



Du fourrage sucré pour mieux performer

Robert Berthiaume¹, Ph.D., agronome,
chercheur scientifique

Gaëtan F. Tremblay², Ph.D., chercheur scientifique,
valeur nutritive des aliments pour ruminants

^{1,2} Agriculture et Agroalimentaire Canada

¹ Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc, Sherbrooke

² Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Québec

Collaborateurs : Guy Allard³, Gilles Bélanger², Annick Bertrand², André Brito¹, Yves Castonguay²,
Caroline Chouinard Michaud^{2,3}, Raynald Drapeau², Carole Lafrenière¹, Daniel Lefebvre⁴, Réal
Michaud², Doris Pellerin³, Alain Fournier⁵, Chantale Morin^{2,3} et Sophie Pelletier²

³ Université Laval, Québec; ⁴ Valacta, Sainte-Anne-de-Bellevue; ⁵ MAPAQ, Nicolet.

Les glucides non structuraux (**GNS**), appelés communément sucres, sont une source importante d'énergie rapidement fermentescible pour les microbes de l'ensilage et du rumen. Le fait que les fourrages sont généralement pauvres en sucres et riches en protéines dégradables dans le rumen contribue à la faible efficacité d'utilisation de l'azote chez la vache laitière. Les GNS incluent les sucres extractibles dans l'eau (glucose, fructose, sucrose, fructosanes chez les graminées, et pinitol chez les légumineuses) et l'amidon. Les facteurs qui affectent le métabolisme et la croissance des plantes fourragères, tels que le climat et certaines pratiques culturales, affectent aussi leurs concentrations en sucres. Nous avons identifié certaines stratégies permettant d'augmenter la teneur en sucres des fourrages, et nous avons montré que cette augmentation peut être associée à une augmentation de la prise alimentaire, de la production laitière et de l'efficacité d'utilisation de l'azote par la vache laitière.

FAUCHE L'APRÈS-MIDI (PM) COMPARATIVEMENT À L'AVANT-MIDI (AM)

La teneur en sucres des plantes augmente au cours de la journée lorsque la production issue de la photosynthèse est plus importante que l'utilisation. Ainsi, le choix du moment de fauche peut être utilisé afin d'augmenter la teneur en sucres du fourrage de graminées et des légumineuses. Des études menées à différents sites en Amérique du Nord et avec différentes espèces fourragères ont montré que la fauche effectuée à la fin d'une journée ensoleillée permet d'accroître la teneur en sucres du fourrage. Cette augmentation de la teneur en GNS des fourrages peut être aussi importante que 5 unités de pourcentage de la matière sèche (MS) et elle est surtout due à une augmentation de la teneur en amidon chez les légumineuses et du sucrose chez les graminées. La teneur maximale en sucres est habituellement atteinte entre 11 et 13 h après le lever du soleil (Fig. 1).

Cette augmentation journalière de la teneur en sucres a été observée chez la plupart des espèces fourragères quoique son amplitude puisse être variable (Fig. 2). Les graminées et les légumineuses ont donc des teneurs en sucres plus élevées lorsqu'elles sont fauchées en après-midi plutôt qu'en avant-midi d'une journée ensoleillée, et ce, tout au long de la saison de croissance, soit en première,

deuxième ou troisième coupe. De plus, les avantages de la fauche PM ne se limitent pas à une augmentation de la teneur en sucres puisque d'autres paramètres de valeur nutritive sont aussi améliorés. L'augmentation de la teneur en sucres est en effet habituellement associée à une diminution des concentrations en azote, ADF (fibres par détergent acide) et NDF (fibres par détergent neutre), et à une augmentation de la digestibilité de la MS.

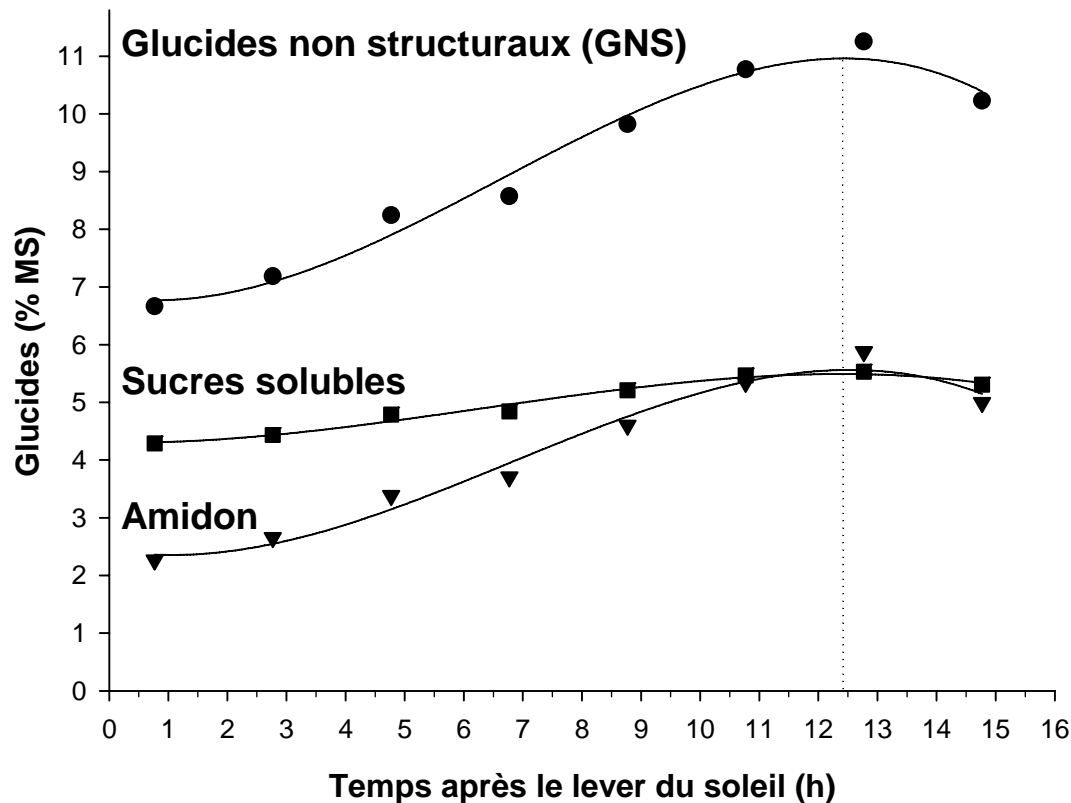


Figure 1. Variations journalières des teneurs en glucides non structuraux (GNS = SS + amidon), en sucres solubles (SS = sucrose + glucose + fructose + pinitol) et en amidon de la luzerne récoltée en deuxième coupe à Lévis (QC). La ligne pointillée représente l'heure après le lever du soleil où la teneur en GNS atteint son maximum. Adapté de Morin et coll. (2011a).

ESPÈCES FOURRAGÈRES

Les producteurs ont accès à un grand nombre d'espèces fourragères et d'associations d'espèces, mais il y a peu d'information sur les moyens de maximiser la teneur en sucres de ces espèces et mélanges d'espèces. On considère généralement que les légumineuses ont des teneurs en sucres plus faibles que les graminées. Dans une étude menée dans l'est du Canada par contre, la luzerne avait une teneur en sucres similaire à celle de la fléole de prés, la graminée la plus cultivée dans cette région (Fig. 2). La teneur élevée en GNS chez les légumineuses est partiellement due à une teneur en amidon plus élevée que chez les graminées; l'amidon est en effet le glucide de réserve chez les légumineuses. Le pinitol, un glucide présent chez les légumineuses et non chez les graminées, contribue aussi à augmenter leurs teneurs en GNS. Les fructosanes, les glucides de réserve chez les graminées, ne semblent pas jouer un rôle important dans l'augmentation journalière des teneurs en GNS des fourrages.

Peu d'études ont mesuré les différences dans la teneur en sucres des diverses espèces, mais nos observations indiquent que le trèfle rouge a une teneur en GNS plus élevée que celle de la luzerne. En moyenne pour les deux heures de fauche et les deux coupes (données non présentées), la fétuque élevée était la plus riche alors que l'alpiste roseau était la plus pauvre en sucres. Les légumineuses ou les graminées ayant des teneurs en sucres élevées semblent avoir de plus faibles teneurs en ADF et NDF, résultant en une digestibilité *in vitro* de la MS plus élevée.

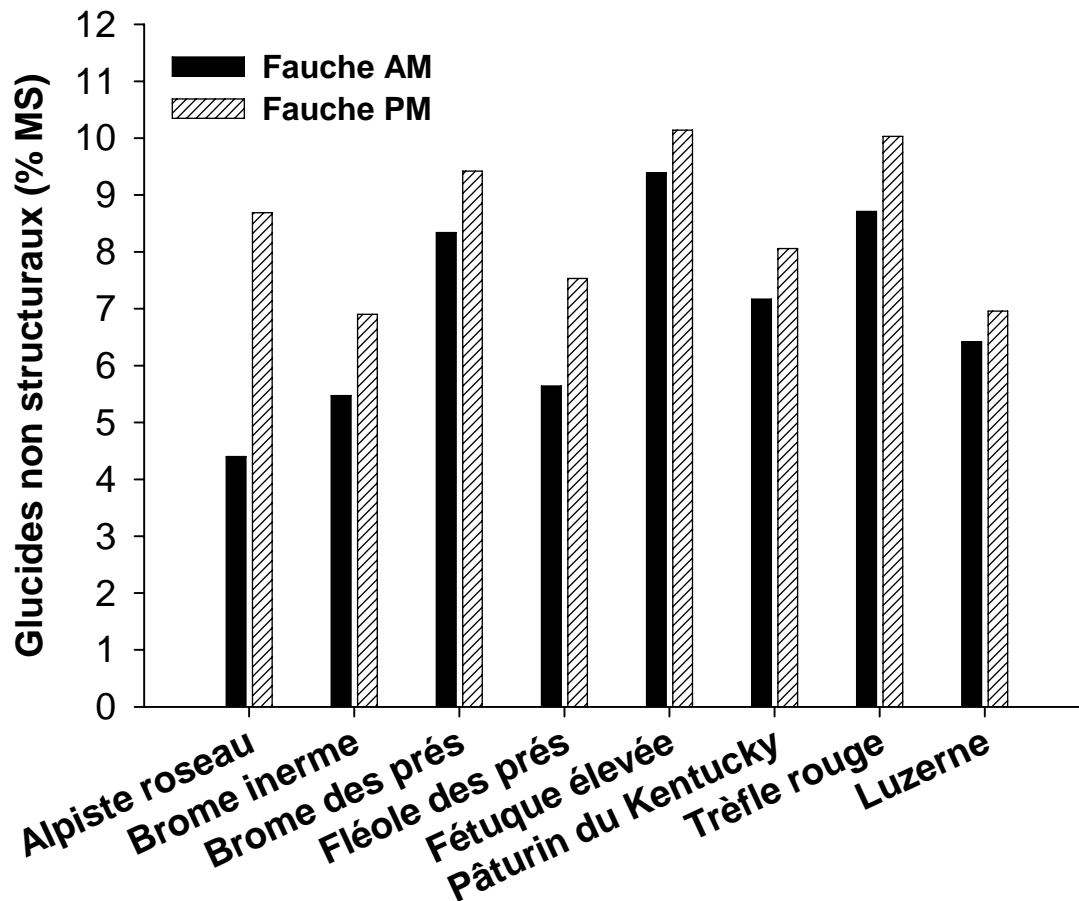


Figure 2. Teneurs en glucides non structuraux (estimés par la somme du sucrose, glucose, fructose, pinitol, fructosanes et amidon) de la croissance printanière de huit espèces fourragères (six graminées et deux légumineuses) fauchées en avant-midi (entre 8 h et 10 h) ou en après-midi (entre 15 h et 16 h 15). Adapté de Pelletier et coll. (2010).

