

« Temps » qu'à produire du lait!

30 novembre 2008, Drummondville

---

# Le traitement des fourrages, de la récolte à la vache

**Jean BRISSON**, agronome, expert en production laitière,  
équipe Recherche et Développement

Valacta  
Sainte-Anne-de-Bellevue

*Conférence préparée avec la collaboration de :*

**Robert BERTHIAUME**, Ph.D., agronome  
Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc  
Sherbrooke (secteur de Lennoxville)

**Réal MICHAUD**, Ph.D.  
Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures  
Québec

**Philippe SAVOIE**, Ph.D., agronome, ingénieur  
Agriculture et Agroalimentaire Canada et Université Laval, Québec

---

Cette conférence a été présentée lors de l'événement et a été publiée dans le cahier des conférences.

Pour commander le cahier des conférences\*, consultez [le catalogue des publications du CRAAQ](#)

\*Disponible pour un temps limité.

# Le traitement des fourrages, de la récolte à la vache

## INTRODUCTION

Pour nourrir leurs troupeaux, les producteurs laitiers québécois produisent environ 2,4 millions de tonnes de matière sèche en fourrages par année. Au coût de production, on parle d'une valeur dépassant 400 millions de dollars. Les plantes fourragères font tourner l'économie, embellissent le paysage au grand plaisir de l'industrie touristique, contribuent à la conservation des sols et valorisent les fumiers, sans compter qu'elles permettent de valoriser des sols impropres à la production de céréales. Une fois digérées par la vache, les plantes fourragères procurent à l'humain les plaisirs de la table avec la multitude de produits laitiers qu'on y retrouve. Le thème « De la terre à la table », popularisé depuis quelques années au Québec, décrit bien la contribution de l'agriculture au mieux-être de la population. On peut faire un parallèle avec les plantes fourragères. Un thème du genre « Du champ à la mangeoire » ou encore « Du champ au réservoir » pourrait regrouper la série de décisions à prendre, d'actions à poser par le producteur laitier avant même de sortir la faucheuse, jusqu'au moment où la vache décide de manger le fourrage qui lui est servi. La plante fourragère ne donnera son plein rendement, autant technique qu'économique, que si la vache la consomme et en tire les nutriments pour combler ses besoins. La plante fourragère pourrait être convertie en un fourrage trop humide ou trop sec, haché trop court ou trop grossièrement, enrobé trop tard, pas suffisamment compacté, pas suffisamment ventilé. La présente conférence vise à réviser quelques-uns des points critiques associés à la récolte, à l'entreposage et à la distribution des fourrages.

## RÉCENTS DÉVELOPPEMENTS DANS LE SECTEUR DES ÉQUIPEMENTS

Le modèle nord-américain de production exige la récolte et l'entreposage de fourrages pour une période prolongée, ce qui diffère du modèle de la Nouvelle-Zélande, par exemple, où le pâturage constitue la majorité des aliments servis à la vache laitière. Au chapitre des équipements de récolte, le secteur manufacturier nord-américain est mené par trois grands segments : laitier, bœuf et cheval.

Le secteur des chevaux est relativement petit et pourtant très significatif. Sans lui, le marché des petites faucheuses conditionneuses et des presses à petites balles serait beaucoup moins développé. Selon Shinnars (2006), en 2004, la valeur américaine de la production de bœuf se chiffrait à 62,8 milliards de dollars et la production laitière à 27,5 milliards de dollars.

Malgré la taille de l'industrie, la ferme typique dans le bœuf est de petite taille et n'est pas super équipée. Le secteur représente près de la moitié du marché des équipements à fourrages. Ces fermes achètent des faucheuses, des râteaux, et spécialement des presses à balles rondes.

Les producteurs laitiers, quant à eux, visent une production maximale et ils ont tendance à investir davantage dans les équipements et les infrastructures pour produire des fourrages de qualité. Est-ce qu'ils investissent trop pour les volumes de fourrages à récolter? Les conseillers en gestion ont des données intéressantes permettant de répondre à cette question. Le secteur laitier fait tourner les équipements, tels que faucheuse conditionneuse, faucheuse andaineuse, fourragère, doubleur d'andain et presse à grosse balle rectangulaire.

