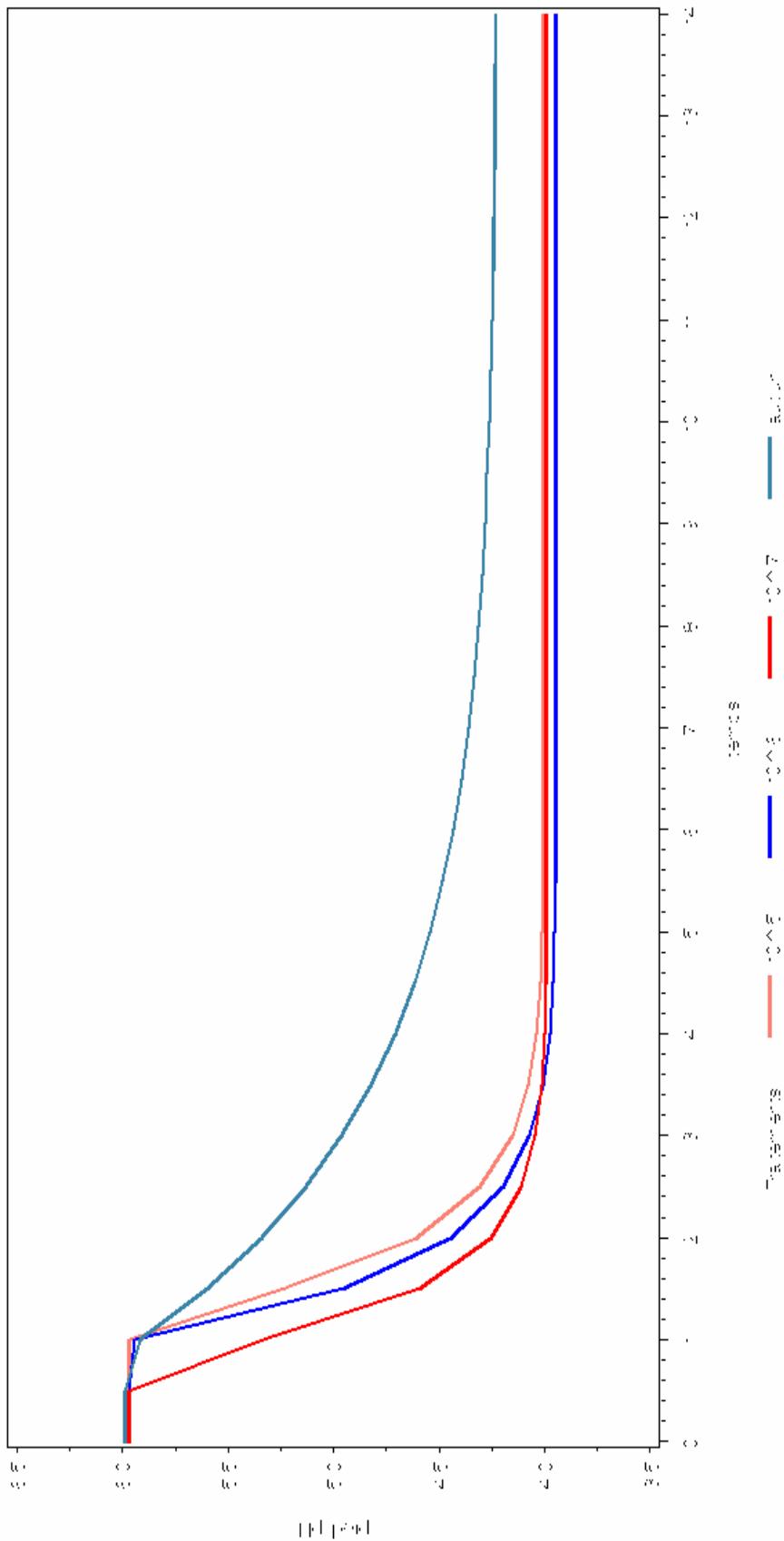
Bolsen, K.K., Ashbell, G. et Weinberg, Z.G. 1996. Silage fermentation and silage additives. Asian-Australian Journal of Animal Sciences. 9: 483-493.

Pahlow, G. 1986. Microbiology of inoculants crops and silages. Pages 45-50 *in* Proceedings of Eurobac Conference, Swedish Groufoder Grassland reports. University of Agricultural Science. Uppsala, Sweden.

Jones, B.A., Satter, L.D. et Muck, R.E. 1992. Influence of bacterial inoculant and substrate addition to lucerne and ensiled at different dry matter contents. Grass and Forage Sci. 47: 19-27.

SAS® Statistics, Version Windows 9.1. Edition 2002-2003. SAS Inst., Inc., Cary, NC.

Weissbach, F. 1996. New developments in crop conservation. Pages 11-25 *in* Proceedings of the XIth International Silage Conference, University of Wales, UK. Stapeldon Library, Aberystwyth, UK,



Graphique 1. Effet des doses d'inoculation de *Lactobacillus plantarum* sur la cinétique de fermentation tel que mesurée par le pH.

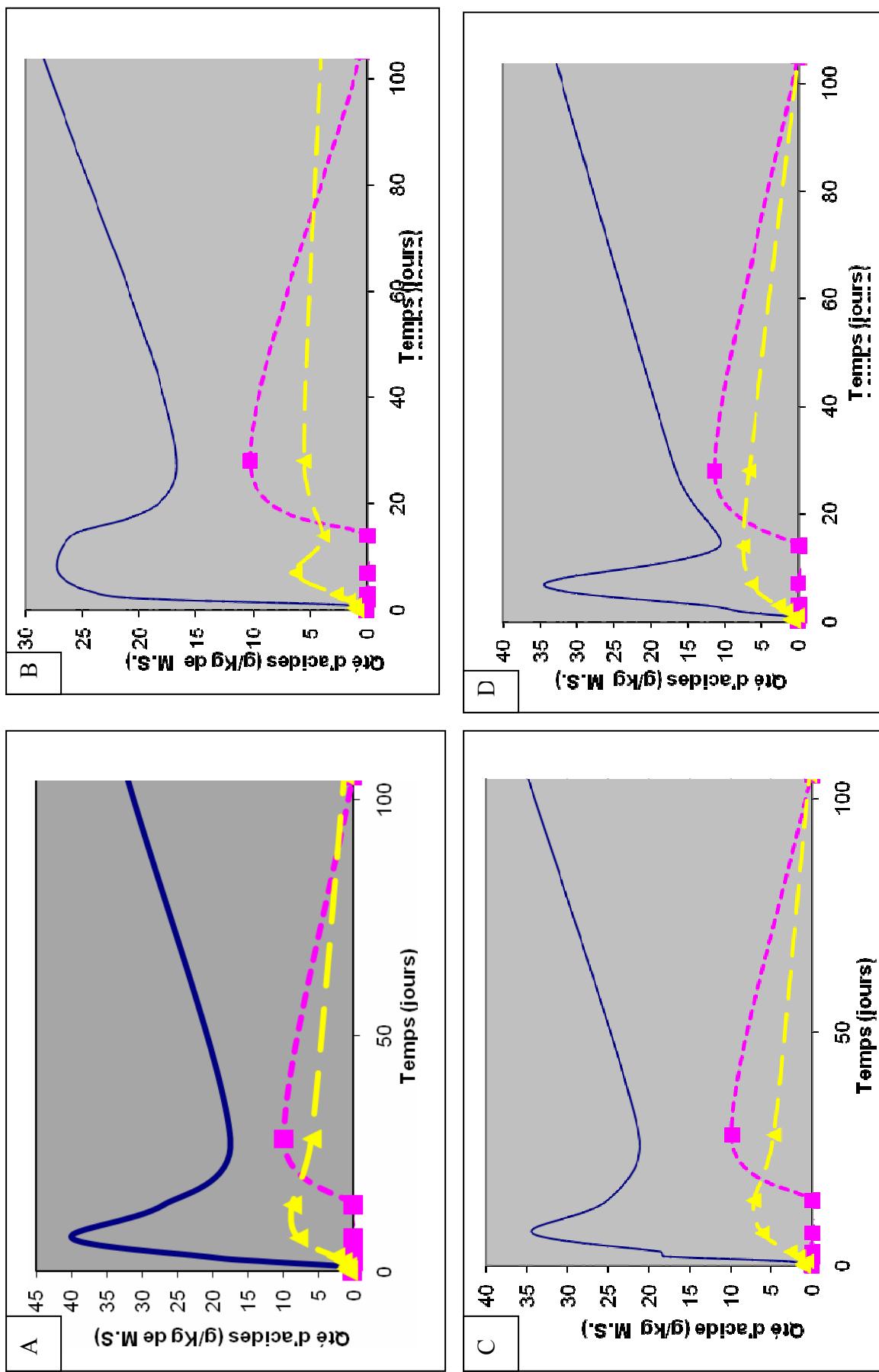


Tableau 1. Caractéristiques biochimiques des fourrages lors de leur ensilement en silos expérimentaux.

Paramètres biochimiques	Traitements		
	Témoin	10^5	10^6
-----UFC/g de fourrage frais-----			
Pouvoir tampon g ac. Lac./ kg MS ^z	41,6b ^y	43,2ab	44,4a
Sucre solubles g/ kg MS	99,2	106,3	97,6
Matière sèche g/ kg MS	370,0	358,7	368,0
Coefficient de fermentation ^x	56	54	55
Nombre de bactéries lactiques (log UFC/ g FF)	3,0d	4,5c	5,4b
			6,5a

^z ac. Lac. = acide lactique

^y Sur une même ligne, les moyennes suivies d'une même lettre indiquent qu'il n'y a pas de différence significative avec le test de Tukey pour un seuil $\alpha=0,05$.

^x Coefficient de fermentation = matière sèche + 8 (sucres solubles/pouvoir tampon) (Weissbach *et al.* 1996).

Tableau 2. Effet des doses d'inoculant sur les paramètres de la cinétique de fermentation.

Doses	Paramètres	
	k^z	T0 (jour)
Témoin	0,42 b ^y	0,90 ab
10^5 (log 4,5)	1,40 a	1,17 a
10^6 (log 5,4)	1,38 a	0,99 ab
10^7 (log 6,5)	1,62 a	0,76 b

^z k = vitesse de diminution du pH ; T0 = temps de latence.

^y Dans une même colonne, les moyennes suivies d'une même lettre indiquent qu'il n'y a pas de différence significative avec le test de Tukey pour un seuil $\alpha=0,05$.

Effets de la couverture, de la densité, du temps de conservation et de la contamination au *Fusarium graminearum* sur la qualité nutritive et microbiologique du maïs ensilage

André Amyot¹, Luc Couture², Claudiane Ouellet-Plamondon³ et Philippe Savoie^{2,4}

¹Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 120A chemin du Roy, Deschambault, QC, G0A 1S0; ²Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche sur les sols et les grandes cultures, 2560 boulevard Hochelaga, Québec, QC, G1V 2J3; ³Jesus College, University of Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni, CB5 8B1; ⁴Personne-contact : philippe.savoie@agr.gc.ca

Résumé

Un projet de recherche financé par Novalait inc. et ses partenaires de 2004 à 2007 a permis d'étudier les ensilages en silos couloir et certains aspects de gestion. Dans le cadre de ce projet, une étude a été menée dans le but de comprendre l'impact d'une contamination de l'ensilage de maïs par une espèce de champignon du genre *Fusarium*. Ce champignon peut synthétiser certaines toxines à la surface des plantes et réduire la qualité nutritive des aliments servis aux ruminants. Cette étude a fait l'objet d'un rapport interne détaillé (Amyot et Couture, 2008). L'article ci-après en résume les principaux résultats.