CULTIVARS AYANT DES TENEURS EN SUCRES PLUS ÉLEVÉES

La teneur en sucres des fourrages peut probablement être améliorée par sélection génétique mais son potentiel demeure inconnu pour la plupart des espèces fourragères. Au Royaume-Uni, des variétés de ray-grass vivace ayant des teneurs en sucres augmentées de plus de 8 unités de pourcentage de la MS ont été développées avec succès, et elles ont été associées à une augmentation de la prise alimentaire et de la production laitière. Peu de travaux ont cependant été faits concernant la variabilité génétique de la teneur en sucres et la possibilité d'appliquer la sélection génétique pour améliorer ce paramètre chez les espèces fourragères adaptées aux conditions de production du Québec.

Au cours des cinq dernières années, nous avons étudié la possibilité d'augmenter la teneur en sucres de la luzerne via la sélection génétique. Deux populations ont été obtenues en croisant des plants témoins ou des plants sélectionnés pour une teneur en sucres élevée (GNS+) chez le cultivar AC Caribou. Lors d'une évaluation en champ, la population GNS+ a maintenu une teneur en GNS significativement plus élevée (+1,5 unité de pourcentage à l'année d'établissement et +0,6 unité de pourcentage aux années de production) que la population témoin. Les populations témoins et GNS+ avaient des rendements, des teneurs en PB (protéines brutes), ADF, et NDF, de même que des digestibilités *in vitro* de la MS similaires.

Une alternative consiste à augmenter la teneur en pectine de la luzerne. La pectine est un glucide complètement digestible et elle peut être estimée par le dosage des fibres solubles dans un détergent neutre (NDSF) et prédite par spectroscopie dans le proche infrarouge. Une sélection faite par une équipe de New York a été efficace pour augmenter ou diminuer la teneur en NDSF de la luzerne, ce qui était associé à une digestibilité respectivement plus élevée et plus faible.

STADE DE DÉVELOPPEMENT À LA RÉCOLTE

La teneur en sucres peut varier avec le stade de développement à la récolte. Chez la fléole des prés par exemple, une diminution des sucres solubles a été observée avec des récoltes tardives en Suède, en Finlande et dans l'est du Canada. Des résultats variables ont toutefois été rapportés en Norvège. De la fléole des prés récoltée au stade anthèse (après la pleine épiaison), une pratique non recommandée à cause d'une teneur en fibres élevée et une faible digestibilité du fourrage, était associée à une teneur en GNS plus élevée. Cette absence de relation claire s'explique en partie par le fait que, sous les conditions de champ, les effets du stade de développement sont confondus avec ceux des conditions climatiques (radiation solaire et température).

À l'automne, par contre, le retard de la récolte peut être associé à une augmentation des sucres solubles due à une diminution de la température de l'air. Les graminées de climat frais ont généralement des teneurs en sucres solubles plus élevées lorsqu'elles croissent à des températures fraîches (5-10 °C) plutôt que chaudes (15-25 °C). À des températures au-dessous des températures optimales de croissance, les sucres s'accumulent dans la plante parce que la photosynthèse est habituellement moins sensible à de faibles températures que la croissance.

PREMIÈRE, DEUXIÈME OU TROISIÈME COUPE?

Les effets de la période de croissance (printemps, été, automne) sur la teneur en sucres du fourrage ne sont pas clairs. Nos travaux ont démontré soit des augmentations (brome inerme, fléole des prés, luzerne), des diminutions (brome des prés, fétuque élevée, pâturin du Kentucky), ou l'absence de changement (alpiste roseau, trèfle rouge) dans la teneur en sucres du fourrage au cours de la saison de croissance. Des variations saisonnières de la teneur en GNS et en sucres solubles ont été rapportées chez plusieurs espèces de légumineuses et de graminées mais les teneurs maximales surviennent à différents temps de la saison dépendamment, entre autres, de l'espèce fourragère et des sites. Des facteurs comme la température et la photopériode qui varient au cours de la saison de croissance peuvent affecter la concentration en sucres. C'est ainsi que les fourrages récoltés tard à l'automne (ex. : en octobre dans l'est du Canada) sont susceptibles d'avoir des teneurs en sucres plus élevées.

LA FERTILISATION AZOTÉE ET LA TENEUR EN SUCRES DES GRAMINÉES

La fertilisation azotée peut influencer significativement la composition du fourrage de graminées. Le fait de diminuer la fertilisation en N, par exemple, a causé une augmentation de la teneur en sucres et une réduction de la teneur en PB de plusieurs graminées (fléole des prés, dactyle pelotonné, fétuque élevée), ce qui peut réduire les pertes azotées et améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote chez le bovin. La diminution de la fertilisation azotée peut par contre causer aussi une diminution du rendement en MS et de la teneur en protéines. Une teneur en protéine insuffisante dans la ration peut affecter les performances animales. Le défi est donc d'ajuster la fertilisation azotée afin de maximiser la teneur en sucres du fourrage tout en maintenant le rendement en MS et la production animale.

VARIATION DE LA TENEUR EN SUCRES AU COURS DU PRÉFANAGE

Les cellules végétales demeurent vivantes après la fauche et elles continuent d'utiliser les sucres jusqu'à ce qu'elles meurent. La teneur en GNS de la luzerne diminue progressivement au cours du premier jour de préfanage (Fig. 3), et ce, à un taux variant entre 0,2 à 3,5 g/kg MS/h en fonction de la coupe, de l'année et du site. Ce taux de diminution de la teneur en GNS au cours du préfanage n'est pas affecté par l'heure de fauche (PM vs AM). C'est pourquoi, lorsque les conditions de préfanage sont bonnes, la luzerne fauchée en PM maintient une teneur en sucres plus élevée au cours du préfanage que la luzerne fauchée en AM.

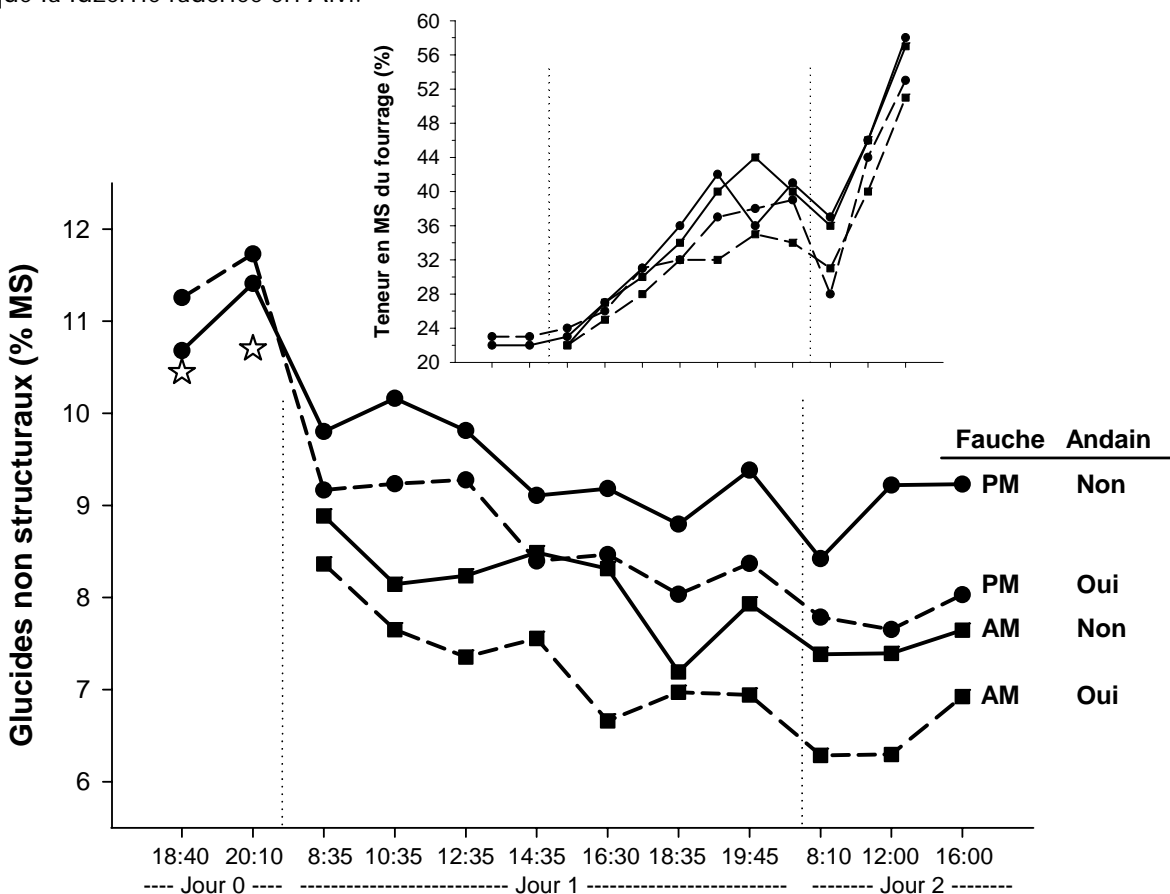


Figure 3. Variations des teneurs en glucides non structuraux (GNS) et en matière sèche (MS) au cours du préfanage au champ de la luzerne fauchée à la fin d'une journée ensoleillée (PM) ou en matinée (AM) de la journée suivante, puis mise en andains ou non. Adapté de Morin et coll. (2011b).

On peut penser que la luzerne fauchée en PM perd une proportion importante de ses sucres par respiration au cours de la nuit qui suit la fauche, éliminant ainsi l'avantage de la fauche PM par rapport à une fauche AM. Dans la plante non fauchée, on observe généralement au cours de la nuit une translocation des sucres des parties aériennes vers les organes de réserve comme le collet et les racines. Il y a donc normalement au cours de la nuit, une baisse de la teneur en sucres dans les parties aériennes de la plante non fauchée. Nous avons effectivement observé que la perte de sucres au cours de la nuit dans la luzerne fauchée en PM était plus faible que celle observée dans le plant non fauché, de sorte qu'au lendemain matin qui suit la fauche PM, la teneur en sucres dans la luzerne fauchée en PM la veille demeure plus élevée que dans la luzerne fauchée en AM (Fig. 3).

Au matin de la fauche AM, le taux de photosynthèse est similaire dans les plants de luzerne fauchés en PM ou en AM (Fig. 4), de même que dans les plants non fauchés, et elle continue pendant plus de trois heures, jusqu'à ce que la teneur en MS du fourrage fauché atteigne environ 35 % de la matière fraîche.

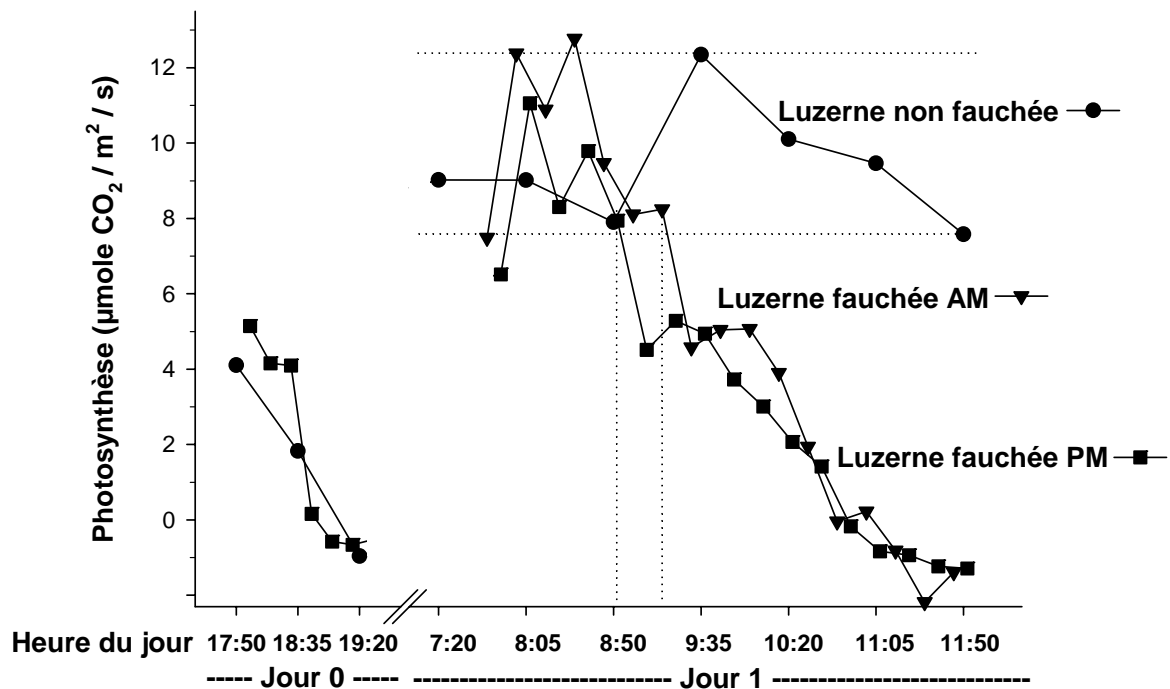


Figure 4. Photosynthèse mesurée au cours du préfanage de plants de luzerne fauchés en PM ou en AM et sur des plants non fauchés. Adapté de Morin et coll. (2011b).