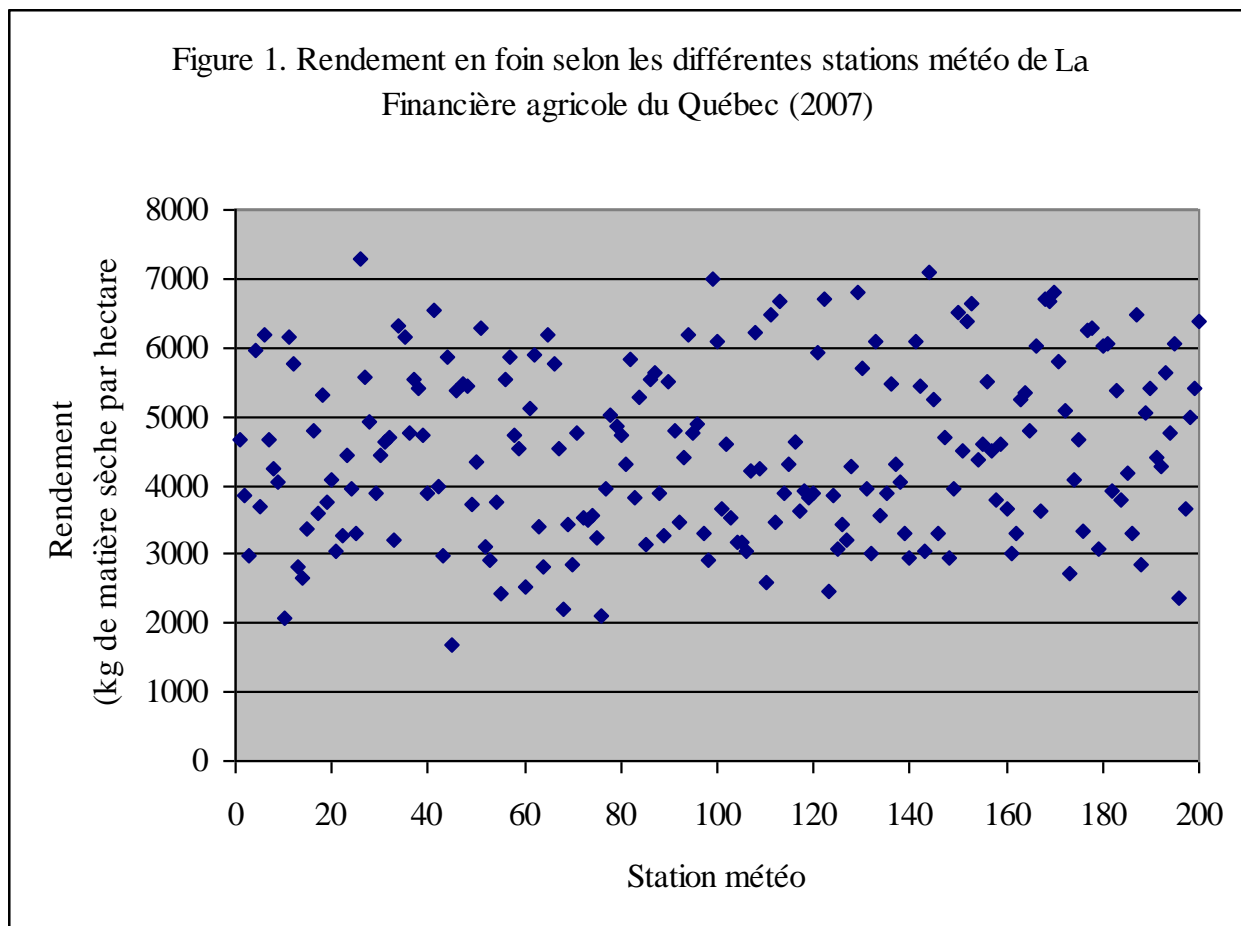
En 10 ans, le nombre de fermes laitières a chuté de 58 % aux États-Unis comparativement à 14 % pour les fermes de bœuf. Durant cette période, les ventes de fourragères traînées, secteur mené par le laitier, ont chuté de 40 % alors que les ventes de presses à balles rondes, secteur mené par le bœuf, n'a chuté que de 10 %. La production de lait par vache ne cesse d'augmenter et la production de fourrages de qualité est une nécessité pour espérer de bonnes performances.