Du maïs fourrager a été placé en silos de laboratoire de 26 L après avoir été inoculé ou non avec le *Fusarium graminearum* ($7,5 \times 10^3$ spores/g de poids frais). Trois densités d'ensilage (150, 225 et 300 kg de matière sèche (MS)/m³), trois degrés d'étanchéité (silos étanches, silos perforés et silos non couverts) et deux durées de conservation (85 j et 245 j) ont constitué les trois autres facteurs expérimentaux. Un test de stabilité aérobie a été réalisé lors de l'ouverture des silos.

Le *F. graminearum* n'a pas survécu jusqu'à l'ouverture des silos. Son inoculation n'a pas influencé la teneur en mycotoxines et a eu peu d'effet sur la fermentation, la stabilité aérobie et la valeur nutritive du maïs ensilage. De plus, la teneur en vomitoxine n'a pas été influencée par l'étanchéité du silo ni par la densité de l'ensilage mais a augmenté avec la durée de conservation (en moyenne 2,16 ppm après 245 jours vs 1,44 ppm après 85 jours) alors que la teneur en zéaralénone a été plus élevée en silo non couvert (0,30 ppm) qu'en silo étanche ou en silo perforé (0,06 ppm) mais n'a pas été influencée par la durée de conservation.

Au moment de l'ouverture des silos, le maïs conservé en silo étanche a présenté un nombre de levures et de moisissures relativement faible ($5,40 \log_{10}$ unités de formation de colonies (ufc)/g en moyenne). Dans les silos étanches, il n'y avait aucun développement visible de mycélium tandis que la perte de matière sèche y était très faible (1,29% en moyenne), quelle que soit la densité de l'ensilage. Par contre, en silo perforé et en silo non couvert, chacun de ces paramètres a été d'autant plus élevé que la densité était faible. La perte de matière sèche a varié entre 0,8% (densité élevée) et 20,4% (faible densité) en silo perforé (8,6% en moyenne) et entre 16,8% (densité élevée) et 46,4% (faible densité) en silo non couvert (31,7% en moyenne). La perte de matière sèche n'a pas été influencée par la durée de conservation en silo étanche. Cependant, la perte de matière sèche a augmenté de façon marquée entre le 85^e et le 245^e jour de conservation

en silo non couvert quelle que soit la densité, de même qu'en silo perforé à faible et moyenne densités. Par suite de l'inoculation avec le *F. graminearum*, les populations de moisissures ont évolué de façon différente selon le type de silo. La perte de matière sèche a été 1% plus élevée à l'ouverture des silos par rapport aux ensilages non inoculés.

La fermentation dans les silos à parois perforées n'a pratiquement pas été influencée dans l'ensilage à densité élevée. Par contre, l'ensilage à moyenne ou basse densité a eu une moins bonne fermentation (pH plus élevé, N-ammoniacal plus élevé, ratio lactate-acétate plus bas) car la combinaison de perforations et d'une grande porosité accroissaient l'infiltration d'air, l'épuisement des sucres et la perte de substrat pour les bactéries lactiques. Dans les silos non couverts, une faible densité avait un effet encore plus marqué sur la mauvaise fermentation. La durée de conservation (245 j vs 85 j) a eu un effet différent selon l'étanchéité du silo et la densité de l'ensilage. En silo étanche, l'ensilage a été relativement stable dans le silo quelles que soient la densité et la durée de conservation. Par contre, en silo perforé l'ensilage de faible densité a subi une fermentation tardive (plus poussée après 245 j qu'après 85 j de conservation), alors que celui de moyenne densité n'a montré que quelques signes de détérioration pendant la même période. Finalement, en silo non couvert l'ensilage de densité élevée ne s'est détérioré que modérément alors que celui de moyenne densité s'est fortement détérioré pendant cette période, mais pas celui de faible densité, puisqu'il était déjà très détérioré après 85 jours. Les seuls effets de l'inoculation avec le *F. graminearum* au niveau de la fermentation ont été une augmentation de 0,17% de la teneur en acide lactique (en moyenne 3,55% vs 3,38%) quelles que soient les conditions de conservation, de même qu'une diminution du pH de 0,3 à 0,5 dans les ensilages qui ont maintenu un pH peu acide (entre 4,8 et 6,6) quelle que soit la durée de conservation, c'est-à-dire celui de faible densité en silo perforé et celui de moyenne densité en silo non couvert.

La valeur nutritive de l'ensilage de maïs a été influencée par la densité et l'étanchéité du silo. Les PB, les fibres ADF, les fibres NDF, les PB-ADF et les PB-NDF ont présenté en silo étanche des niveaux comparables quelle que soit la densité. En silo perforé, les concentrations de ces paramètres nutritifs étaient élevées à faible densité qu'à densité moyenne et à densité élevée. En silo non couvert, les concentrations étaient encore plus élevées. Dans ce dernier type de silo, certains paramètres (PB, fibres ADF et PB-ADF) ont présenté, même dans l'ensilage de densité élevée, des niveaux plus élevés que ceux observés dans les ensilages bien fermentés. Dans les ensilages détériorés, la teneur en cendres a atteint des niveaux plus élevés, la solubilité des protéines a été plus basse et la digestibilité des fibres NDF a été plus élevée que dans les ensilages bien fermentés. La durée de conservation (245 j vs 85 j) a influencé la valeur nutritive plus en silo non couvert qu'en silo perforé, et plus en silo perforé qu'en silo étanche. Par exemple, en silo étanche les PB, les fibres ADF et les fibres NDF ont été relativement stables quelle que soit la densité. Par contre, en silo perforé, ces paramètres nutritionnels ont augmenté avec la durée de conservation dans l'ensilage de faible densité mais pas dans celui de densité élevée. En silo non couvert, ces paramètres ont augmenté quelle que soit la densité; l'effet a été d'autant plus marqué que la densité était faible. Finalement, la valeur nutritive n'a été influencée que légèrement par l'inoculation avec le *F. graminearum*. Les fibres ADF, les fibres NDF, les PB-ADF et les cendres ont augmenté à un rythme différent selon l'étanchéité des silos, dans le maïs inoculé et le maïs non inoculé : en silo étanche elles ont été plus faibles après 85 j de conservation (PB-ADF et cendres) et/ou ont augmenté de façon plus prononcée entre le 85^e et le 245^e jour (fibres ADF, fibres NDF, PB-ADF et cendres) dans le maïs inoculé que dans le maïs non inoculé, alors que ce fut le contraire en silo non couvert.

Dans le test de stabilité aérobie, le maïs conservé en silo étanche a commencé à s'échauffer assez lentement, quelles que soient la densité et la durée de conservation (69,5 h en moyenne), parce qu'il était d'excellente qualité (pH inférieur à 4, relativement peu de moisissures et aucun mycélium). Le maïs conservé en silo non couvert a commencé à s'échauffer très rapidement quelles que soient la densité et la durée de conservation (4,6 h en moyenne), puisqu'il était fortement envahi par les moisissures (en moyenne $9,78 \log_{10} \text{ufc/g}$), mais un peu moins rapidement à densité élevée qu'à faible densité et à moyenne densité (7,50 h vs 2,58 h et 3,75 h, respectivement). Par contre, en silo perforé l'échauffement a commencé d'autant plus tard que la densité était élevée (3,7 h, 15,8 h et 44,9 h pour 150, 225 et 300 kg MS/m³, respectivement). Seule la densité élevée a permis de retarder l'échauffement presque comme en silo étanche. Dans ce type de silo, l'avantage des ensilages de densité croissante semble lié à une population de moisissures (9,23, 8,21 et 5,52 $\log_{10} \text{ufc/g}$, respectivement) et un développement du mycélium (0,96, 0,47 et 0,04, respectivement) d'autant plus faibles que la densité était élevée. L'inoculation avec le *F. graminearum* n'a pas retardé l'échauffement (indice de stabilité aérobie) mais a réduit, en silo non couvert, le taux d'augmentation de la température jusqu'au maximum (indice d'instabilité aérobie).

Remerciements

Les auteurs remercient les partenaires qui ont financé cette recherche : Novalait inc., le Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies, le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec et le Ministère d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le Centre de recherche en sciences animales de Deschambault a fourni un soutien technique et matériel essentiel à la poursuite de cette recherche.

Ouvrage cité

Amyot, A. et L. Couture. 2008. Qualité de l'ensilage de maïs inoculé ou non avec le *Fusarium graminearum* en fonction de l'étanchéité du silo, la densité de l'ensilage et la durée de conservation. Rapport final, 71 pages. Projet de recherche #110125, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. (Document disponible en communiquant avec la personne contact, <philippe.savoie@agr.gc.ca>.)

Bilans de masse et d'énergie du séchage du foin en grosses balles à l'échelle industrielle

René Morissette¹ et Philippe Savoie¹

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Québec, QC, G1V 2J3, rene.morissette@agr.gc.ca

INTRODUCTION

À l'été 2007, un séchoir industriel a été construit et opéré à Saint-Alexandre de Kamouraska dans le cadre d'un projet de recherche et de développement issu d'un partenariat entre La Coop fédérée et Agriculture et Agroalimentaire Canada. L'originalité du séchoir bidirectionnel consistait à pouvoir inverser la direction du flux d'air et à recirculer une partie de l'air de sortie (Descôteaux et Savoie, 2006). Les résultats de séchage obtenus lors de l'été 2007 ont démontré que ce système permettait de sécher de petites et de grosses balles de foin de 30 à 12 % d'humidité. Pendant la mise en œuvre en 2007, on a observé que plusieurs modifications étaient encore nécessaires pour améliorer l'efficacité thermique et l'uniformité de la teneur en eau (TEE) à la fin du séchage.

Durant l'été 2008, plusieurs lots de séchage ont été planifiés dans le cadre d'un protocole visant l'optimisation énergétique du procédé par diverses options de recirculation et d'inversion du flux d'air, en variant la température de séchage et par une stratégie adaptée aux caractéristiques du foin. Tout le foin séché et analysé en 2008 a été récolté en grosses balles rectangulaires.

DESCRIPTION DES SÉCHOIRS

Le bâtiment de séchage abrite deux séchoirs (Figure 1) : un séchoir bidirectionnel permettant d'aspirer l'air chaud par le haut ou par le bas en alternance, avec la possibilité de recirculer une partie de l'air sortant de la masse de foin (Figure 2) et un séchoir unidirectionnel dont l'air circule toujours dans le même sens, sans possibilité de recirculation.