VARIATION DE LA TENEUR EN SUCRES AU COURS DE LA FERMENTATION EN ENSILAGE

Les sucres solubles constituent un substrat pour la fermentation et ils diminuent au cours de la fermentation en ensilage. Le taux de diminution des sucres peut cependant varier en fonction de la teneur en MS de l'ensilage. À cause de cette diminution dans la teneur en sucres au cours de la fermentation, les fourrages ayant une teneur plus élevée à la mise en silo peuvent perdre cet avantage pendant le processus de fermentation. Nos études ont montré, par contre, que l'ensilage demi-sec de luzerne et de fléole des prés fauchés en PM conserve cet avantage, c'est-à-dire qu'il a une teneur en sucres plus élevée que l'ensilage demi-sec fabriqué à partir de luzerne et de fléole de prés fauchés en AM. D'autres études sont nécessaires afin de vérifier si cet avantage est maintenu lorsque l'ensilage est conservé à 35 % MS.

PRODUCTION D'ENSILAGE RICHE EN SUCRES EN 24 HEURES

Les conditions de préfanage affectent la teneur en sucres du fourrage. Un préfanage rapide se traduit par moins de pertes de sucres par respiration. Comparée à la mise en andain étroit, la mise en andain large peut réduire le temps de préfanage de plus de 9 heures, dépendamment des conditions de séchage, ce qui peut se traduire par une teneur en sucres plus élevée. La fauche effectuée à la fin d'une journée ensoleillée, combinée à la mise en andains larges, représente donc des pratiques agronomiques qui peuvent être utilisées afin d'accroître la teneur en sucres du fourrage préfané de luzerne (Fig. 3).

Lorsqu'on prévoit un seul jour de beau temps, la luzerne peut être fauchée tôt le matin, laissée préfaner en andains larges, puis ensilée en après-midi en moins de 24 heures. Lorsqu'on prévoit deux jours ensoleillés consécutifs, par contre, et que les conditions de préfanage sont favorables, les producteurs peuvent combiner la fauche en fin d'après-midi de la première journée et la mise en andains larges afin de produire du fourrage préfané de luzerne plus riche en sucres, et ce, aussi en moins de 24 heures après la fauche.

LES MICROBES DU RUMEN UTILISENT MIEUX LA LUZERNE RICHE EN SUCRES

Un essai de digestibilité *in vitro* a permis de démontrer que la luzerne ayant une teneur élevée en GNS (18 % MS) avait une digestibilité apparente de la matière organique (MO) (59,1 vs 54,4 %) et de la MS (60,0 vs 54,3 %), ainsi qu'une digestibilité réelle de la MS (74,1 vs 64,7 %) significativement plus élevée que la luzerne à faible teneur en GNS (7 % MS). L'augmentation de la teneur en sucres dans la luzerne a entraîné une diminution significative du pH ruminal (6,85 vs 7,08) et de la concentration d'azote ammoniacal (26,0 vs 33,6 mg/dl) ainsi qu'une augmentation de la concentration d'AGV totaux (94,9 vs. 83,0 mM). Les proportions molaires d'acétate, d'isobutyrate et d'isovalérate ont diminué de manière significative, alors que les proportions molaires de propionate et de butyrate ont augmenté de manière significative avec la luzerne à teneur élevée en GNS, ce qui a donné lieu à une fermentation plus glucoformatrice. Plus important encore, le flux d'azote microbien (263 vs 230 mg/j) et l'efficacité bactérienne (41,1 vs 29,6 % d'azote assimilable), mesurés à l'aide du N¹⁵ comme marqueur microbien, ont augmenté de manière significative avec la luzerne à teneur élevée en GNS. L'augmentation de la concentration en sucres dans la luzerne favorise donc la fermentation glucoformatrice et améliore la synthèse microbienne de protéines dans le rumen.

PERFORMANCES DES VACHES LAITIÈRES NOURRIES DE FOURRAGES RICHES EN SUCRES

Les résultats *in vitro* ont été confirmés *in vivo* avec des vaches laitières. Trois études *in vivo* ont été menées avec des vaches en début, en milieu et en fin de lactation. La plus récente étude visait à évaluer l'effet de la luzerne à teneur élevée en sucres sur les performances des vaches laitières en début de lactation recevant une ration à 41 % de concentrés. Dans cette expérience, une augmentation de 0,7 unité de pourcentage dans la teneur en GNS de la ration (28,7 vs 28,0 % MS) due à une fauche PM de la luzerne n'a pas affecté l'ingestion et la production laitière, mais a causé une diminution de l'urée du lait chez les primipares, ce qui indiquerait une meilleure utilisation de l'azote chez ces vaches. Cette absence d'effet important peut s'expliquer par la faible différence dans la teneur en sucres des deux rations due en partie à la présence de 41 % de concentrés.

Les effets d'une ration totale mélangée (RTM) à base de fléole des prés riche en sucres sur les performances de vaches en milieu de lactation ont aussi été examinés. La consommation de MS, la production des composantes du lait [matières grasses (MG), protéines, lactose] et la production de lait corrigé à 4 % MG étaient plus élevées chez les vaches recevant la ration à base de fléole des prés riche en sucres. En général, une augmentation de 0,9 unité de pourcentage de la concentration en GNS de la ration due à une fauche PM de la fléole des prés lorsque la ration contient 35 % de concentrés a causé une augmentation de la production de lait corrigé pour l'énergie de 0,4 kg/jr chez les primipares et de 1,5 kg/jour chez les multipares, de même qu'une augmentation du gras et de la protéine du lait.

Les effets du moment de la fauche de la luzerne (PM *vs* AM) sur le métabolisme ruminal, la digestibilité des nutriments, le bilan azoté et la production de lait ont été mesurés chez des vaches en fin de lactation qui ne recevaient aucun concentré. La teneur en sucres était de 12,8 % MS dans la luzerne fauchée en PM et de 10,5 % MS dans la luzerne fauchée en AM. Le pH du contenu ruminal mesuré à 2, 3, 4, 6 et 8 heures après le repas était plus élevé lorsque les vaches recevaient la luzerne fauchée en PM plutôt que celle fauchée en AM, probablement parce que la proportion molaire d'acétate et la concentration en AGV totaux dans le rumen étaient alors plus faibles. Le rapport acétate sur propionate du contenu ruminal était plus faible lorsque les vaches recevaient la luzerne fauchée en PM plutôt qu'en AM. La concentration en ammoniac dans le rumen n'était pas affectée par les traitements. La consommation de MS (Fig. 5) et de MO était plus importante lorsque les vaches recevaient la luzerne fauchée en PM plutôt qu'en AM. La production de lait et de ses composantes était également significativement plus importante lorsque les vaches recevaient la luzerne PM, et la consommation de MO digestible était de 0,8 kg/j plus élevée. Le flux omasal de la MO avait tendance à être plus élevé lorsque les vaches en fin de lactation recevaient la luzerne PM plutôt que la luzerne AM, alors que la digestibilité ruminale réelle et apparente de la MO n'était pas affectée par les traitements. Cependant, la digestibilité apparente de la MO dans le tube digestif complet était de 0,8 kg/j plus élevée lorsque la vache était nourrie de luzerne PM plutôt que de luzerne AM. Ainsi, l'amélioration de la production de lait observée chez les vaches en fin de lactation recevant la luzerne PM pourrait s'expliquer par l'augmentation de la prise alimentaire, du flux omasal et de la digestibilité de la MO dans le tube digestif total. Les ingestions, les flux omasal et les digestibilités apparentes de l'azote, de la fibre NDF et de la fibre ADF n'étaient pas affectées par les traitements. Le flux omasal de l'azote total, de l'azote ammoniacal (N-NH₃) et de l'azote non ammoniacal (NNA), exprimé en g/j, ne différait pas selon le moment de fauche. Cependant, la quantité d'azote réellement digérée dans le rumen, exprimée en pourcentage de l'azote consommé, était plus élevée lorsque les vaches recevaient la luzerne PM (79 %) plutôt que la luzerne AM (74 %).

Le flux omasal de l'NNA bactérien total (l'NNA des bactéries associées au liquide plus l'NAN des bactéries associées aux particules) a augmenté de 7 % lorsque les vaches recevaient de la luzerne PM plutôt que de la luzerne AM. Le débit ruminal de l'NNA de bactéries associées aux particules était plus important de 16 g/j lorsque les vaches en fin de lactation recevaient la luzerne PM plutôt que la luzerne AM. Une plus grande ingestion de MS et de MO lorsque les vaches reçoivent la luzerne PM pourrait expliquer l'augmentation observée du flux omasal d'NNA bactérien total, puisque la MO réellement digérée dans le rumen ne variait pas selon le traitement. L'efficacité d'utilisation de l'azote, exprimée en gramme d'azote non ammoniacal bactérien/g d'azote absorbé, était plus importante lorsque les vaches mangeaient de la luzerne fauchée en PM plutôt qu'en AM, ce qui est cohérent avec l'augmentation significative observée de l'efficacité d'utilisation de l'azote pour la production du lait.

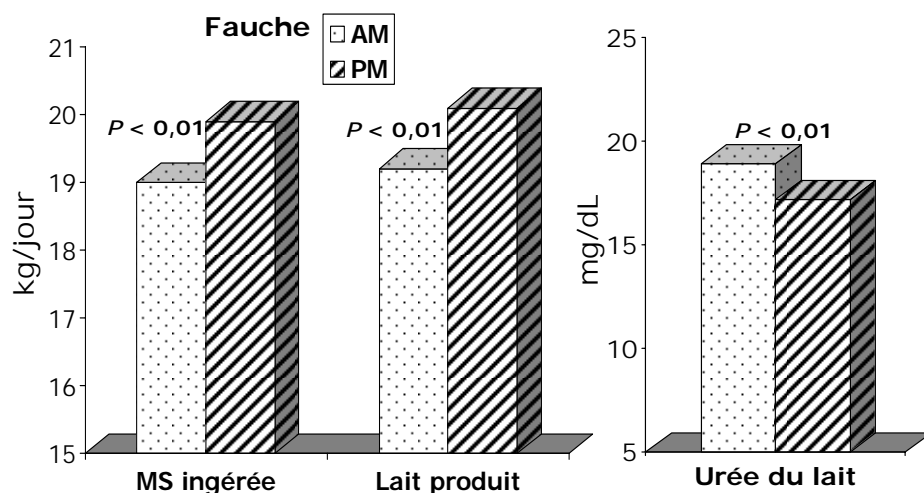


Figure 5. Ingestion, production laitière et teneur en urée du lait de 16 vaches en fin de lactation nourries à 100 % de luzerne fauchée en PM, dont la teneur en sucres était de 12,8 % MS, ou de luzerne fauchée en AM, dont la teneur en sucres était de 10,5 % MS. Adapté de Brito et coll. (2008, 2009).