Le marché américain des équipements à fourrages est de 1,2 milliard de dollars par année, avec 45 % pour le bœuf, 40 % pour le laitier et 15 % pour le cheval. Il y a dix ans, les faucheuses à barre de coupe représentaient 65 % du marché des faucheuses. Aujourd'hui, les faucheuses à disques représentent 70 % de ce marché. C'est clairement un message d'efficacité, puisque la faucheuse à disques peut faucher jusqu'à 50 % plus rapidement. Les ventes de fourragères traînées sont d'environ 60 %, ce qu'elles étaient il y a 10 ans, alors que les ventes de fourragères automotrices ont augmenté de presque 50 %. En 1995, la plus grosse fourragère pouvait récolter six rangs de maïs. Aujourd'hui, des machines peuvent récolter dix rangs. Pour sa part, le marché des presses à balles rondes a peu bougé depuis dix ans. Celui des presses à grosses balles rectangulaires a augmenté de 25 % pour la même période. Enfin, le marché des petites balles n'a chuté que de 15 % en dix ans, principalement à cause du marché des chevaux. On peut s'attendre à d'autres développements dans le secteur des équipements à fourrages pour répondre aux besoins des producteurs laitiers. Ajustement de la longueur de hachage à partir du siège de l'opérateur, mesure électronique du rendement, analyseur d'humidité intégré directement sur la machine sont quelques-uns des outils qu'on verra apparaître sur le marché. Efficacité des chantiers et qualité de la récolte sont à l'avant-plan et motivent ces innovations. L'efficacité énergétique des chantiers risque également de devenir un facteur très important.

## **LA PRODUCTION DE FOURRAGES**

Le potentiel fourrager du Québec est remarquable. On n'a qu'à penser à la pluviométrie. Les risques de sécheresse prolongée sont faibles, quoique pas inexistantes. Les producteurs de l'est se rappelleront l'absence de 2<sup>e</sup> coupe en 2005. Mais, en temps normal, pas besoin d'irriguer pour que ça pousse. La résistance au gel hivernal demeure un enjeu important pour certaines espèces, mais les chercheurs y travaillent. La pluie est un atout majeur pour la croissance, mais elle vient souvent compliquer la récolte. Les précipitations abondantes ont également tendance à acidifier les sols et à lessiver certains éléments fertilisants.

Le potentiel de rendement n'est évidemment pas celui de la Californie, parce que notre saison de croissance ne permet pas de faire 7 ou 8 coupes. Au Québec, les rendements sont très variables d'une région à l'autre. La figure 1 présente les données de rendement en foin de La Financière agricole du Québec en fonction des différentes stations météo réparties sur l'ensemble du territoire. Les écarts sont considérables, allant de 1000 kg à plus de 6000 kg de matière sèche à l'hectare. Rapportés sur la base du nombre de balles (15 kg par balle), les rendements vont de 80 balles par hectare (32 balles par acre) à 460 balles par hectare (186 balles par acre). Certains producteurs font jusqu'à quatre coupes alors que d'autres n'en font qu'une. Les données météorologiques hebdomadaires de La Terre de chez nous quantifient les énormes écarts qu'il y a au niveau de la saison de croissance. Au 16 juin, le mil qui pousse dans une région qui a accumulé 350 unités thermiques mais effectives ne suscite pas le même sentiment d'urgence à couper que celui qui pousse dans une région qui a accumulé 900 unités à la même date...