Chaque séchoir compte quatre cellules de séchage de 2,1 m x 7,3 m (7 pi x 24 pi) pour une aire totale de 61,3 m² (672 pi²). Chaque cellule peut contenir 1 ou 2 rangées de grosses balles de 0,8 m x 0,9 m x 2,1 m (32 po x 36 po x 84 po) déposées sur un chariot mobile. À pleine capacité, chaque unité de séchage contient 72 grosses balles d'environ 350 kg pour une capacité de 25,2 t de foin humide (à 25% de TEE). Ainsi, les deux séchoirs combinés permettent de sécher simultanément jusqu'à 144 grosses balles soit 50,4 t (37,8 t de matière sèche).

Chaque séchoir a un brûleur au propane ajusté à une puissance de 440 kW (1,5 MMBTU/h). Les ventilateurs ont un débit effectif moyen d'environ 10,4 m³/s (22 000 CFM) et 7,1 m³/s (15 000 CFM) pour les séchoirs bidirectionnel et unidirectionnel respectivement. Leurs contrôles sont indépendants et partiellement automatisés à l'aide d'un automate programmable (arrêt et départ du ventilateur et du brûleur, contrôle de la température, de l'inversion du flux d'air, du taux de recirculation et du temps de séchage). De plus, les conditions de l'air sont enregistrées à l'aide d'un système d'acquisition. La température, l'humidité relative et la pression statique sont mesurées à l'extérieur et dans les plenums supérieurs et inférieurs. Les débits d'air à l'entrée et à la sortie du système ainsi que les pressions statiques dans les conduites de ventilation sont mesurés périodiquement.

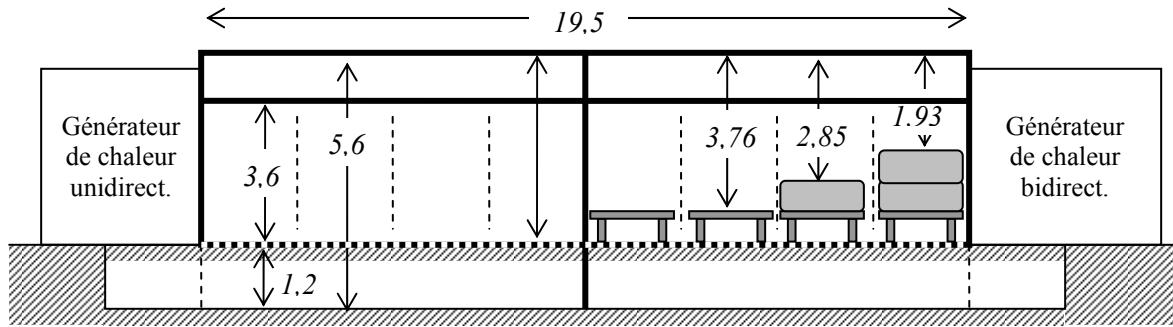


Figure 1. Vue en élévation du séchoir unidirectionnel vide (à gauche) et du séchoir bidirectionnel avec chariots (à droite).

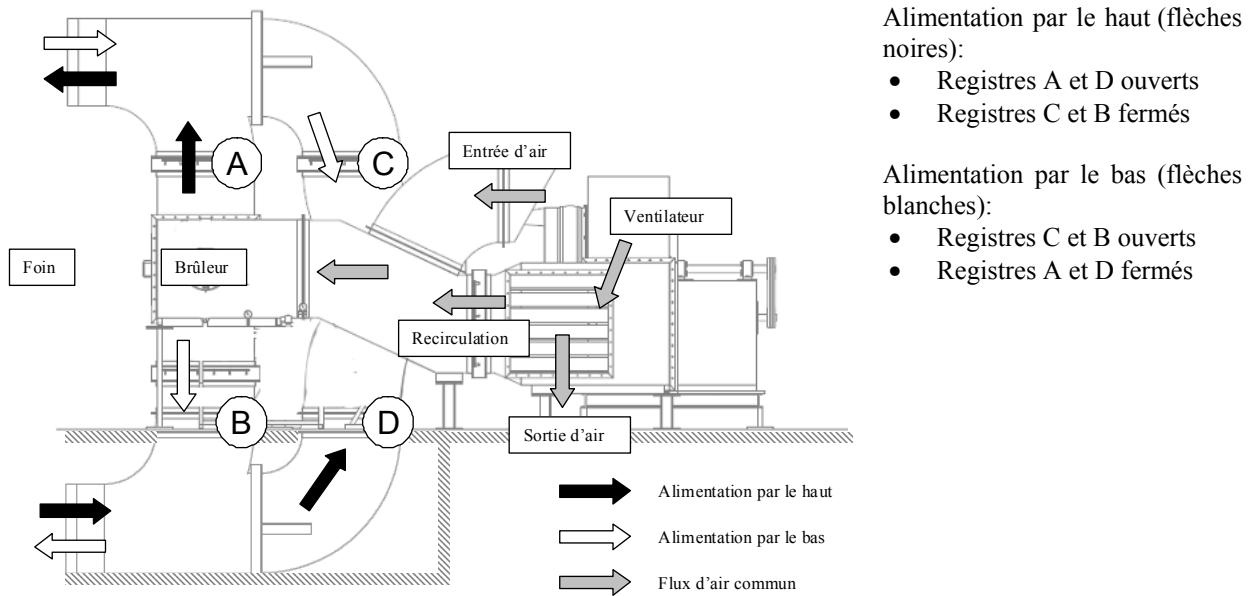


Figure 2. Schéma d'écoulement de l'air en alimentation par le haut ou par le bas du séchoir bidirectionnel.

OBJECTIFS

Le principal objectif de recherche était de valider le protocole de sélection des conditions de séchage pour des grosses balles de foin rectangulaires. Les sous-objectifs étaient d'améliorer l'efficacité énergétique du procédé, de démontrer la pertinence de l'inversion et de la recirculation du flux d'air et de déterminer une technique précise d'estimation de la teneur en eau du foin avant et après le séchage.

MÉTHODOLOGIE

Protocole de séchage

Un protocole expérimental adapté aux contraintes de production du foin de commerce et des conditions de récolte variables a été développé. Les paramètres de séchage étaient la température, les cycles d'inversion et le taux de recirculation d'air de sortie. La teneur en eau initiale du foin à l'arrivée au séchoir n'était pas contrôlée mais normalement entre 20 et 30%. Le but du séchage était d'abaisser la TEE à un niveau de 12% de façon uniforme à travers la masse de foin. Pour le séchoir unidirectionnel, le protocole consistait à effectuer le séchage à l'un des trois niveaux de

température de l'air suivants : 1) 45°C tout le temps; 2) 60°C tout le temps; et 3) 60°C de 0 à 50% du temps prédit et 45°C jusqu'à la fin du séchage. Pour le séchoir bidirectionnel, le protocole prévoyait deux niveaux de température de l'air : 1) 45°C tout le temps; et 2) 60°C tout le temps. De plus, ces deux niveaux de température étaient combinés avec deux séquences de taux de recirculation : 1) 50% en tout temps et 2) 25% de 0 à 50% du temps prédit et 75% jusqu'à la fin du séchage. Une inversion du flux d'air était effectuée systématiquement à 50% du temps prédit et à 100% du temps prédictif si le séchage devait se prolonger. Quatre répétitions étaient prévues pour chaque combinaison de variables pour un total de 12 et 16 lots pour les séchoirs unidirectionnel et bidirectionnel respectivement.

Afin de coordonner le protocole expérimental aux contraintes de production du centre de conditionnement, les conditions de séchage des lots ont été sélectionnées selon le temps de séchage disponible avant le prochain lot et la TEE initiale moyenne. Si on disposait de beaucoup de temps (≥ 24 h) ou la TEE initiale était basse, on pouvait se permettre un essai à basse température (45°C). Si le temps était restreint ou la TEE initiale élevée, alors il était préférable de choisir une température de 60°C (Tableau 1).

Tableau 1. Sélection des conditions d'opération en fonction de la période de séchage disponible et la TEE initiale du foin.

Cas	Nb de lots sur le site	Période disponible	TEE initiale	Température
1	1	12 à 16 h	Toute TEE	60°C
2	1	24 h	< 18 %	45 °C
			> 18 %	60°C
3	1	48 h	< 25 %	45 ou 60°C
			> 25 %	60°C
4	1	Plus de 48 h	Toutes TEE	45°C
5	2 (1 au séchoir, 1 en attente sur le site)	Peu importe	Toutes TEE	1 ^{er} lot : 60°C 2 ^{ème} lot : Réf. cas 1, 2, 3 ou 4

Échantillonnage des balles

Les balles de foin étaient échantillonnées avant, pendant et après le séchage. Huit balles dans une cellule par séchoir étaient échantillonnées. Chacune d'elle était pesée et mesurée pour les dimensions et le volume. Une sonde électronique Delmhorst servait à prendre 15 mesures par balle uniformément réparties sur un long côté. Trois échantillons étaient prélevés à l'aide d'une carotteuse (haut-droit, milieu-centre et bas-gauche) pour déterminer la teneur en eau à l'étuve (ASABE, 2006). Au début et à la fin du séchage, chaque chariot était pesé sur la balance à camion. Lors des relevés intermédiaires, seulement le chariot contenant les balles échantillonnées était pesé.

Mesures des paramètres du procédé

Plusieurs paramètres étaient mesurés lors du procédé de séchage. La température et l'humidité relative étaient mesurées en continu dans les pléniums supérieurs et inférieurs et à l'extérieur des séchoirs. Les pressions statiques en amont des ventilateurs étaient mesurées en continu. Les débits d'air à l'entrée et à la sortie des systèmes étaient relevés périodiquement de même que le volume de gaz propane consommé par chaque séchoir.

RÉSULTATS

Validation des bilans massiques

Bien que 28 lots de séchage aient été planifiés pour un suivi en 2008, seulement 6 lots ont pu être complétés et mesurés selon le protocole. Deux incendies ont perturbé le fonctionnement du séchoir en 2008. Les six lots observés ont néanmoins fourni des données complètes sur la mesure de la teneur en eau, les bilans massiques de l'eau d'évaporation et les besoins en énergie de séchage. L'analyse qui suit est basée sur les résultats de ces six lots.

Au Tableau 2, les masses initiales et finales sont obtenues par la pesée des chariots pleins sur la balance à camion. La matière sèche est déterminée par calcul avec la masse finale et la TEE finale mesurée à l'étuve. La TEE initiale calculée est la différence entre la masse initiale et la matière sèche, le tout divisé par la masse initiale. Les différences entre la TEE initiale calculée et mesurée varient entre -1,7 et 2,0 % (absolue). Cela représente des différences relatives à la TEE initiale mesurée variant entre -9,2 et 7,7 % avec une moyenne de -0,7 %. Avec un écart relatif aussi bas, on considère que la méthode d'échantillonnage à l'étuve au début et à la fin du séchage permettait de bien caractériser la TEE moyenne du lot.

Tableau 2. Validation de la TEE initiale mesurée à l'étuve à l'aide de la TEE finale mesurée et la perte de masse durant le séchage.