EN RÉSUMÉ

Le choix de l'espèce fourragère, la sélection génétique, la fauche du fourrage effectuée en fin d'après-midi d'une journée ensoleillée, et la mise en andains larges peuvent être utilisés afin d'augmenter la teneur en sucres des fourrages (+ 2 à 4 unités de pourcentage). Une augmentation d'au moins une unité de pourcentage de la teneur en sucres des fourrages améliore l'ingestion, la synthèse de protéines microbiennes dans le rumen, l'efficacité d'utilisation de l'azote et la production laitière chez la vache. L'augmentation de la production laitière peut atteindre 5 % et elle varie en fonction du stade de lactation de l'animal et de la proportion de fourrage sucré dans la ration.

RÉFÉRENCES CLÉS

- Berthiaume, R., C. Benchaar, A.V. Chaves, G.F. Tremblay, Y. Castonguay, A. Bertrand, G. Bélanger, R. Michaud, C. Lafrenière, T.A. McAllister et A.F. Brito. 2010. *Effects of nonstructural carbohydrate concentration in alfalfa on fermentation and microbial protein synthesis in continuous culture*. J. Dairy Sci., 93: 693-700.
- 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.
- 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-lactating dairy cows*. J. Dairy Sci. 91: 3968-3982.
- Brito, A.F., G.F. Tremblay, H. Lapierre, A. Bertrand, Y. Castonguay, G. Bélanger, R. Michaud, C. Benchaar, D.R. Ouellet et R. Berthiaume. 2009. *Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage increases bacterial protein synthesis in late-lactation dairy cows*. J. Dairy Sci. 92: 1092-1107.

- Burns, J.C., H.F. Mayland et D.S. Fisher. 2005. *Dry matter intake and digestion of alfalfa harvested at sunset and sunrise*. J. Anim. Sci. 83: 262-270.
- Burns, J.C., D.S. Fisher et H.F. Mayland. 2007. *Diurnal shifts in nutritive value of alfalfa harvested as hay and evaluated by animal intake and digestion*. Crop Sci. 47: 2190-2197.
- Chouinard-Michaud, C., R. Michaud, Y. Castonguay, A. Bertrand, G. Bélanger, G.F. Tremblay, R. Berthiaume et G. Allard. 2010. *Time of cutting and genetic selection affect non structural carbohydrates and some attributes of nutritive value in alfalfa*. Affiche présentée au 2010 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings, 31 Oct. - 3 Nov., Long Beach, CA. Abstract 187-11.
- Drapeau, R., G. Bélanger, G.F. Tremblay et R. Michaud. 2007. *Yield, persistence, and nutritive value of autumn-harvested tall fescue*. Can. J. Plant Sci. 87: 67-75.
- 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.
- Humphreys, M.O. 1989. *Water-soluble carbohydrates in perennial ryegrass breeding. II. Cultivar and hybrid progeny performance in cut plots*. Grass Forage Sci. 44: 237-244.
- Morin, C., G. Bélanger, G.F. Tremblay, A. Bertrand, Y. Castonguay, R. Drapeau, R. Michaud, R. Berthiaume et G. Allard. 2011a. *Diurnal variations of non structural carbohydrates and nutritive value in alfalfa*. Crop Sci. 51: 1297-1306.
- Morin, C., G.F. Tremblay, G. Bélanger, A. Bertrand, Y. Castonguay, R. Drapeau, R. Michaud, R. Berthiaume et G. Allard. 2011b. *Nonstructural carbohydrate concentrations during field wilting of PM - and AM - cut alfalfa*. Agron. J. Soumis pour publication.
- Pelletier, S., G.F. Tremblay, C. Lafrenière, A. Bertrand, G. Bélanger, Y. Castonguay et J. Rowsell. 2009. *Nonstructural carbohydrate concentrations in timothy as affected by N fertilization, stage of development, and time of cutting*. Agron. J. 101: 1372-1380.
- Pelletier, S., G.F. Tremblay, G. Bélanger, A. Bertrand, Y. Castonguay, D. Pageau et R. Drapeau. 2010a. *Forage nonstructural carbohydrates and nutritive value as affected by time of cutting and species*. Agron. J. 102: 1388-1398.
- 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.
- Tremblay, G.F., C. Morin, G. Belanger, A. Bertrand, Y. Castonguay, R. Michaud et G. Allard. 2010. *Non structural carbohydrate concentrations during wilting of PM- and AM-cut alfalfa*. Affiche scientifique présentée au 2010 ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings, 31 Oct. - 3 Nov., Long Beach, CA. Abstract 293-11.

FINANCEMENT

La majorité des études rapportées ici ont été financées d'une part par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et, d'autre part, par le programme de recherche orientée et transfert technologique pour l'innovation en production et en transformation laitières (2007-2010) d'AAC, du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et de Novalait inc.



Du fourrage sucré pour mieux performer

Robert Berthiaume¹ et Gaëtan Tremblay²



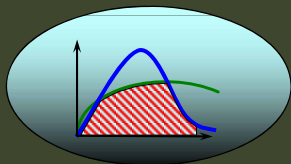
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

¹Sherbrooke, ²Québec

Collaborateurs : G. Allard, G. Bélanger, A. Bertrand, A. Brito, Y. Castonguay, C. Chouinard-Michaud, R. Drapeau, A. Fournier, C. Lafrenière, D. Lefebvre, R. Michaud, C. Morin, D. Pellerin, S. Pelletier et G. Régimbald.

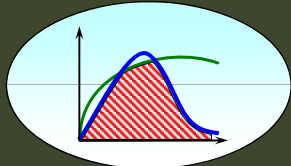
INTRODUCTION



■ Protéine
■ Énergie
■ Microbes

Fourrage typique (déséquilibré)

- Protéines très dégradables
- Faible énergie disponible



Augmenter les sucres solubles

- Protéines très dégradables
- Plus riche en énergie disponible

Hypothèse

Une augmentation de la concentration en sucres des fourrages améliore les performances des vaches laitières par une augmentation de l'ingestion et de l'efficacité d'utilisation de l'azote et réduit ainsi les pertes azotées dans l'environnement



Photo : M.-P. Villeneuve

OBJECTIFS

1) Identifier des pratiques culturales qui favorisent l'accumulation d'énergie dans les fourrages

- 1.1) Variations journalières des sucres dans la luzerne et la fléole
- 1.2) Fauche PM vs AM chez 8 espèces fourragères
- 1.3) Sélection génétique pour des sucres élevés chez la luzerne
- 1.4) Sucres au cours du préfanage de la luzerne

2) Évaluer l'impact d'un fourrage riche en énergie sur la digestibilité *in vitro* de la MS et la synthèse de protéines microbiennes, de même que sur l'ingestion, l'efficacité d'utilisation de l'N et les performances de la vache laitière

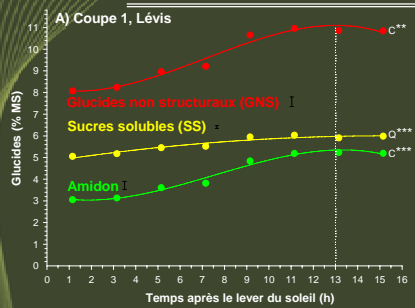
Glucides non structuraux (GNS) = sucres

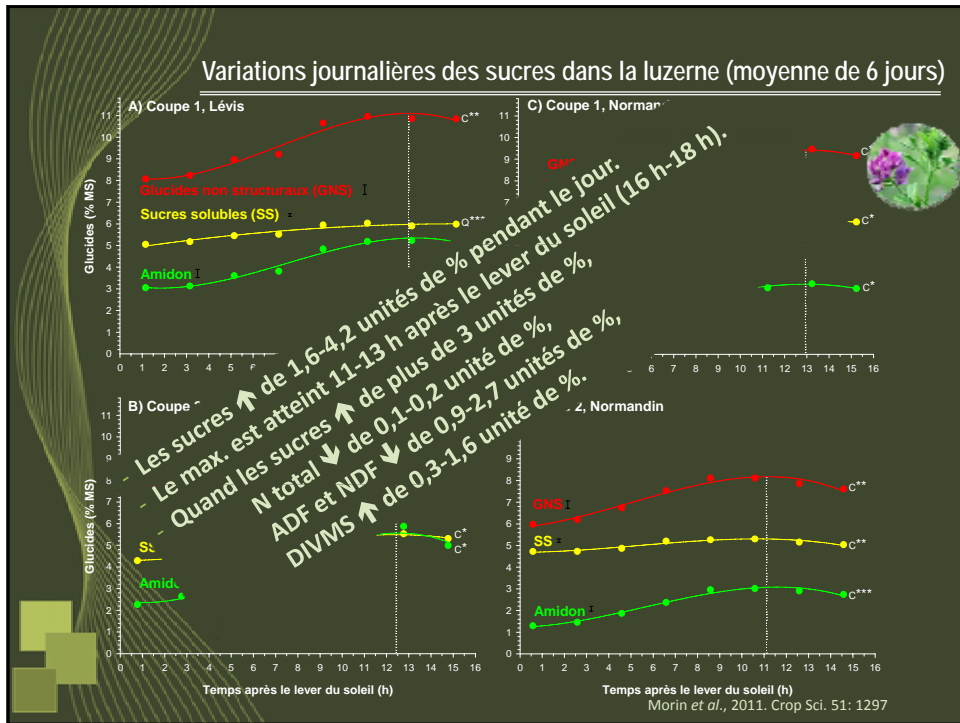
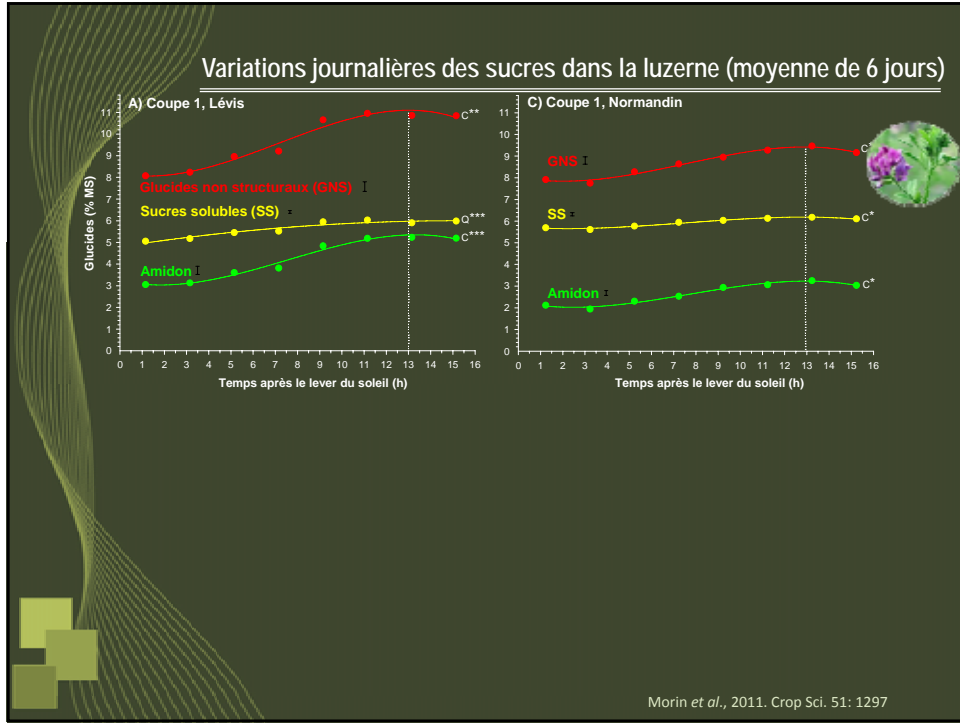
GNS = sucres solubles (SS) + amidon