Le choix de l'espèce influence grandement le potentiel de rendement annuel. Les différences sont souvent plus notables en 2<sup>e</sup> coupe. On n'a qu'à regarder la repousse 10 jours après la 1<sup>re</sup> coupe lorsqu'on n'a pas eu de précipitations significatives pour une couple de semaines. La luzerne et le dactyle sont bien repartis alors que le mil ne bouge pas. Compte tenu de la

grande popularité du mil, est-ce que les prairies québécoises sont aussi diversifiées que les prairies d'autres régions du nord-est du continent américain? Certaines espèces comme le ray-grass, la fétuque élevée, le brome inerme, le brome des prés ou l'alpiste roseau devraient-elles occuper de plus grandes superficies? Pour le ray-grass, il faudrait d'abord trouver des variétés qui survivent à nos hivers. C'est une plante qui a fait ses preuves en Europe, mais qui dépend beaucoup des fertilisants azotés et donc des prix du pétrole...

La fétuque élevée est utilisée massivement dans le « fescue belt », mais les producteurs ont de gros problèmes avec les endophytes (champignons). Il serait intéressant d'avoir l'avis de spécialistes du secteur.

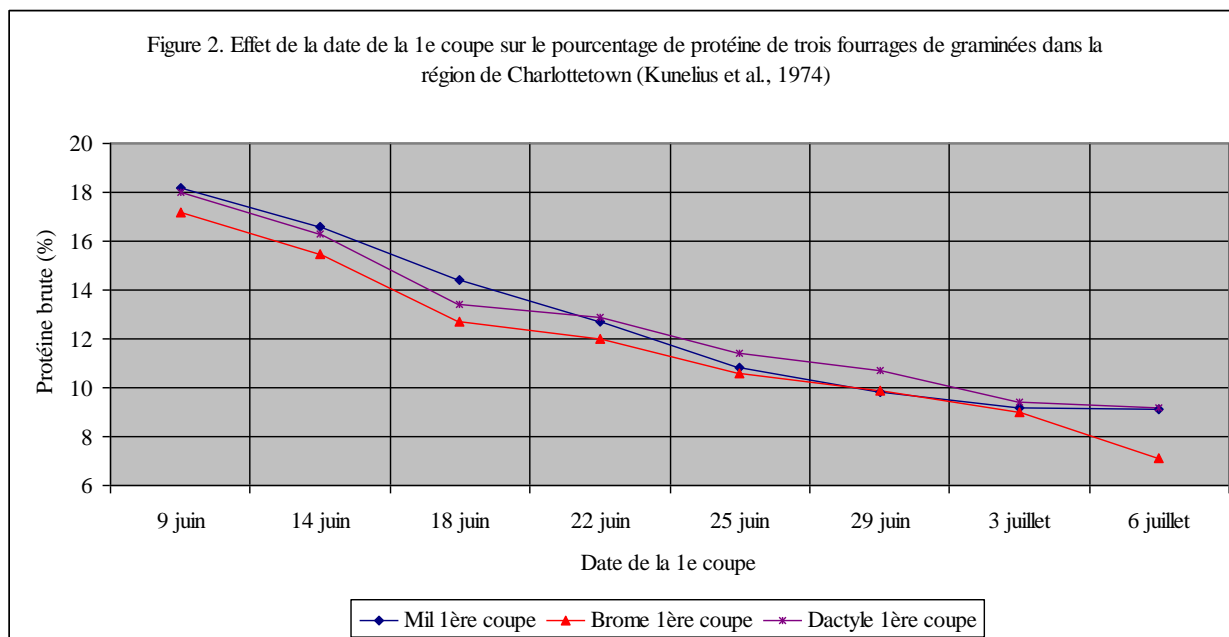
Les pratiques culturales, notamment la fertilisation, ont un impact significatif sur le rendement, mais aussi sur le potentiel à donner des fourrages bien conservés. Il ne faut pas sous-estimer les risques associés à l'application de fumier solide sur des prairies dont les fourrages doivent éventuellement être ensilés. Il est de la plus haute importance de minimiser les risques de contamination par le fumier.