Lot	Masse du lot (kg)			Teneur en eau à l'étuve (%)				
	Initiale	Finale	MS (finale)	Finale mesurée	Initiale calculée	Initiale mesurée	Différence absolue	Différence relative
3	24480	21920	17573	19,8	28,2	26,2	2,0	7,7
4	25800	21120	18678	11,6	27,6	27,5	0,1	0,4
5	26600	22000	19485	11,4	26,7	27,2	-0,5	-1,8
6	25960	20720	18395	11,2	29,1	30,0	-0,9	-2,9
7	26240	20400	18219	10,7	30,6	30,1	0,5	1,5
8	21120	19800	17511	11,6	17,1	18,8	-1,7	-9,2
								Moyenne: -0,7

Tableau 3. Validation de la TEE initiale mesurée au Delmhorst à l'aide de la TEE finale mesurée et la perte de masse durant le séchage.

Lot	Masse du lot (kg)			Teneur en eau au Delmhorst (%)				
	Initiale	Finale	MS (finale)	Finale mesurée	Initiale calculée	Initiale mesurée	Différence absolue	Différence relative
3	24480	21920	17663	19,4	28,2	20,4	7,8	38,5
4	25800	21120	17539	17,0	32,0	26,7	5,3	20,0
5	26600	22000	18189	17,3	31,6	28,6	3,0	10,5
6	25960	20720	17615	15,0	32,1	30,0	2,1	7,0
7	26240	20400	17872	12,4	31,9	30,9	1,0	3,3
8	21120	19800	17383	12,2	17,7	15,7	2,0	12,6
								Moyenne: 15,0

Par contre, lorsque la validation du bilan massique est effectuée à l'aide des TEE mesurées par la sonde électronique, les différences sont plus importantes (Tableau 3). Elles varient de 1,0 à 7,8 % (absolue) soit entre 3,3 et 38,5 % relativement à la TEE initiale mesurée au Delmhorst. La moyenne relative est de 15,0 %. Ainsi, cette validation négative des bilans massiques démontre que l'utilisation de la sonde ne permet pas d'estimer avec précision la TEE.

Bilans massiques et thermiques des lots de séchage

Chacun des six lots analysés en 2008 comptait 72 grosses balles disposées sur 2 rangées. La TEE moyenne visée à la fin du séchage était de 12% avec un maximum à 15%. Les tableaux 4 et 5 résument les résultats de séchage des lots 3 à 8 (les lots 1 et 2 n'ont pas été complétés).

Tableau 4. Conditions de séchage et teneurs en eau des lots de séchage 3 à 8.

LOT NO.	3	4*	5*	6**	7**	8
Date (2008)	07-30	07-31	07-31	08-06	08-06	08-17
Séchoir	Bidir	Bidir	Unidir	Bidir	Unidir	Bidir
CONDITIONS DE SÉCHAGE						
Traitement prévu						
Temps de séchage estimé (h)	24	36	36	38	38	10
Alimentation du flux d'air	H-B	H-B	H	H-B	H	H-B
Recirculation (%)	50	25-75	-	25-75	-	50
Température de séchage (°C)	45	60	60	45	45	45
Traitement effectué						
Temps de séchage (h)	18	50	50	58	58	13
Alimentation du flux d'air par cycle	H-B	H-B-H	Haut	H-B-H	Haut	H-B
Taux de recirculation par cycle (%)	39-44	15-62-66	-	25-68-65	-	59-52
Température extérieure moy (°C)	19,8	13,3	13,3	12,3	12,3	14,3
Température séchage moy (°C)	44,4	52,5	52,0	46,0	45,7	46,3
Débit d'air vol. moy. foin (m ³ /s)	10,64	9,90	7,23	10,61	7,18	10,59
Vitesse d'air dans le foin (m/s)	0,17	0,16	0,12	0,17	0,12	0,17
CARACTÉRISATION DES BALLES D'UNE CELLULE (8 balles échantillonées sur 18)						
Initiale						
TEE ini moy mesurée étuve (%)	26,2	27,5	27,2	30,0	30,1	18,8
TEE ini écart-type étuve (%)	3,4	4,4	5,1	4,7	4,5	1,4
TEE ini max étuve (%)	34,1	33,8	34,3	37,7	36,8	21,6
TEE ini moy mesurée Delmhorst (%)	20,4	26,7	28,6	30,0	30,9	15,7
TEE ini écart-type Delmhorst (%)	6,6	4,1	5,2	4,4	4,3	1,2
TEE ini max Delmhorst (%)	32,0	33,1	36,8	38,1	37,3	16,8
MH ini cellule (kg)	6120	6450	6650	6490	6560	5280
MS ini cellule (kg)	4517	4677	4838	4543	4585	4286
Longueur des balles (m)	2,19	2,20	2,17	2,19	2,17	2,19
Densité (kg/m ³)	209,3	217,4	232,2	224,5	225,5	170,4
Densité (kg MS/m ³)	154,1	157,5	168,5	157,0	157,5	138,3
Finale						
TEE fin moy mesurée étuve (%)	19,8	11,6	11,4	11,2	10,7	11,6
TEE fin écart-type étuve (%)	5,7	4,7	3,1	3,3	4,0	2,6
TEE fin max étuve (%)	27,2	21,6	16,0	16,4	17,3	16,5
TEE fin moy mesurée Delmhorst (%)	19,4	17,0	17,3	15,0	12,4	12,2
TEE fin écart-type Delmhorst (%)	7,6	10,4	4,6	6,9	5,7	2,1
TEE fin max Delmhorst (%)	36,7	38,6	25,5	27,5	22,1	16,1
MH fin cellule (kg)	5480	5280	5500	5180	5100	4950

Les lots 4 et 5 (*) et 6 et 7 (**) ont été effectués simultanément (foin de même provenance)

Tableau 5. Bilans de masse et d'énergie pour les lots de séchage 3 à 8.

LOT NO.	3	4*	5*	6**	7**	8
BILAN DE MASSE DU LOT (basé sur la masse des chariots seulement)						
Masse ini lot (kg)	24480	25800	26600	25960	26240	21120
MS ini lot (kg)	18068	18708	19353	18172	18338	17146
Eau à évaporer (kg)	3948	4541	4608	5310	5401	1636
Masse fin lot (kg)	21920	21120	22000	20720	20400	19800
Eau évaporée (kg)	2560	4680	4600	5240	5840	1320
ÉNERGIE ET PUISSANCE						
Consommation propane (L)	383	1093	1339	1129	1421	273
Énergie consommée (MJ)	14986	42818	52452	44245	55664	10705
Énergie spécifique (MJ/L)	39,2	39,2	39,2	39,2	39,2	39,2
Énergie d'évaporation (MJ/kg)	6400	11700	11500	13100	14600	3300
Puissance brûleur (kW)	231	238	291	212	267	229
CONTRIBUTION DE LA RECIRCULATION						
Débit massique d'air (kg/s)	12,1	11,2	-	12,1	-	12,0
Puissance de chauffage (kW)	299	443	-	408	-	387
Puissance brûleur (kW)	238	238	-	212	-	248
Contribution de la recirculation (kW)	61	205	-	196	-	138
Contribution de la recirculation (%)	19	45	-	46,2	-	35,3
PERFORMANCES DU SÉCHOIR						
Capacité de séchage (t MS/jour)	24,1	9,0	9,3	7,5	7,6	31,7
Capacité de séchage (t MH/jour)	32,6	12,4	12,8	10,7	10,9	39,0
Taux d'évaporation moy. (kg/h)	142,2	93,6	92,0	90,3	100,7	101,5
Énergie de séchage (MJ/kg évap)	6,07	11,19	14,44	9,30	11,63	8,23
Consommation horaire (L/h)	21,25	21,86	26,78	19,47	24,50	21,02
Consommation horaire (MJ/h)	832,6	856,4	1049,0	762,9	959,7	823,4
Efficacité d'évap. moy. pondérée (%)	42,7	24,7	21,7	28,0	26,2	30,7
COÛT DE SÉCHAGE						
\$ propane / L	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
\$ propane / lot	267,76	765,03	937,16	790,53	994,54	191,26
\$ propane / t MS	14,82	40,89	48,42	43,50	54,23	11,15
\$ propane / t @ TEE finale	12,22	36,22	42,60	38,15	48,75	9,66
\$ propane / kg d'eau évap	0,23	0,62	0,81	0,50	0,62	0,29

Les lots 4 et 5 (*) et 6 et 7 (**) ont été effectués simultanément (foin de même provenance)

Pour le lot 3 (séchoir bidirectionnel), le traitement prévu consistait en une température de séchage de 45°C, 50% de recirculation en tout temps et une inversion après 12 h de séchage. Après une première période de 12 h en alimentation d'air chaud par le haut, le foin a été échantillonné et un nouvel estimé de temps de séchage fut déterminé en fonction de la perte de masse. La deuxième partie du séchage était en alimentation par le bas. Il y a eu environ 30 minutes de ventilation à l'air ambiant à la fin du procédé. Au total, il a fallu 17,5 h de séchage à environ 45°C et 30 min de ventilation à la fin pour faire passer la TEE de 26,2 à 19,8 %. Ainsi, 2560 kg d'eau ont été évaporés sur cette période avec 383 L de propane. Le lot 3 a été interrompu avant l'atteinte des critères de conservation (TEE moyenne de 12 % et maximum à 15 %) en partie à cause d'un estimé erroné de la TEE finale moyenne. Néanmoins, l'efficacité d'évaporation moyenne pondérée était bonne (42,7%) malgré le faible apport d'énergie par la recirculation (61 kW sur les 299 kW disponibles au foin). À 0,70 \$/L de propane, le coût de séchage (propane seulement) était de 14,82 \$/t MS ou 12,22 \$/t à la TEE finale estimée par bilan massique (17,6 %).

Les lots 4 et 5 ont vu leur TEE passer de 27 à 11,5 % après 50 h de séchage à 52°C, au lieu des 36 h de séchage prévues initialement. Le système bidirectionnel (lot 4) a évaporé autant d'eau que le système unidirectionnel (lot 5), environ 4600 kg, même si le débit d'air moyen du séchoir bidirectionnel était plus élevé (9,9 vs 7,2 m³/s). Par contre, moins de propane a été consommé par le lot 4 (1093 vs 1339 L) le rendant ainsi plus efficace (11,2 vs 14,4 MJ/kg d'eau évaporée). Ce rendement énergétique avantageux provient de la recirculation ajustée à des taux de 15, 62 et 66 % aux 1^{er}, 2^e et 3^e cycles d'inversion respectivement (taux moyen pondéré de 46%). Le débit d'air plus élevé du séchoir bidirectionnel est un désavantage au niveau de l'efficacité énergétique car plus de carburant est consommé pour chauffer l'air sans toutefois être utile. Le coût de séchage (propane seulement) est plus faible pour le séchoir bidirectionnel soit 40,89 vs 48,42 \$/t MS. L'inversion du flux d'air n'a pas d'effet positif sur l'homogénéité de la TEE finale (écart-type de 4,7 % pour le bidirectionnel vs 3,1 % pour l'unidirectionnel).