SS = sucrose + glucose + fructose + pinitol (légumineuses)
+ fructosanes (graminées)

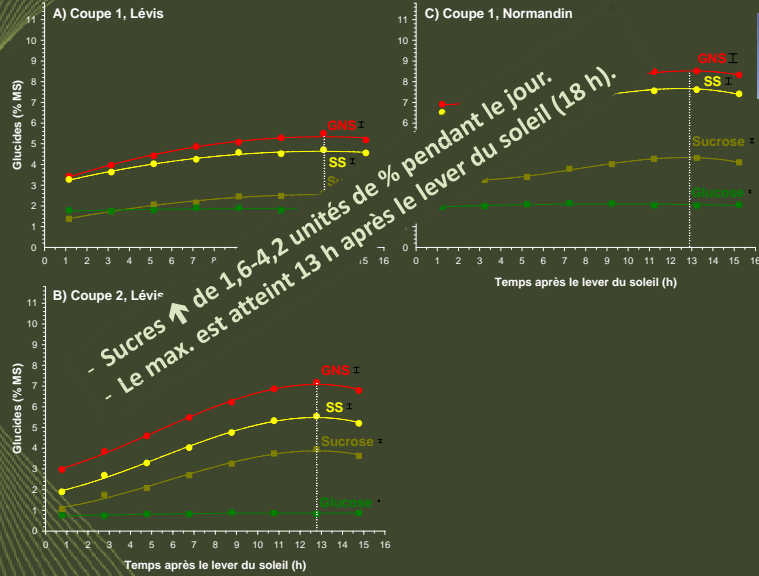


Variations journalières des sucres dans la luzerne (moyenne de 6 jours)





Variations journalières des sucres dans la fléole (moyenne de 6 jours)



Morin *et al.*, 2011. En préparation.

Fauche PM vs AM chez 8 espèces fourragères

- 8 espèces fourragères semées en 4 répétitions à Normandin

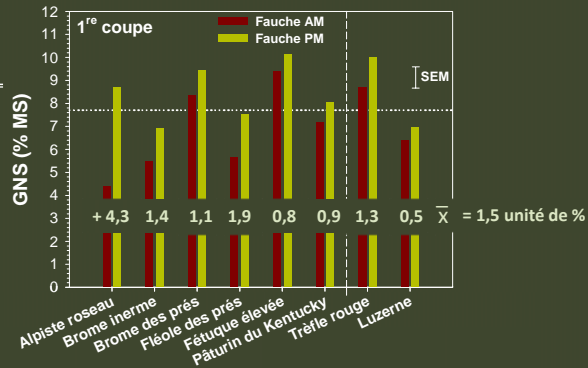
• Alpiste roseau	cv. Bellevue
• Brome des prés	cv. Paddock
• Brome inerme	cv. Radisson
• Fétuque élevée	cv. Kokanee
• Fléole de prés,	cv. Champ
• Pâturin du Kentucky	cv. Balin
• Trèfle rouge,	cv. AC Charlie
• Luzerne	cv. AC Caribou



- 2 années de production
 - Semis 2006 - Récolte 2007
 - Semis 2007 - Récolte 2008
- 2 coupes / année : Épiaison, floraison
- 2 heures de fauche : 8 h-10 h, 15 h-16 h 15

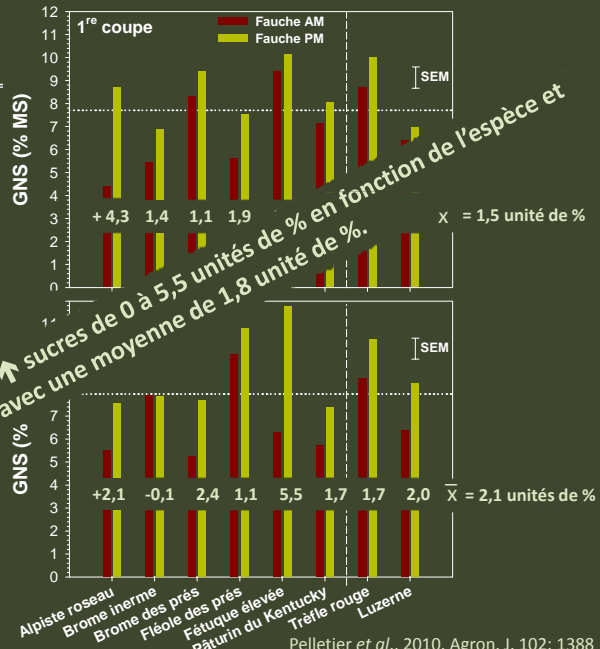
Pelletier *et al.*, 2010. Agron. J. 102: 1388

Fauche PM vs AM chez 8 espèces fourragères



Pelletier et al., 2010. Agron. J. 102: 1388

Fauche PM vs AM chez 8 espèces fourragères

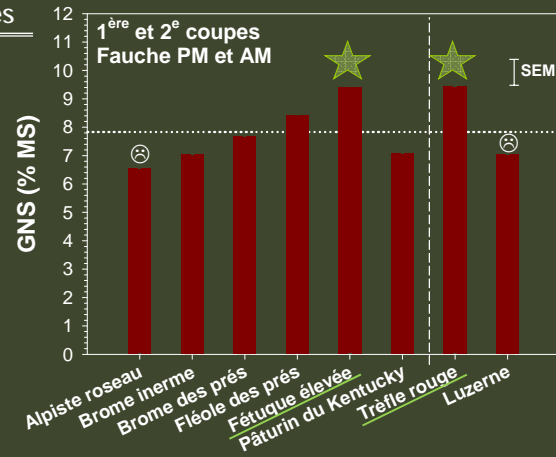


Pelletier et al., 2010. Agron. J. 102: 1388

Fauche PM vs AM chez 8 espèces fourragères



Photo : P. Nadeau



Pelletier et al., 2010. Agron. J. 102: 1388

Sélection génétique pour des sucres élevés chez la luzerne

- Parmi 500 plants de luzerne (cv. AC Caribou), on a sélectionné
 - 10 plants qui avaient des teneurs en GNS faibles
 - 10 plants au hasard
 - 10 plants qui avaient des teneurs en GNS élevées
- En croisant les 10 plants, on obtient 3 populations de luzerne
 - GNS- (faible teneur en GNS)
 - GNS0 (témoin)
 - GNS+ (teneur élevée en GNS)
- Populations ont été implantées à Québec en 2006 et 2008 puis récoltées en AM (9 h) et PM (15 h) au début floraison au cours des
 - Années d'établissement (2 ans, 1 coupe/an)
 - Années de production (3 ans, 3 coupes/an)



Sélection génétique pour des sucres élevés chez la luzerne

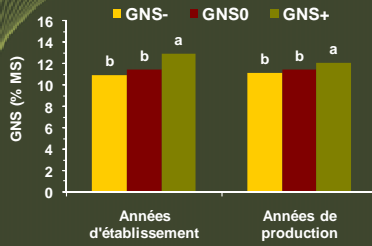


Photo : C. Chouinard-Michaud

Chouinard-Michaud *et al.*, 2010. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings

Sélection génétique pour des sucres élevés chez la luzerne

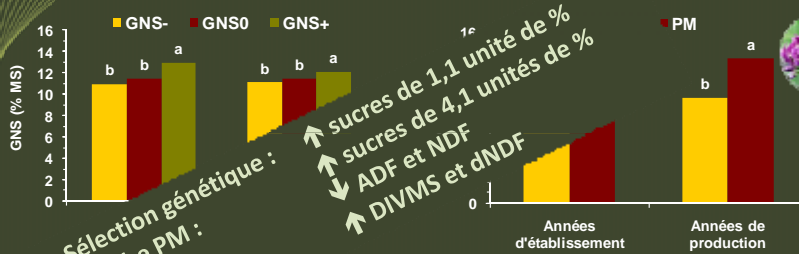
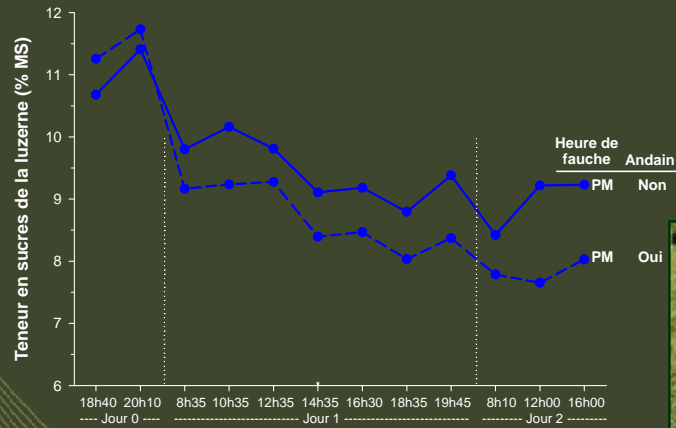


Photo : C. Chouinard-Michaud

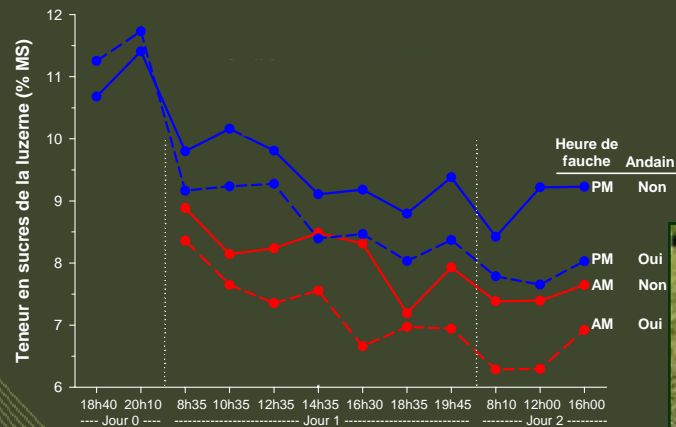
Chouinard-Michaud *et al.*, 2010. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings

Variations de la teneur en sucres au cours du préfanage de la luzerne



Morin et al., 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

Variations de la teneur en sucres au cours du préfanage de la luzerne



Morin et al., 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

Variations de la teneur en sucres au cours du préfanage de la luzerne

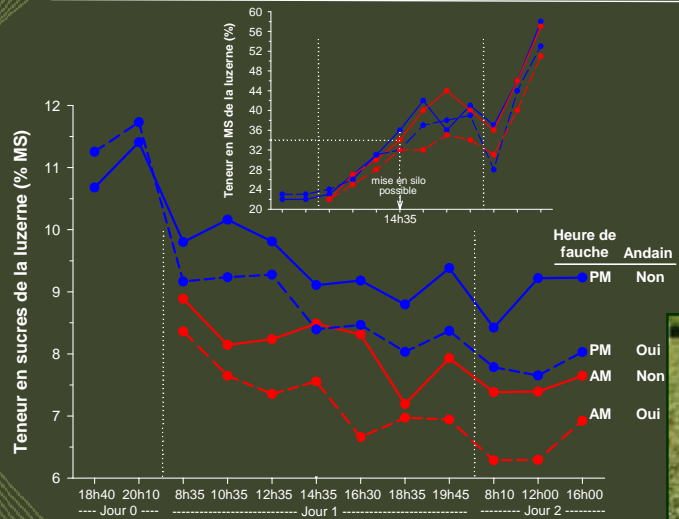


Photo: C. Morin

Morin et al., 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

Variations de la teneur en sucres au cours du préfanage de la luzerne

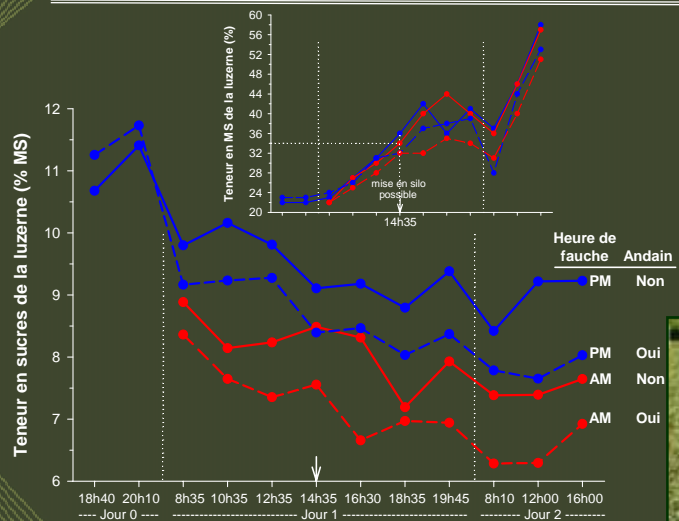
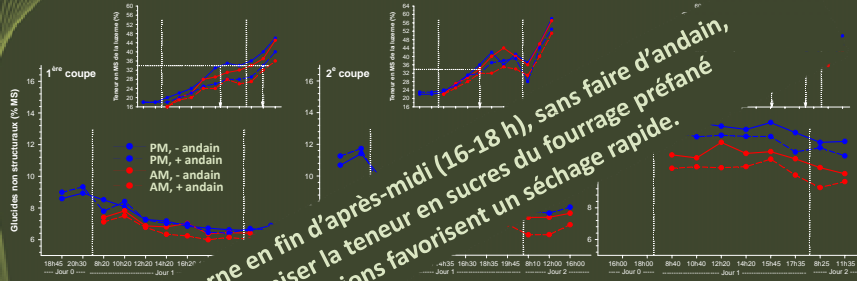