Les lots 6 et 7 étaient très humides initialement à 30% en moyenne avec un maximum à 37,7%. Après 58 h de séchage à 46°C, les TEE finales moyennes de chaque lot étaient sensiblement les mêmes soit 11,2 et 10,7%. Le séchoir bidirectionnel (lot 6) a évaporé moins d'eau (5240 kg) que le séchoir unidirectionnel (lot 7; 5840 kg) et il a consommé moins de propane (1129 vs 1421 L). La recirculation moyenne de 53% a amélioré l'efficacité d'évaporation (9,3 MJ/kg vs 11,6 MJ/kg). Elle a contribué à fournir près de la moitié de l'énergie utilisée pour le séchage. Même si les efficacités d'évaporation moyennes sont comparables (28 et 26 %), le séchoir bidirectionnel a une meilleure efficacité avec le foin plus sec (26,6 et 22 % pour le 2^e et 3^e cycle respectivement) que le séchoir unidirectionnel (24,3 et 13,7 % respectivement). Cet avantage est obtenu grâce à la recirculation de l'air de sortie qui a encore un pouvoir évaporant. Les coûts de propane étaient de 43,50 et 54,23 \$/t MS pour les lots 6 et 7 respectivement. Contrairement aux lots 4 et 5, la TEE est plus homogène dans le séchoir bidirectionnel que dans l'unidirectionnel (écart-type de 3,3 vs 4,0 % respectivement). Cependant, la faible différence ne permet pas de démontrer avec certitude que la bidirectionnalité du flux d'air améliore l'homogénéité finale.

Le lot 8 a été effectué seul avec le séchoir bidirectionnel. Le traitement prévu consistait en une température de séchage de 45°C, 50% de recirculation en tout temps et une inversion après 5 h de séchage. La deuxième partie du séchage était en alimentation par le bas. Il a fallu seulement 12 h de séchage à environ 46°C et 1 h de ventilation à air ambiant à la fin du procédé pour faire passer la TEE de 18,8 à 11,6 %. Ainsi, 1320 kg d'eau ont été évaporés sur cette période avec 273 L de propane. Le débit d'air moyen était d'environ 10,6 m³/s. Le coût de séchage était très faible soit 11,15 \$/t MS ou 9,66 \$/t à la TEE finale estimée par bilan massique (13,4 %). L'efficacité moyenne pondérée était relativement bonne soit 30,7 %. En moyenne, la recirculation a contribué à récupérer 35 % de l'énergie utilisée pour le séchage (avec un taux de recirculation moyen de 55 %). Le lot 8 montre l'intérêt de récolter le foin assez sec (en dessous de 20% de TEE) afin de minimiser la période de séchage artificiel. Il serait donc possible de récolter plus de foin sur un même chantier afin d'augmenter la capacité de séchage journalière lorsque les conditions le permettent. En effet, il a été démontré que le séchage d'un foin à 19 % prend environ 4 fois moins de temps (13 h) que celui à 27 % (50 h pour les lots 4 et 5, par exemple). De plus, le besoin en énergie spécifique est plus faible pour du foin plus sec soit environ 8 MJ/kg vs entre 9 et 14 MJ/kg pour les lots plus humides (4, 5, 6 et 7).

CONCLUSION

Une série de six lots de séchage de grosses balles a fait l'objet d'un suivi en juillet et août 2008. Chaque lot incluait 72 grosses balles (en moyenne avec des dimensions de 0,8 m x 0,9 m x 2,1 m et une masse de 348 kg par balle) placées sur une hauteur de 1,8 m dans quatre cellules contenant 18 balles chacune. Les teneurs en eau (TEE) initiales moyennes à la récolte ont varié entre 18,8% et 30,1%, tandis que les TEE finales moyennes après le séchage ont varié entre 10,7% et 19,8%. Le temps de séchage et le coût du propane étaient relativement faibles pour une réduction de seulement 6 ou 7 unités de pourcentage de TEE: 18 h et 14,82 \$/t de matière sèche (MS) pour réduire la TEE de 26,2 à 19,8% (lot 3) ou 13 h et 11,15 \$/t MS pour réduire la TEE de 18,8 à 11,6% (lot 8). Par contre, le temps de séchage et le coût du propane étaient élevés pour une réduction importante de près de 20 unités de pourcentage de TEE : 58 h et 43,50 \$ pour réduire la TEE de 30,0 à 11,2% (lot 6) ou 58 h et 54,23 \$/t MS pour réduire la TEE de 30,1 à 10,7% (lot 7). Le séchoir bidirectionnel présentait un léger avantage d'efficacité énergétique par rapport au séchoir unidirectionnel, principalement à cause de l'option de recirculation d'air. De plus, une température de séchage de 45°C (lot 6 et 7) améliore l'efficacité énergétique et procure un même taux d'évaporation moyen qu'à 60°C (lot 4 et 5) soit entre 90 et 100 kg d'eau/h. Des comparaisons entre la mesure de la TEE par séchage à l'étuve durant 24 h (méthode normale) et la mesure instantanée avec une sonde électronique Delmhorst ont montré des valeurs très variables. On ne peut pas se fier à la sonde pour une estimation exacte et absolue de la TEE. Toutefois, la méthode utilisée d'échantillonnage par carottage (étuve) permet d'estimer convenablement la TEE initiale et finale moyenne d'un lot. En effet, les bilans massiques de perte d'eau par différence de masse et ceux calculés par mesure de la TEE à l'étuve sont comparables.

PERSPECTIVES

Le système de séchage de grosses balles avait une efficacité thermique de l'ordre de 30%. Cela limitait la capacité du séchoir et, par conséquent, la capacité du chantier de récolte lorsque le foin devait être séché artificiellement. L'enrubannage du foin à basse teneur en eau présente une autre option pour entreposer des volumes importants de foin en grosses balles sans avoir à les sécher rapidement. Le séchage final pourrait être différé jusqu'après la saison de récolte. Une autre perspective intéressante serait de décentraliser les sites de conditionnement par l'intégration à la ferme de séchoirs de plus petite capacité et la mise en commun du foin de plusieurs fermes pour approvisionner un réseau de commercialisation.

Liste des ouvrages cités

- ASABE. 2006. ASABE Standards, 53^e ed. S358.2: Moisture Measurement - Forages. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Descôteaux, S. and P. Savoie. 2006. Bi-directional dryer for mid-size rectangular hay bales. Applied Engineering in Agriculture 22(4): 481-489.

Récolte fractionnée de la fibre de maïs

Pierre-Luc Lizotte¹ et Philippe Savoie²

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

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

RÉSUMÉ

En 2008, trois hybrides de maïs-grain ont été collectés à chaque semaine dans deux régions du Québec entre le 4 septembre et le 19 novembre. Selon les données à Sainte-Rosalie (2900 unités thermiques maïs – UTM), le rendement en grain augmentait graduellement de 4 t de matière sèche (MS)/ha au début de septembre pour atteindre un maximum théorique en novembre de 9,9 t MS/ha (hybride 46T07) ou 10,9 t MS/ha (hybride 25T19). Pendant ce temps, le rendement en fibre total diminuait d'un maximum au début de septembre de 9,0 ou 10,7 t MS/ha à un taux de perte de 18 ou 39 kg MS/j, respectivement. L'autre site (Saint-Augustin-de-Desmaures, 2500 UTM) avait un potentiel de rendement maximal en grain plus faible, soit 8,2 t MS/ha (hybride 46T07) ou 9,0 t MS/ha (hybride 30A27). À ce deuxième site, le rendement de fibre baissait d'un maximum au début de septembre de 8,7 ou 7,2 t MS/ha à un taux de perte de 36 ou 22 kg MS/j, respectivement. Le 29 octobre, les six fractions de fibre représentaient en moyenne 31,0% (tiges du bas), 11,1% (tiges du haut), 21,1% (rafle), 9,3% (spathes), 14,2% (feuilles du haut) et 13,3% (feuilles du bas) de la fibre totale. La teneur en eau (TEE) de la fibre a diminué graduellement de 70 à 40% en septembre et octobre aux deux sites; elle s'est abaissée jusqu'à 25% plus tard en novembre à Sainte-Rosalie. La conservation de fibre sèche, souhaitable pour le fourrage ou certaines utilisations industrielles, requiert une fibre avec une TEE inférieure à 15%. D'autres efforts sont requis pour améliorer le séchage de la fibre de maïs au champ après le battage du grain grâce à diverses méthodes de récolte adaptées aux conditions du Québec.

INTRODUCTION

La récolte du résidu de maïs comme source de fourrage, litière ou fibre industrielle (éthanol cellulosique, biomatériaux) fait l'objet de beaucoup de discussions aux États-Unis (Atchison et Hettenhaus, 2004; Behling, 2006). Par contre, le climat frais et humide du Québec rend difficile la récolte d'une fibre sèche souhaitable pour la conservation de résidus de maïs en grosses balles (Savoie et Descôteaux, 2004). Pourtant le Québec offre un potentiel important de fibre de maïs. Depuis 2001, près de 400 000 ha de maïs-grain y sont cultivés chaque année avec un rendement moyen de 8,1 t de grain/ha. En parcelles, D'Amours et Savoie (2008) ont observé que la fibre de maïs représentait une biomasse entre 6,4 et 9,2 t MS/ha. Tout en laissant un résidu végétal sécuritaire pour la protection du sol contre l'érosion et pour le renouvellement de la matière organique, ils ont estimé qu'une quantité de 4 à 6 t MS/ha de résidus pouvaient être récoltée au Québec. Cela représente au moins 1,6 millions de t de biomasse sur une base sèche par année. Cette biomasse pourrait offrir un fourrage ou une litière faible coût, une source de combustible pour remplacer des carburants de source fossile souvent employés à la ferme ou être vendue à l'extérieur de la ferme pour un revenu supplémentaire.

Afin d'établir le bon moment et la bonne façon de récolter et conserver la fibre de maïs, il est important d'en connaître les caractéristiques agronomiques. L'objectif principal de cette

recherche est de caractériser les principales composantes morphologiques de la fibre de maïs durant la période de récolte du grain (entre septembre et novembre). Trois éléments seront principalement abordés dans cet article : 1) les rendements totaux et fractionnels en termes de MS; 2) la TEE totale et fractionnelle; et 3) certaines perspectives de récolte de la fibre de maïs.

MÉTHODE ET MATÉRIEL

Méthodologie

En 2008, la campagne d'échantillonnage s'est déroulée du 4 septembre au 19 novembre. Sur le site de la ferme de recherche Techno Champs de La Coop fédérée à Sainte-Rosalie (QC), deux hybrides Elite (46T07 RR, 25T19 RR) ont été collectés à chaque semaine pendant 12 semaines. Sur le site de la ferme de recherche de l'Université Laval à Saint-Augustin-de-Desmaures (QC), deux hybrides Elite (46T07 RR, 30A27 RR) ont été collectés pendant neuf semaines (du 4 septembre au 29 octobre). Les trois hybrides sont Roundup Ready (RR). Le 46T07 est adapté à 2300 UTM, le 25T19 à 2700 UTM et le 30A27 à 2200 UTM. À chaque collecte, cinq plants par hybride étaient choisis au hasard au champ et coupés à 100 mm du sol. La hauteur totale de chaque plant et la hauteur de l'épi étaient mesurées. Le nombre de plants a été déterminé sur trois longueurs de parcelles pour chaque hybride afin d'estimer le rendement à l'hectare. En laboratoire, chaque plant était fractionné en sept parties : les grains, la rafle, les spathes, les feuilles du haut (au-dessus de l'épi), les feuilles du bas (en-dessous de l'épi), la tige du haut et la tige du bas. Afin de déterminer la matière sèche (MS) et la teneur en eau (TEE), chaque partie fractionnée a été séchée à l'étuve à 103°C pendant au moins 72 h, selon les normes S358.2 et S352.2 pour les fourrages et les grains (ASABE 2007). La durée de séchage était plus longue que celle recommandée afin de s'assurer que toutes les parties soient séchées complètement.