Photo: C. Morin

Morin et al., 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

Variations de la teneur en sucres au cours du préfanage de la luzerne



Faucher la luzerne en fin d'après-midi (16-18 h), sans faire d'andain, permet de maximiser la teneur en sucres du fourrage préfané lorsque les conditions favorisent un séchage rapide.



Photo: N. Gentesse



Morin *et al.*, 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

Taux de photosynthèse au cours du préfanage de la luzerne

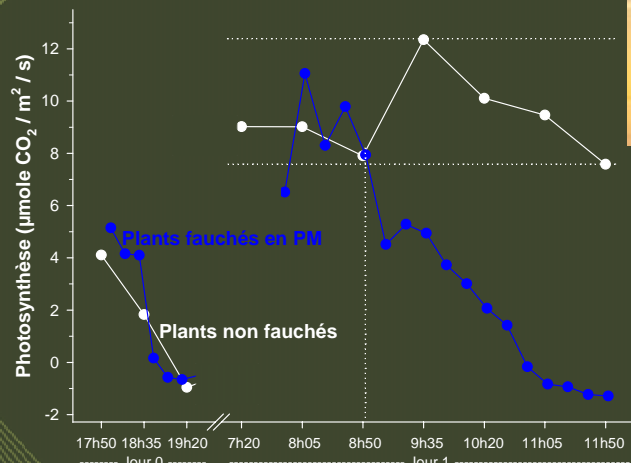
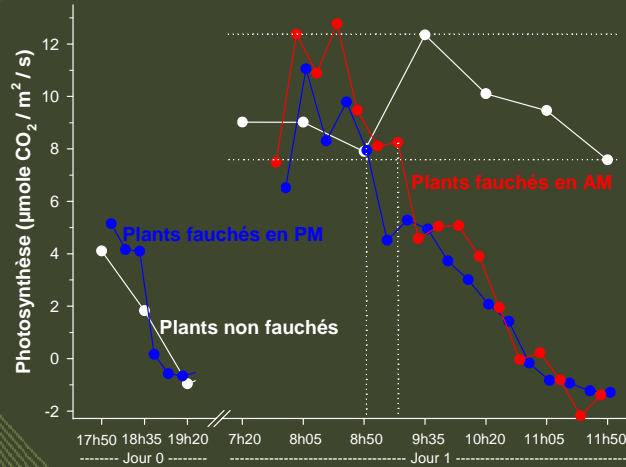


Photo: C. Morin

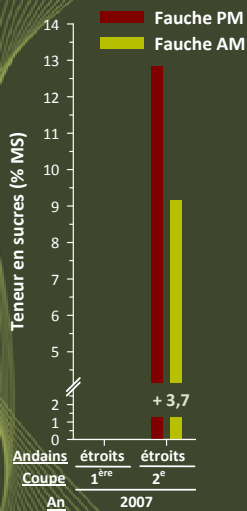
Morin *et al.*, 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

Taux de photosynthèse au cours du préfanage de la luzerne

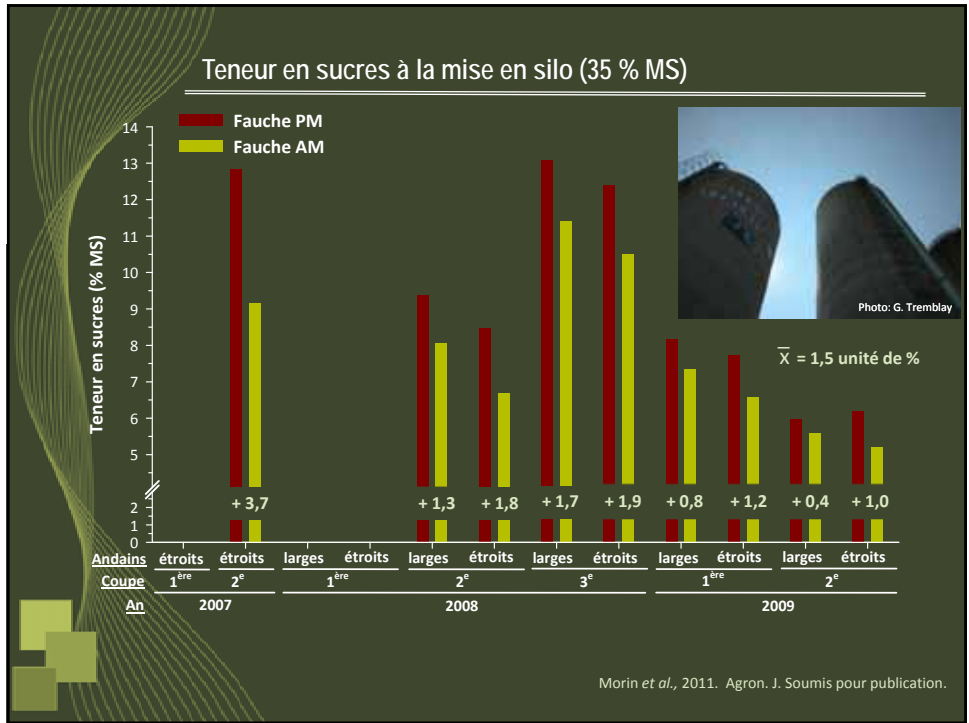


Morin *et al.*, 2011. Agron. J. Soumis pour publication.

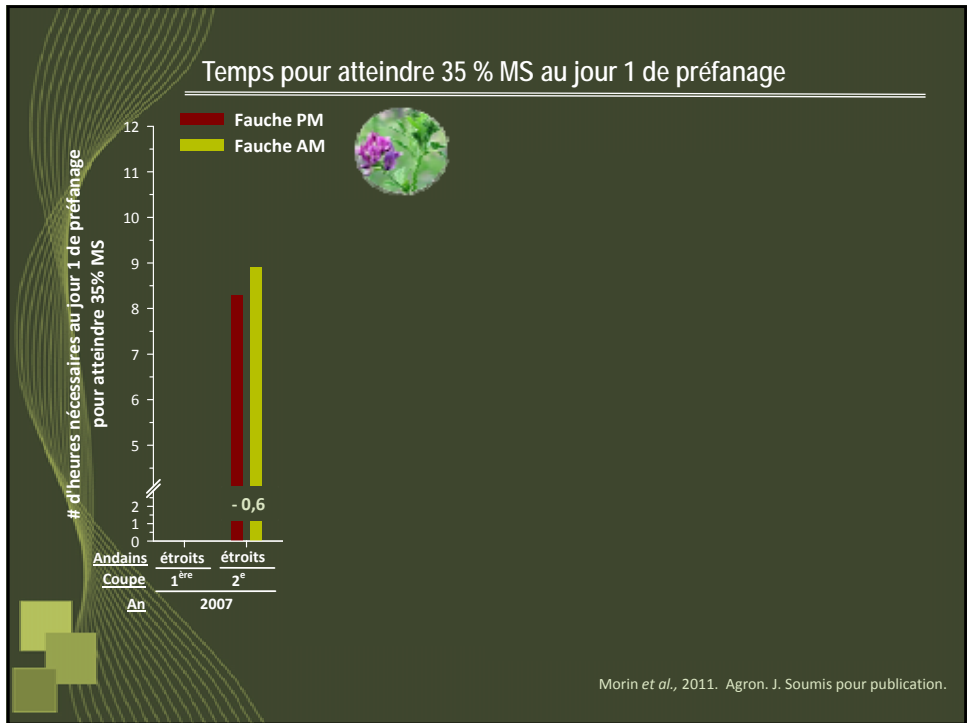
Teneur en sucres à la mise en silo (35 % MS)



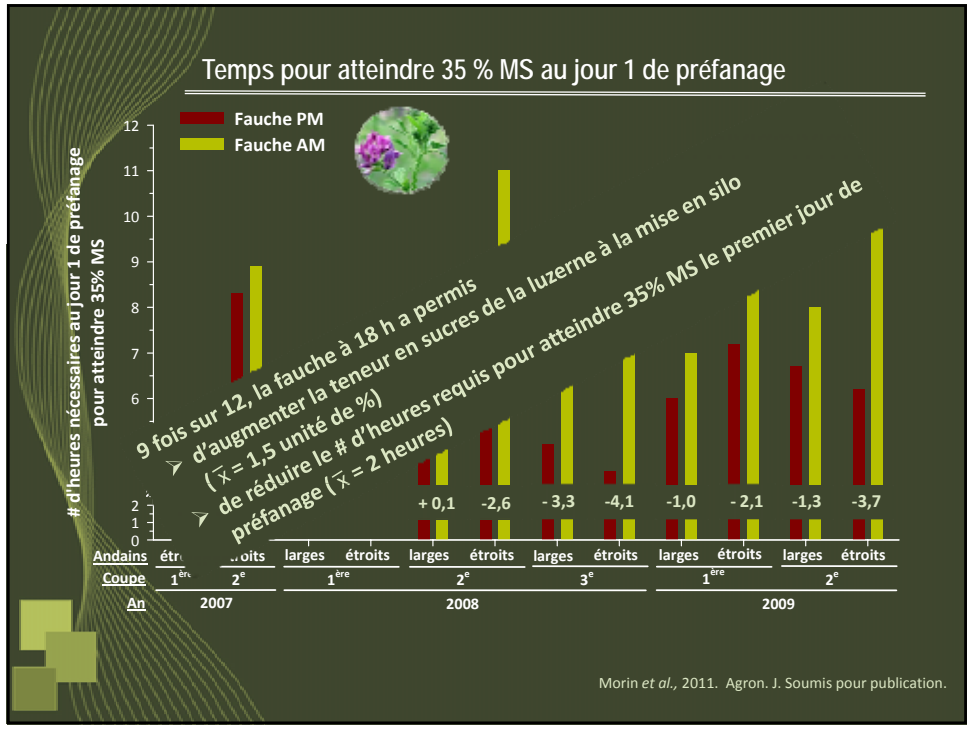
Morin *et al.*, 2011. Agron. J. Soumis pour publication.



Morin *et al.*, 2011. Agron. J. Soumis pour publication.



Morin *et al.*, 2011. Agron. J. Soumis pour publication.