Sites

La ferme de La Coop fédérée à Sainte-Rosalie (ROS) est située dans une zone de 2700 à 2900 unités thermiques maïs (UTM) comparativement à la ferme de l'Université Laval à Saint-Augustin (AUG) située dans une zone de 2300 à 2500 UTM (CRAAQ, 2003). Les deux sites sont caractérisés par une topographie plate et des sols drainés dont la texture est majoritairement argileuse. La longueur des parcelles d'essai de l'Université Laval (5,8 m) était légèrement plus courte de celle de La Coop fédérée (7,0 m). La température annuelle moyenne est de 5,8°C pour le site de la ferme Coop et de 4,0°C pour le site de la ferme de l'Université. Les précipitations annuelles moyennes sont de 820 et 894 mm, respectivement. Ces moyennes sont basées sur les données compilées de 1971 à 2000 par Environnement Canada.

Représentation théorique du rendement et de l'humidité

Des courbes sigmoïdales de la fonction Gompertz ont été tracées afin de représenter l'évolution moyenne des rendements de grain (y_g , en t MS/ha) en fonction du temps (t) pour chaque hybride. La variable indépendante t est exprimée en jours à partir du début de l'échantillonnage (t = 0 le 4 septembre). Le paramètre a dans l'équation (1) représente l'asymptote du rendement, c'est-à-dire la valeur théorique maximale; le paramètre b est un taux d'accroissement du rendement.

$$y_g = a e^{-e^{-(t/b)}} \quad (1)$$

Les courbes de rendement de la fibre ont été représentées par une simple régression linéaire où y_f est le rendement de fibre (t MS/ha), y_0 est le rendement au début de l'échantillonnage et c est un paramètre de décroissance puisque la quantité de fibre a tendance à diminuer durant les deux derniers mois de maturation du grain.

$$y_f = y_o + ct \quad (2)$$

L'évolution de la TEE de la fibre de maïs (variable m , en % sur une base humide) a aussi été décrite par une simple régression linéaire en fonction du temps t . Le paramètre m_o est une estimation de la teneur en eau de la fibre au début de l'échantillonnage (lorsque $t = 0$, le 4 septembre) tandis que le paramètre d exprime le taux d'assèchement.

$$m = m_o + dt \quad (3)$$

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Rendements des fractions de maïs

Les figures 1 à 4 illustrent les rendements de chacune des sept fractions des quatre hybrides, sur deux sites différents. Les rendements de grain oscillent d'une semaine à l'autre à cause des variations naturelles dans les parcelles, mais la tendance est clairement à la hausse continue en septembre et octobre. On observe une certaine stabilisation du rendement de grain en novembre en particulier dans les hybrides à Sainte-Rosalie (figures 1 et 2). Les rendements de grain à Saint-Augustin (figures 3 et 4) ne montrent pas de baisse ou une stabilisation comme à Sainte-Rosalie, mais cela peut être dû à la plus courte durée de l'échantillonnage qui s'y est terminé trois semaines plus tôt (le 29 octobre). La fonction de rendement (équation 1) permet d'estimer le maximum théorique pour chacun des hybrides à chaque site. Les paramètres au tableau 1 montrent que les hybrides 46T07 RR et 25T19 RR à Sainte-Rosalie avaient des rendements en grains maximums théoriques de 9,89 et 10,90 t MS/ha, respectivement. Le même hybride 46T07 RR avait un potentiel de rendement de grain théorique de 8,16 t MS/ha à Saint-Augustin, donc de 17% plus bas qu'à Sainte-Rosalie. L'hybride 30A27 RR à Saint-Augustin avait un rendement de grain théorique de 9,02 t MS/ha.

Les six autres fractions de la plante de maïs, soit toute la fibre (rafle, spathes, feuilles du haut, feuilles du bas, tiges du haut, tiges du bas), avaient un rendement relativement constant entre septembre et novembre et qui variait entre 0,5 et 3,5 t MS/ha selon la fraction. La proportion de chaque fibre a été estimée globalement lors de la collecte du 29 octobre. La biomasse totale moyenne des quatre hybrides était de 18,74 t MS/ha dont 54,2% en grains (10,15 t MS/ha) et 45,8% en fibre (8,59 t MS/ha). La tige du bas était la fraction fibreuse la plus importante, soit 31,0% ou 2,66 t MS/ha. La rafle, les spathes, les feuilles du haut, les feuilles du bas et les tiges du haut représentaient 21,1, 9,3, 14,2, 13,3 et 11,1% de la fibre totale ou 1,81, 0,80, 1,22, 1,14 et 0,95 t MS/ha, respectivement.

La fraction de chaque fibre était similaire pour tous les hybrides, à l'exception du 25T19 RR qui avait plus de feuilles du bas ($\approx 1,33$ t MS/ha) que les autres hybrides ($\approx 0,96$ t MS/ha). Shinners et al. (2006) ont également effectué le fractionnement de deux différents hybrides de maïs (un en 2005 et l'autre en 2006) échantillonnés à la ferme de recherche de l'Université du Wisconsin. Leurs résultats sont similaires à ceux présentés ci-haut. Ils ont estimé que les rendements de la rafle étaient de 17,4% en 2005 et de 16,5% en 2006, les rendements de spathes étaient de 11,4% et de 10,6%, respectivement ces deux années, les rendements des feuilles totaux (au-dessus et en-dessous de l'épi) étaient de 24,5% et de 20,0%, et les rendements des tiges totaux étaient de 46,7% et de 52,9%, respectivement.

La figure 5 montre le rendement total des six fractions fibreuses pour chacun des quatre hybrides. L'hybride qui produisait le plus de grains (25T19 à Sainte-Rosalie) était généralement l'hybride avec le plus de fibres. Le rendement total de fibres avait tendance à baisser durant les mois de septembre, octobre et novembre. Les régressions linéaires au tableau 1 indiquent un rendement total de fibre le 4 septembre de 10,70, 9,03, 8,69 et 7,23 t MS/ha pour les hybrides ROS 25T19, ROS 46T07, AUG 46T07 et AUG 30A27, respectivement. La pente du rendement de la fibre correspond à une diminution de 39, 18, 36 et 22 kg par jour à partir du 4 septembre par hybride, respectivement. Cela s'explique par la sénescence de la plante et probablement par la perte de feuilles et des tiges du haut.

Teneur en eau de la fibre de maïs

La TEE dans les fractions a tendance à diminuer dans le temps et à être spécifique à chaque partie morphologique. La figure 6 est une moyenne des deux hybrides à Sainte-Rosalie. La TEE du grain baisse régulièrement de 60% au début de septembre à moins de 25% en novembre. La TEE des tiges du bas est à un niveau constant d'environ 80% en septembre et octobre; elle diminue rapidement en novembre jusqu'à 60%. La rafle a une TEE qui diminue très régulièrement de 70% à 35% durant la période de 12 semaines. Les autres fractions (spathes, feuilles du haut et du bas, tiges du haut) ont une TEE à la baisse en fonction du temps mais de façon moins régulière. L'histogramme des précipitations explique en bonne partie pourquoi ces fractions exposées à la pluie ou au temps sec peuvent avoir une TEE aussi variable d'une semaine à l'autre.

La figure 7 illustre la TEE de la fibre totale aux deux sites. La TEE globale de la fibre baisse de façon linéaire d'environ 70% au début de septembre à 25% à la fin de novembre au site de Sainte-Rosalie. Selon les régressions linéaires (tableau 1), la TEE de la fibre au début de septembre était en moyenne 68% excepté pour l'hybride 46T07 qui était beaucoup plus sec (57%). Le taux de diminution de la TEE était semblable pour tous les hybrides, soit 0,5% par jour ou une baisse de 30% après 60 jours. Les hybrides au site de Saint-Augustin avaient effectivement une TEE observée d'environ 40% à la fin d'octobre lorsque la collecte de données s'y est terminée. Les hybrides à Sainte-Rosalie avaient une fibre encore plus sèche, de l'Ordre de 25% de TEE, à la fin des observations le 19 novembre. La fibre des hybrides à Sainte-Rosalie avait tendance à avoir une TEE plus faible que la fibre des hybrides à Saint-Augustin.

Récolte de la fibre de maïs

Le maïs est d'abord cultivé pour le grain. Le choix de la date de récolte est donc basé sur l'obtention d'un rendement en grain élevé. Une date de récolte correspondant à au moins 98% du rendement maximal prédit en grain semble être un moment acceptable. Le tableau 2 montre les dates de récolte correspondant à ce critère et les rendements en grain prédits.

Un autre critère de récolte du maïs pourrait être basé sur l'obtention d'une TEE minimale de la fibre puisqu'il y a généralement un avantage à récolter la fibre la plus sèche possible. Le tableau 2 montre les dates de récolte correspondant à ce critère et les rendements en fibre prédits.

Il est clair que le critère de rendement de grain élevé sera prépondérant sur le critère de TEE basse pour la fibre. En pratique, on peut faire abaisser la TEE de la fibre en dessous du niveau à la récolte en laissant les résidus au champ pour une période de temps plus ou moins longue. La fibre continuera à s'assécher naturellement mais à un taux très variable selon les conditions climatiques et les traitements mécaniques de la fibre (coupe, broyage, mise en andain, râtelage,

etc.). Une analyse plus poussée est nécessaire pour étudier les changements de la TEE de la fibre au champ après la récolte du grain.

Il est important de préciser que les résultats présentés ci-haut sont caractéristiques de l'année 2008 à deux sites et avec des hybrides spécifiques. Comme toutes cultures, les rendements de fibre peuvent varier d'une année à l'autre selon les sols, la fertilisation, les conditions météorologiques, etc. À titre de référence, les mois de mai à novembre 2008 ont été plus chaud que la moyenne (1971 à 2000) d'environ 0,5 et 0,6°C pour les régions de Sainte-Rosalie et Saint-Augustin, respectivement. Pour Sainte-Rosalie, il est tombé 81,4 mm de pluie de moins alors qu'à Saint-Augustin, il est tombé 71,8 mm de pluie de plus que la moyenne. Des températures plus élevées pourraient favoriser une production élevée de fibre. Une plus grande quantité de précipitations pourrait maintenir une TEE élevée de la fibre et prolonger la durée de séchage naturel au champ.