OBJECTIFS

- 1) Identifier des pratiques culturales qui favorisent l'accumulation d'énergie dans les fourrages
 - 1.1) Variations journalières des sucres
 - 1.2) Fauche PM vs AM chez 8 espèces
 - 1.3) Sélection génétique
 - 1.4) Sucres au cours de la croissance

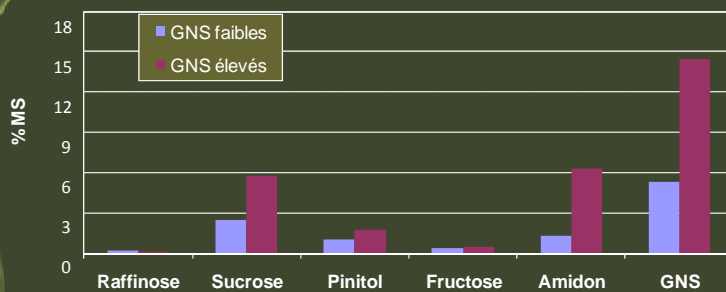
La fauche PM sans andainage et le choix de l'espèce peuvent être utilisés pour augmenter la teneur en sucres du fourrage de 2-4 unités de %.

OBJECTIFS

2) Évaluer l'impact d'un fourrage riche en énergie sur la digestibilité *in vitro* de la MS et la synthèse de protéines microbiennes, de même que sur l'ingestion, l'efficacité d'utilisation de l'N et les performances de la vache laitière



Mélange de plants de luzerne contrastés en sucres



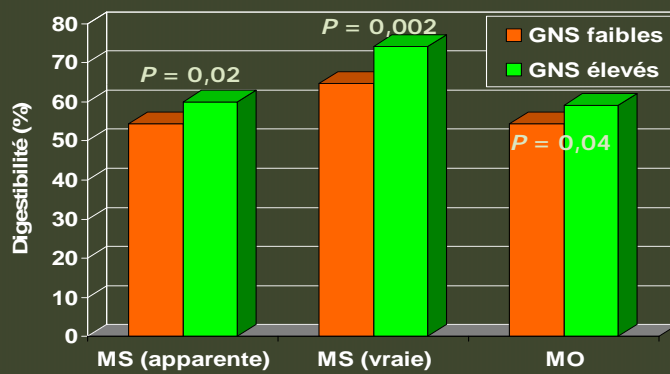
- Teneur en sucres pratiquement 3 fois plus élevée
- Principalement dû au sucrose et à l'amidon



Système *in vitro* de 6 unités à double effluents

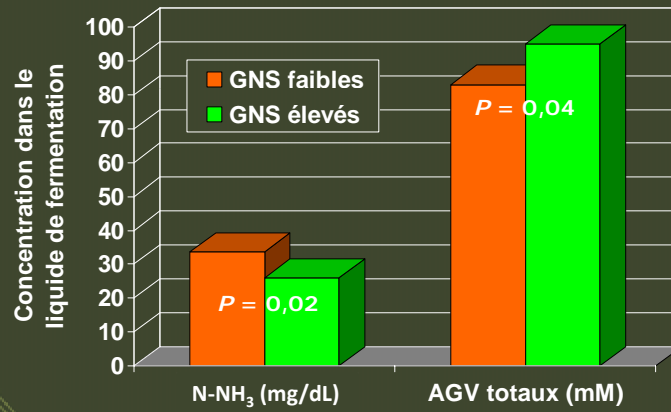
Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693

Digestibilité *in vitro* des plants de luzerne à sucres faibles et élevés



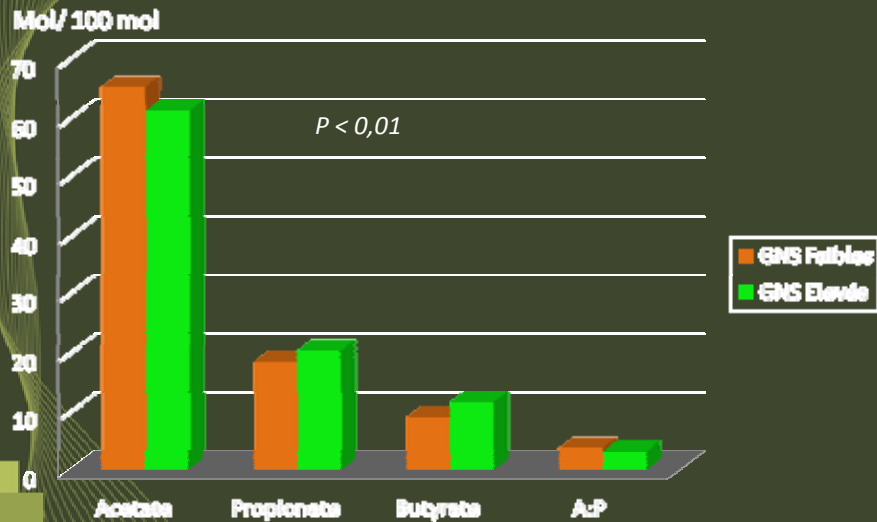
Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693.

Métabolisme ruminal lors d'incubation *in vitro* de plants de luzerne à sucres faibles et élevés



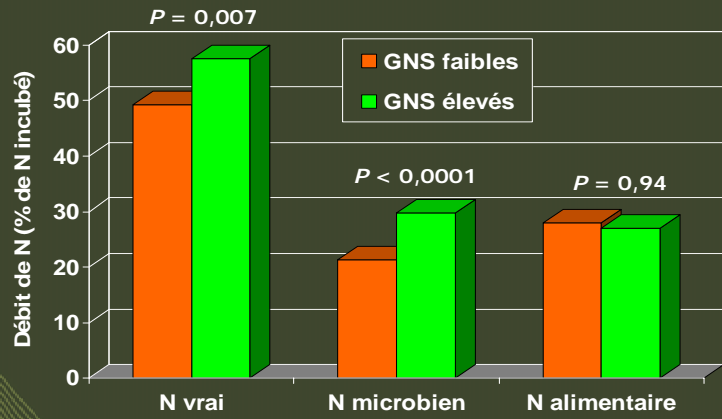
Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693

Métabolisme ruminal de l'énergie lors d'incubation *in vitro* de plants de luzerne à sucres faibles et élevés



Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693

Métabolisme ruminal de l'azote lors d'incubation *in vitro* de plants de luzerne à sucres faibles et élevés



Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693

Autres essais *in vitro*

	GNS (% MS)	Digestibilité (%)	NH ₃ -N (mg/dL)	A:P
Luzerne 0 vs 12 heures d'éclairage Berthiaume <i>et al.</i> , 2006	+ 6,2	+ 2,0	- 0,6	- 1,6
Fléole à teneur en GNS faible vs. élevée Hassanat <i>et al.</i> , 2009	+ 4,1	- 1,8	- 2,0	- 0,2
Lotier PM macéré vs Lotier AM macéré Berthiaume <i>et al.</i> , 2010	+ 1,2	+ 1,6	- 0,5	- 0,3

Berthiaume *et al.*, 2006. J. Dairy Sci. 91: 3968
 Hassanat *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 91: 3968
 Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693
 Berthiaume *et al.*, 2010. Can. J. Anim. Sci. 92: 1092

Résumé – Essais *in vitro*

- Une ↑ de la teneur en sucres cause :
 - Une ↑ de la digestibilité vraie de la MS (3 essais/4)
 - Une ↓ de la concentration de NH_3 , et
 - Une ↓ du ratio acétate:propionate (A:P) du liquide ruminal

Berthiaume *et al.*, 2006. J. Dairy Sci. 91: 3968
Hassanat *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 91: 3968
Berthiaume *et al.*, 2010. J. Dairy Sci.: 693
Berthiaume *et al.*, 2010. Can. J. Anim. Sci. 92: 1092

OBJECTIFS

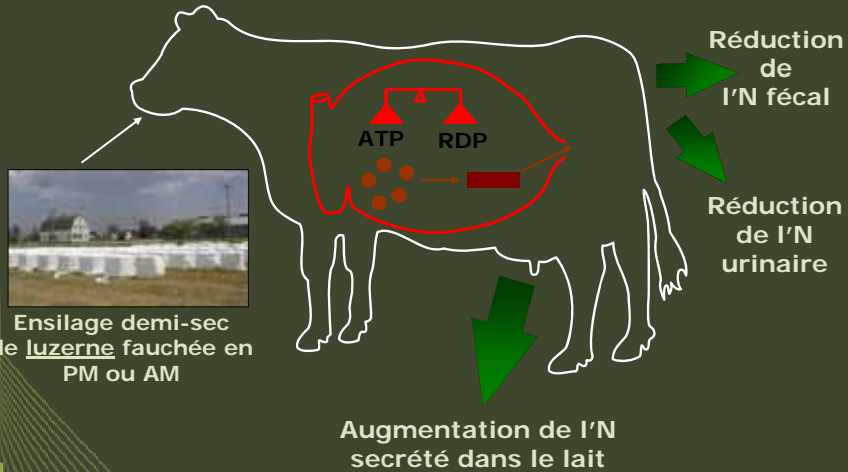
- 2) Évaluer l'impact d'un fourrage riche en énergie sur la digestibilité *in vitro* de la MS et la synthèse de protéines microbiennes, de même que sur l'ingestion, l'efficacité d'utilisation de l'N et les performances de la vache laitière



Expérience en fin de lactation



- 16 vaches laitières en fin de lactation (8 canulées)



Brito *et al.*, 2008. J. Dairy Sci. 91: 3968; Brito *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 92: 1092

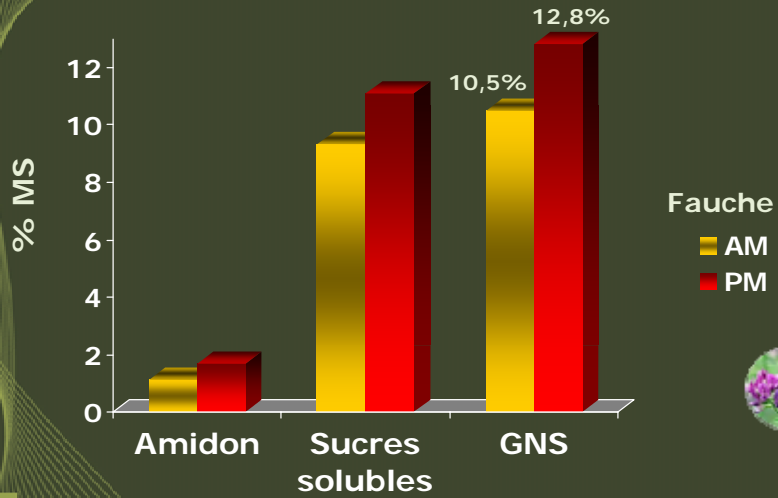
Expérience en fin de lactation



- *Crossover* avec périodes de 24 jours
- Luzerne fauchée en fin d'après-midi (PM) d'une journée ensoleillée ou tôt le lendemain matin (AM)
- Fourrage préfané au champ et conservé en ensilage demi-sec dans de grosses balles rectangulaires enrobées
- Ensilage servi une fois par jour