CONCLUSION

Trois hybrides de maïs (46T07 RR, 25T19 RR, 30A27 RR) ont été collectés durant neuf et douze semaines aux fermes de recherche de La Coop fédérée et l'Université Laval afin d'en étudier la composition en fibres et grains. La MS et la TEE de sept parties (grains, rafle, spathes, feuilles-haut, feuilles-bas, tiges-haut et tiges-bas) ont été estimées. Un des hybrides (46T09 RR) a été échantillonné aux deux sites à des fins de comparaison. Selon les résultats obtenus, la fibre de maïs constitue une fraction décroissante de la masse totale du plant de maïs (entre 49 et 42% selon le cultivar et la date en octobre et novembre). Les composantes fibreuses sont situées majoritairement (54% de la MS de fibre) au-dessus de l'épi lorsqu'on inclut la rafle et les spathes. La tige au bas de l'épi est la fraction fibreuse la plus importante, soit à 31% de la MS de la fibre, mais elle est aussi la plus humide à près de 80% de TEE tout au long du mois d'octobre. L'évolution de la TEE des feuillages (spathes, feuilles-haut, feuilles-bas) dépend des conditions météorologiques, particulièrement de la pluie.

Les données de rendement et de TEE permettent d'estimer des dates optimales de récolte de grain et de fibre selon des critères agronomiques ou économiques. Ces données peuvent également servir à déterminer des séquences optimales d'opérations de récolte du grain et de la fibre. Cependant, l'étude de différents scénarios de récolte, notamment en incluant une période de fanage au champ pour la fibre, est nécessaire afin de maximiser l'efficacité des opérations pour les conditions climatiques du Québec. Les résultats reflètent les conditions de seulement trois hybrides sur deux sites différents. Une étude s'étalant sur plusieurs années permettra de mieux généraliser les résultats et d'évaluer de façon plus nuancée le potentiel réel de la fibre de maïs au Québec.

Remerciements

Les auteurs remercient La Coop fédérée et Agriculture et Agroalimentaire Canada pour le soutien accordé dans le cadre d'un projet de partage des frais d'investissement (PPFI) en recherche et développement. Une partie de ces travaux de recherche est également possible grâce au soutien du Conseil de recherche en sciences naturelles et génie du Canada pour la formation d'étudiants gradués et de personnel hautement qualifié. Les auteurs remercient Marie-Pierre Fortier pour son assistance technique.

Listes des ouvrages cités

Agriculture et Agroalimentaire Canada. Canne de maïs : des méthodes de récolte, accédé au site <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/>.

Atchison, J.E. et J.R. Hettenhaus, 2004. Innovative Methods for Corn Stover Collecting, Handling, Storing and Transporting, National Renewable Energy Laboratory, no. SR-510-33893, 50 p.

Behling, A., 2006. Extending the Season: Iowa harvester bales cornstalk from September to December, *Hay & Forage Grower*, 21: 34-36.

CRAAQ, 2003. Carte des unités thermiques maïs (UTM) pour le Québec, EVV 026, 1 p.

D'Amour, 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

Savoie, P. et Descôteaux, S. 2004. Artificial drying of corn stover in mid-size bales. *Canadian Biosystems Engineering/Le génie des biosystèmes au Canada* 46: 2.25-2.34.

Shinners, K.J., Boettcher, G.C., Munk, J.T., Digman, M.F., Muck, R.F. et P.J. Weimer, 2006. Single-Pass, Split-Stream of Corn Grain and Stover: Characteristic Performance of Three Harvester Configurations, Paper number 061015, 2006 ASAE Annual Meeting, 21 p.

Statistics Canada, 2008. November Estimate of Production of Principal Field Crops, Canada, vol. 87, no. 8, 52 p.

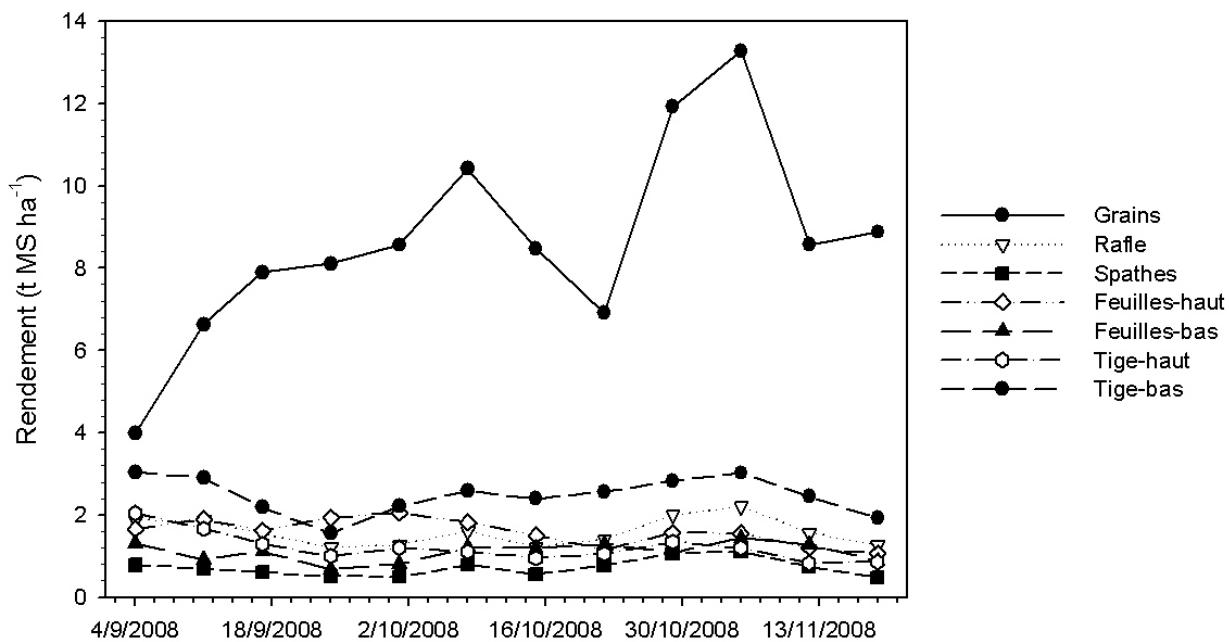


Figure 1. Évolution des rendements des fractions de l'hybride 46T07 RR à Saint-Rosalie.

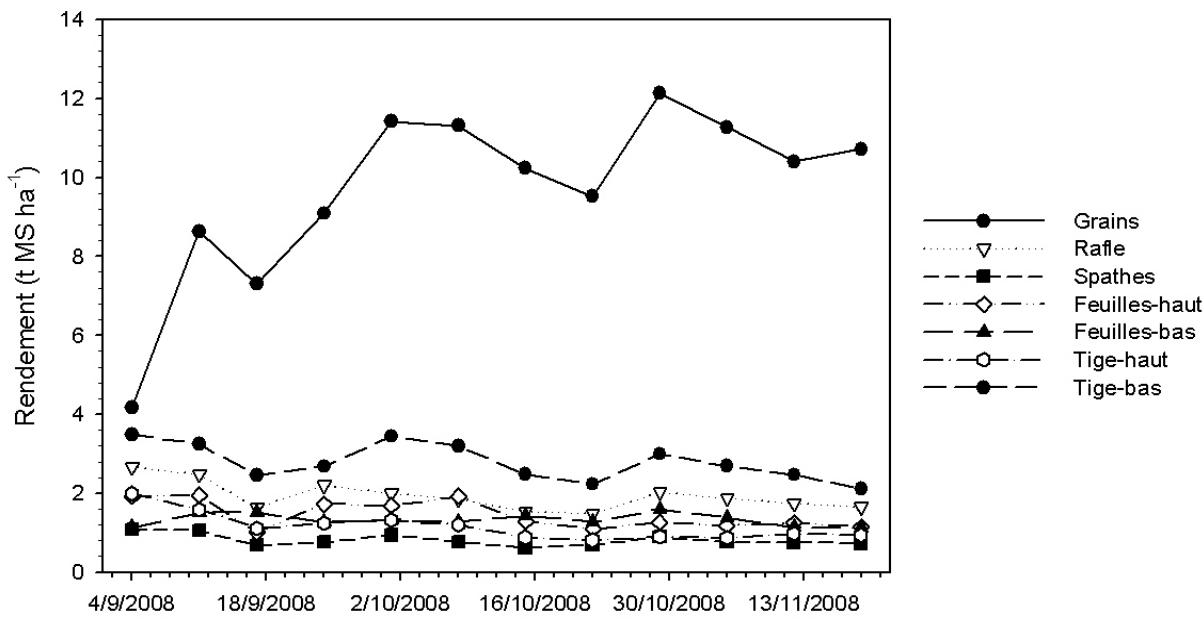


Figure 2. Évolution des rendements des fractions de l'hybride 25T19 RR à Sainte-Rosalie.

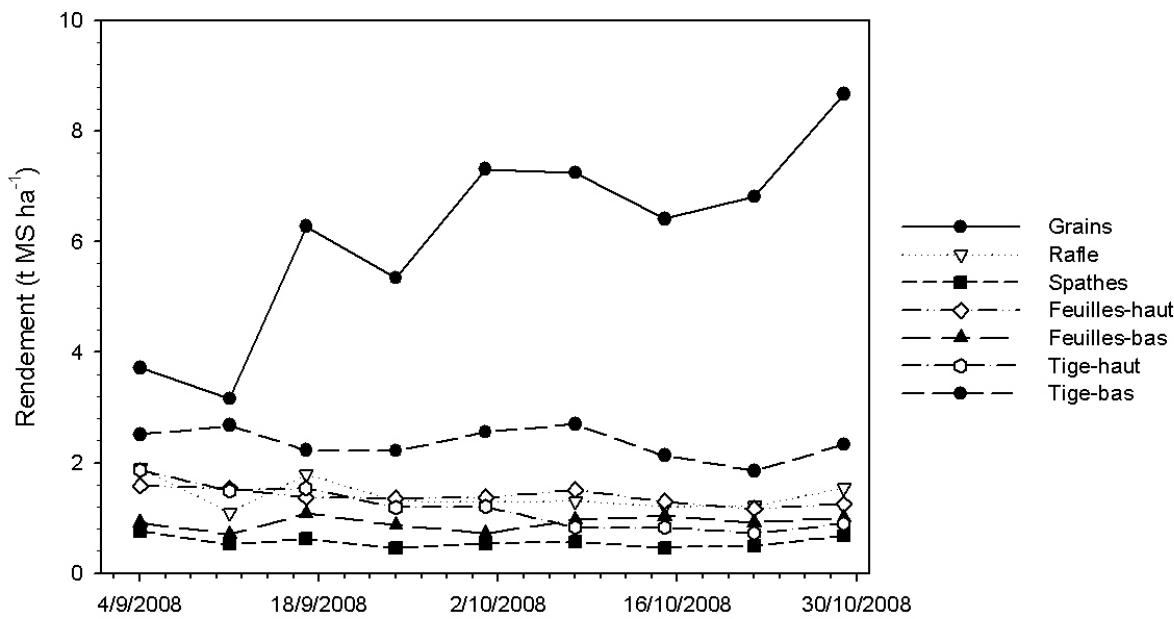


Figure 3. Évolution des rendements des fractions de l'hybride 46T07 RR à Saint-Augustin.

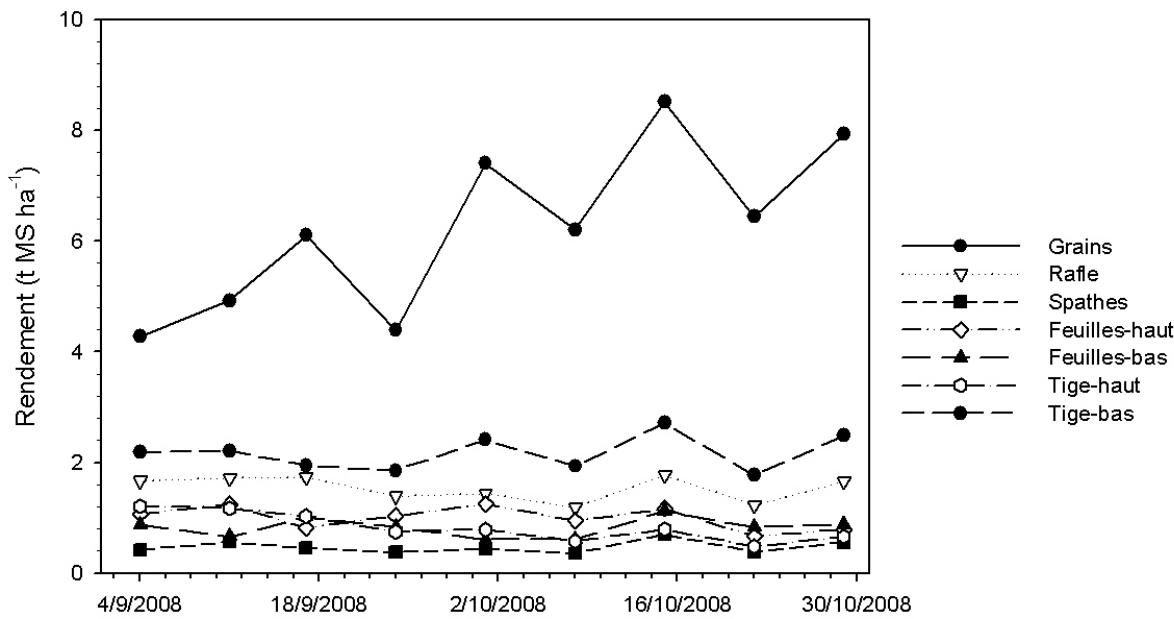
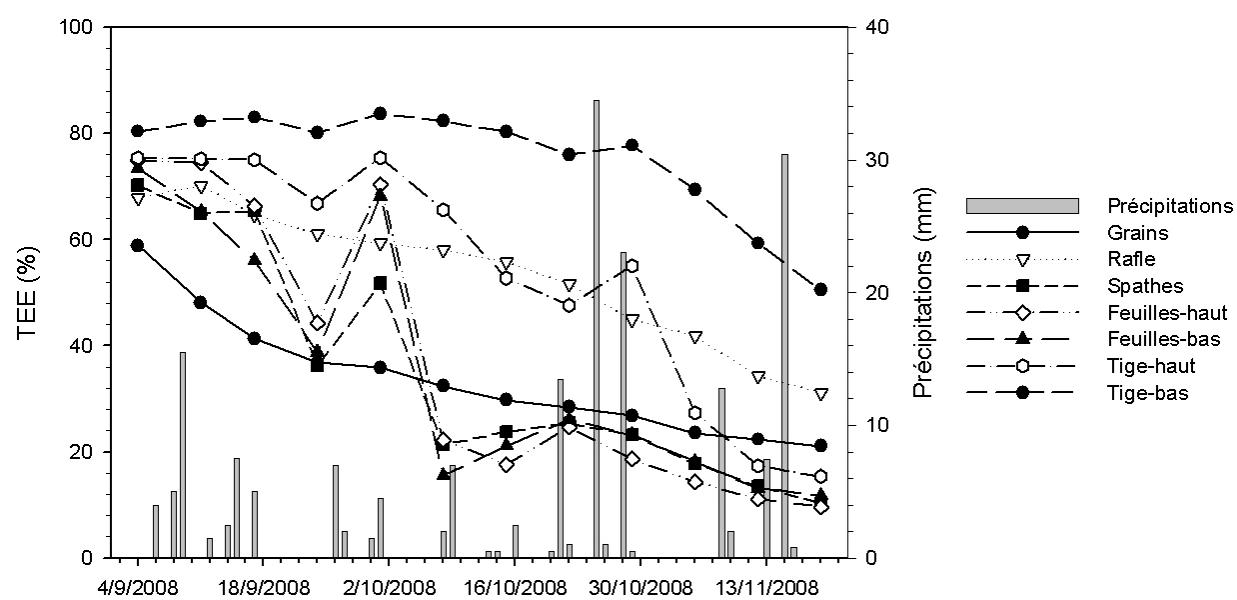
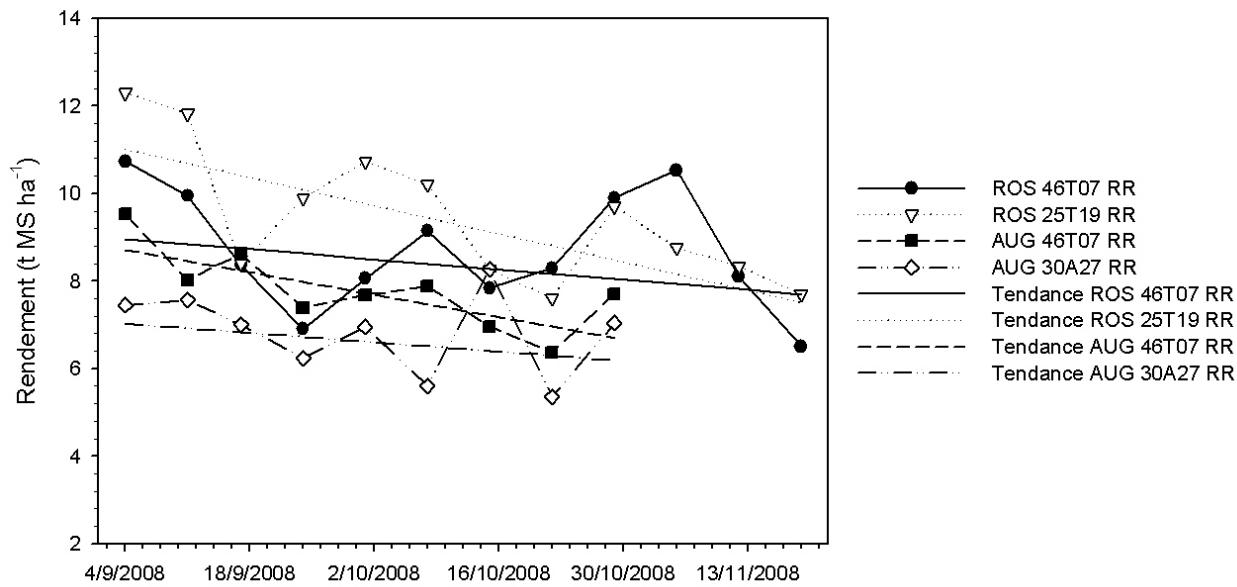


Figure 4. Évolution des rendements des fractions de l'hybride 30A27 RR à Saint-Augustin.



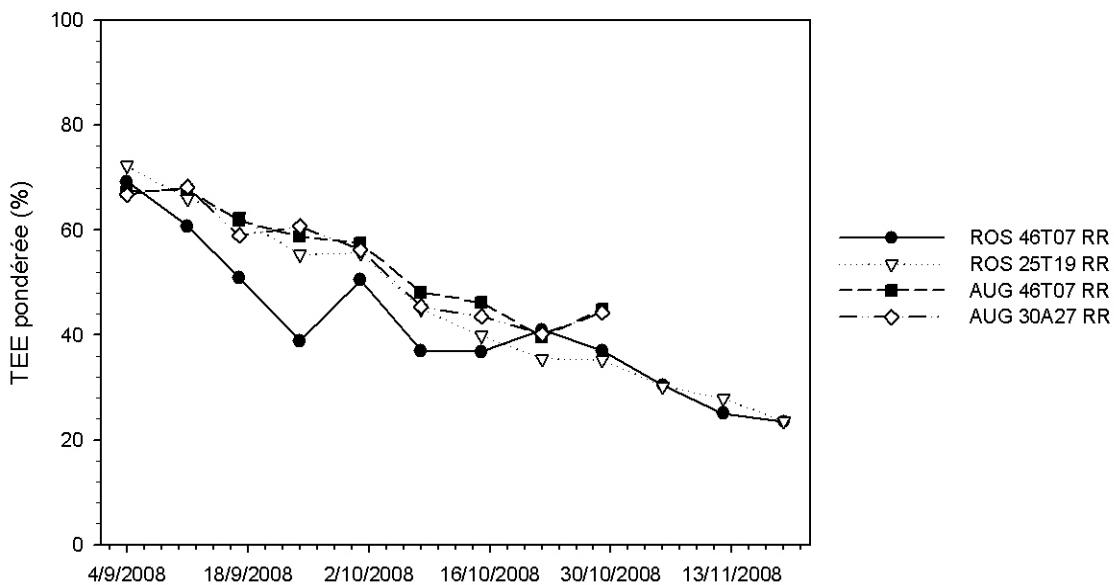


Figure 7. Comparaison de la TEE de la fibre totale des hybrides aux deux sites.

Tableau 1. Paramètres des courbes de tendance du rendement de grain, du rendement de fibre totale et de la TEE de la fibre totale pour les hybrides de maïs aux deux sites.

Courbes	Paramètres	ROS 46T07 RR	ROS 25T19 RR	AUG 46T07 RR	AUG 30A27 RR
MS grain	a	9,892	10,896	8,16	9,019
	b	12,193	9,767	19,457	34,874
	R ²	0,538	0,806	0,754	0,612
MS fibre	y ₀	9,029	10,701	8,689	7,229
	c	-0,018	-0,039	-0,036	-0,022
	R ²	0,116	0,441	0,546	0,176
TEE fibre	m ₀	0,572	0,677	0,685	0,675
	d	-4,448E-03	-5,945E-03	-5,219E-03	-5,212E-03
	R ²	0,844	0,972	0,896	0,863

Tableau 2. Dates de récolte correspondant à un rendement supérieur à 98% du maximum (critère grain) ou correspondant à une TEE de la fibre à 5% du minimum (critère fibre).

Critère		ROS-46T07RR	ROS-25T19RR	AUG-46T07RR	AUG-30A27RR
Grain	Date	Oct-22	Oct-15	Oct-29	Oct-29
	MS (t/ha)	9,7	10,8	7,7	7,7
	TEE (%)	29,7	27,2	31,9	28,2
Fibre	Date	Nov-12	Nov-19	Oct-22	Oct-22
	MS (t/ha)	7,8	7,5	7,0	6,3
	TEE (%)	25,6	24,0	44,1	43,1