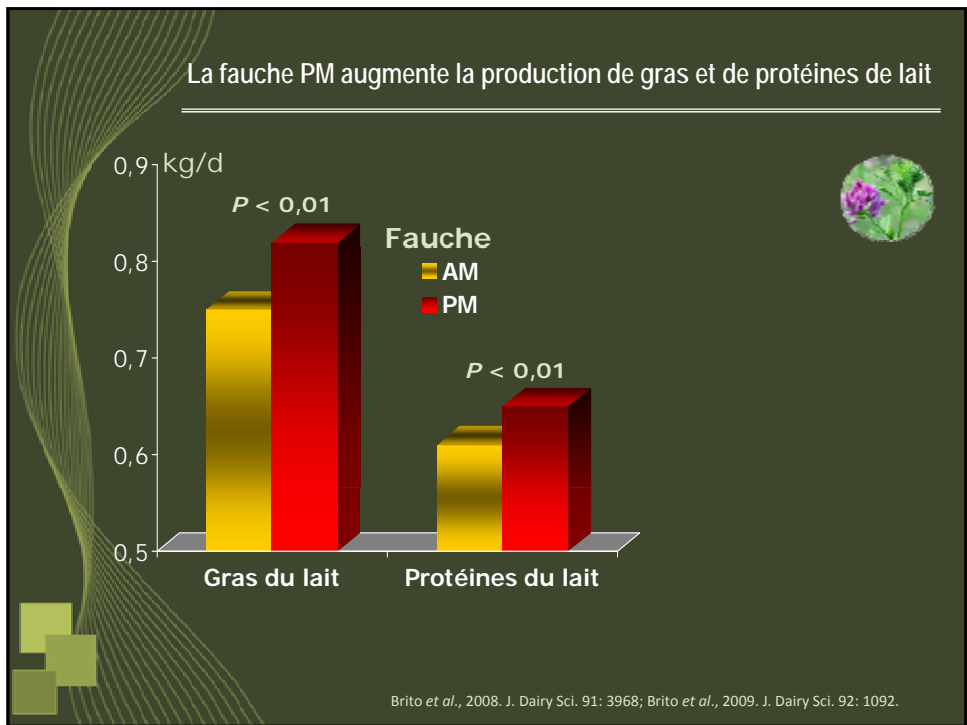
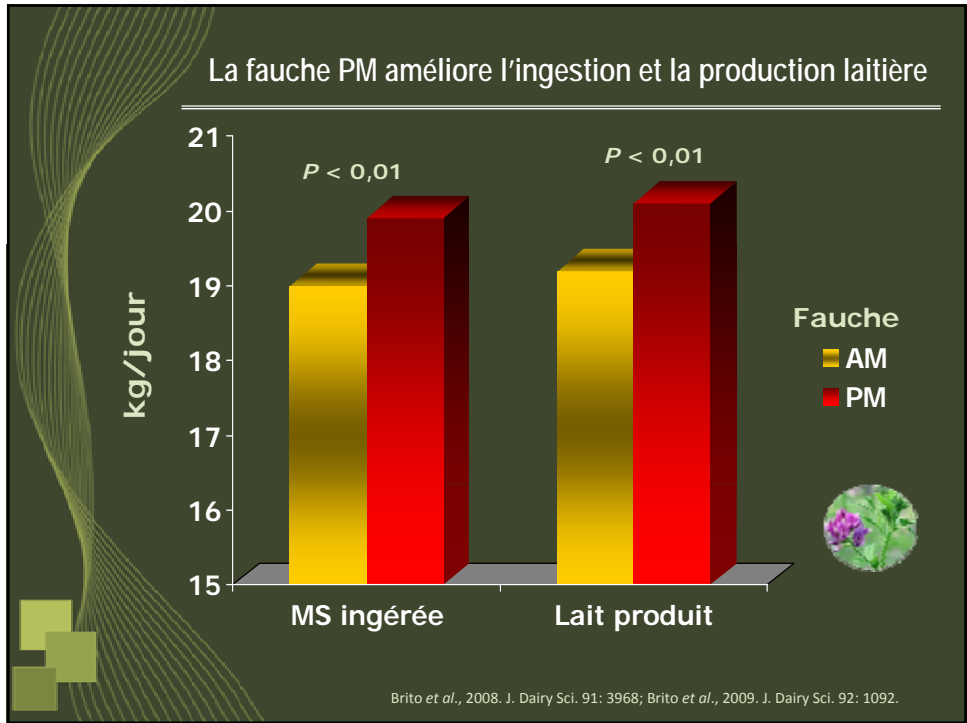
La fauche PM augmente la teneur en sucres de l'ensilage demi-sec de luzerne

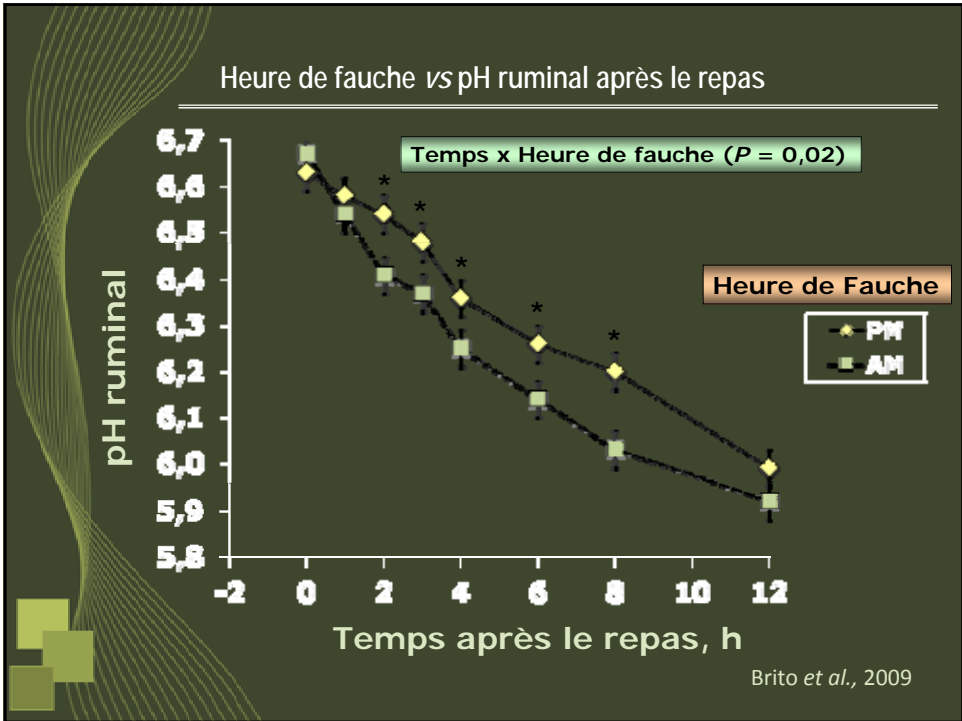
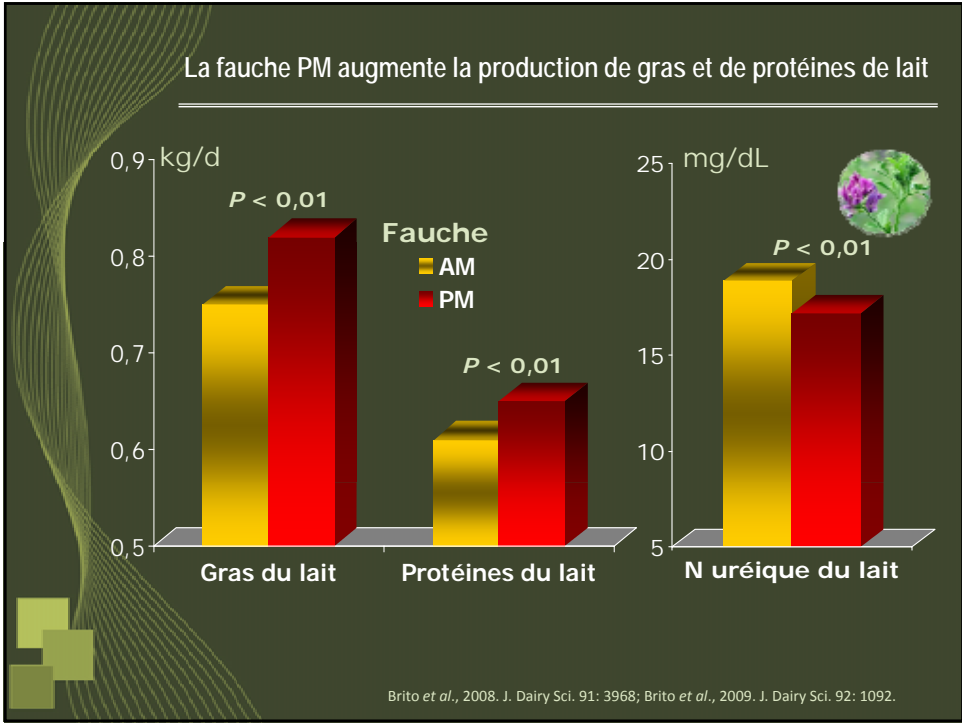


Brito *et al.*, 2008. J. Dairy Sci. 91: 3968; Brito *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 92: 1092.

Composition chimique des ensilages

Item	Ensilages	
	AM	PM
MS, %	53	53
PB, % MS	20	19
NDF, % MS	41	39
ADF, % MS	37	35
Cendres, % MS	12	11





Effet de l'heure de fauche sur le contenu ruminal

Item	Ensilages demi-secs			
	AM	PM	SEM	P
pH	6,34	6,41	0,04	0,09
AGV totaux, mM	91,6	87,9	1,27	0,02
AGV, mol/100 mol				
Acétate (A)	72,8	72,2	0,16	0,02
Propionate (P)	17,2	17,4	0,15	0,15
Butyrate (B)	6,89	6,95	0,10	0,61
A:P	4,27	4,17	0,04	0,05

Brito *et al.*, 2008. J. Dairy Sci. 91: 3968; Brito *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 92: 1092.

Effet de l'heure de fauche sur le débit omasal de l'azote

Item	Ensilages demi-secs			
	AM	PM	SED	P
N ingéré (NI), g/j	574	560	12,2	0,30
Débit omasal, g/j				
N total	452	444	12,7	0,56
N bactérien	311	332	4,8	<0,01
N alimentaire	141	112	8,7	0,02
N dans le lait/NI	16,8	18,2	0,34	<0,01

Brito *et al.*, 2008. J. Dairy Sci. 91: 3968; Brito *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 92: 1092.

Résumé – Essai en fin de lactation

- Une ↑ de 2,3 unités de % de la teneur en sucres due à une fauche PM de la luzerne lorsque la ration contient aucun concentré cause :
 - une ↑ de l'ingestion et de la production de lait
 - une ↓ du N uréique du lait
 - une ↑ du pH ruminal
 - une ↓ du ratio Acétate:Propionate
 - une ↑ du débit omasal de N bactérien, et
 - une ↑ du % de N ingéré qui va dans le lait

Brito *et al.*, 2008. J. Dairy Sci. 91: 3968; Brito *et al.*, 2009. J. Dairy Sci. 92: 1092.

Autres essais *in vivo*

	GNS (% MS)	MS ingérée (kg/j)	Lait (kg/j)	N uréique du lait (mg/dL)
Fauche PM vs AM				
Début de lactation (luzerne) Brito <i>et al.</i> , 2009	+ 0,7	0	- 0,9	- 0,1
Milieu de lactation (fléole) Brito <i>et al.</i> , 2010	+ 0,9	+ 0,7	+ 1,4	0
Ray-grass riche vs pauvre en sucre				
Début de lactation Moorby <i>et al.</i> , 2006	+ 6,9	+ 2,2	+ 2,3	- 3,0
Fin de lactation Miller <i>et al.</i> , 2001	+ 3,1	+ 0,9	+ 2,7	- 6,0



CONCLUSIONS

- La fauche en PM d'une journée ensoleillée et la mise en andains larges peuvent être utilisées afin d'augmenter la teneur en sucres des fourrages (+ 2 à 4 unités de %).
- Le choix de l'espèce fourragère et la sélection génétique peuvent aussi être considérés.
- Une augmentation d'au moins 1 unité de % de la teneur en sucres des fourrages améliore l'ingestion et le production laitière chez la vache.
- L'augmentation de la production laitière peut atteindre 8 %; elle varie en fonction du stade de lactation et de la proportion de fourrage sucré dans la ration.

Merci!

Partenaires financiers

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)
 - Merci aux assistants de recherche

Merci!

Partenaires financiers

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC)
- Programme de recherche orientée et transfert technologique pour l'innovation en production et en transformation laitières (2007-2010)



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Québec

- Fonds de recherche sur la nature et les technologies (FRNT)
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)



robert.berthiaume@agr.gc.ca
gaetan.tremblay@agr.gc.ca