## **POUR DES FOURRAGES DE QUALITÉ : LA COURSE CONTRE LA MONTRE**

Pour produire des fourrages de qualité, qu'on le veuille ou non, le temps va toujours jouer contre nous. Et il faut ajouter que la météo va souvent venir compliquer la récolte. Il faut aussi préciser que c'est encore plus critique pour la 1<sup>re</sup> coupe. C'est celle qui fournit la plus grande part du rendement et c'est celle pour laquelle la qualité diminue le plus rapidement avec l'avancement de la maturité. On sait que la qualité diminue très rapidement avec l'élongation des tiges, qui donne lieu à l'épiaison. C'est bien connu, la situation est pire chez le dactyle que chez les autres graminées. Or, toutes les graminées recommandées au Québec, à l'exception de la fléole, ne sont pas des plantes remontantes, c.-à-d. qu'elles ne produisent pas d'épiaison après la première coupe. Par conséquent, le regain est essentiellement composé de feuilles dont la qualité diminue peu avec la maturité. Les résultats de l'étude de Kunelius (1974), que nous verrons plus loin, et ceux d'autres études réalisés au Québec, démontrent bien cette situation (Michaud, communication personnelle).

Les précipitations abondantes sont un atout majeur pour la croissance, mais un ennemi redoutable au moment de récolter. Qui n'a pas déjà lu ou entendu un commentaire du genre : « La teneur en protéine du fourrage baisse de 0,5 % par jour de retard »? Les données rapportées aux figures 2 et 3 illustrent clairement le phénomène de la perte de valeur nutritive en fonction du retard à la récolte. Il faut préciser que l'expérience a été réalisée dans la région de Charlottetown. Le mil avait commencé à épier le 22 juin, le brome le 18 juin et le dactyle le 14 juin. L'expérience fait également ressortir le fait qu'il y a des différences entre les espèces, mais elle n'est que de 8 jours entre le mil et le dactyle. Par ailleurs, la pente de la courbe illustrant la perte de digestibilité diffère d'une espèce à l'autre, le dactyle étant particulièrement affecté. Bref, le choix de l'espèce offre peu de latitude pour l'élargissement de la fenêtre de récolte.

L'effet de la date de coupe est nettement moins prononcé pour la 2<sup>e</sup> coupe (Figures 4 et 5), ce qui s'explique par le fait que la saison avance et que les jours sont plus courts. La course contre la montre est donc moins critique en 2<sup>e</sup> coupe qu'en 1<sup>re</sup> coupe dans une région comme celle de Charlottetown. Il va de soi que pour des régions ayant une saison de croissance plus longue, la course contre la montre est moins critique pour la 3<sup>e</sup> coupe que pour la 2<sup>e</sup> ou la 1<sup>re</sup>.



Si l'objectif poursuivi était la composition nutritive maximale, il faudrait couper alors que les plantes sont encore au stade végétatif. Mais à ce stade, il y a beaucoup moins de matériel à faucher. Plus on attend, plus le rendement en matière sèche est élevé, c'est bien connu. Un angle intéressant pourrait être de regarder le rendement maximal en protéine par hectare. Le stade du début épiaison atteint au 22 juin permet d'aller chercher un rendement en protéine à l'hectare proche du maximum (Figure 6). Lorsqu'on examine le rendement en matière sèche digestible (Figure 7), il continue d'augmenter jusqu'au stade floraison, mais l'augmentation est plus marginale à partir du stade épiaison. Si les animaux qu'on avait à alimenter étaient des sujets à l'entretien, comme des vaches de boucherie non allaitantes et à plus de trois mois d'un prochain vêlage, on pourrait être tenté de considérer retarder un peu la 1<sup>re</sup> coupe, surtout si les superficies en culture s'avéraient très limitées. Pour des vaches laitières, la question ne se pose pas parce que, passé un certain seuil, les quantités de concentrés requises sont trop importantes et peuvent aller jusqu'à compromettre la santé de la vache.

Figure 3. Effet de la date de la 1<sup>e</sup> coupe sur la digestibilité de la matière sèche de la 1<sup>e</sup> coupe de trois fourrages de graminées dans la région de Charlottetown (Kunelius et al., 1974)

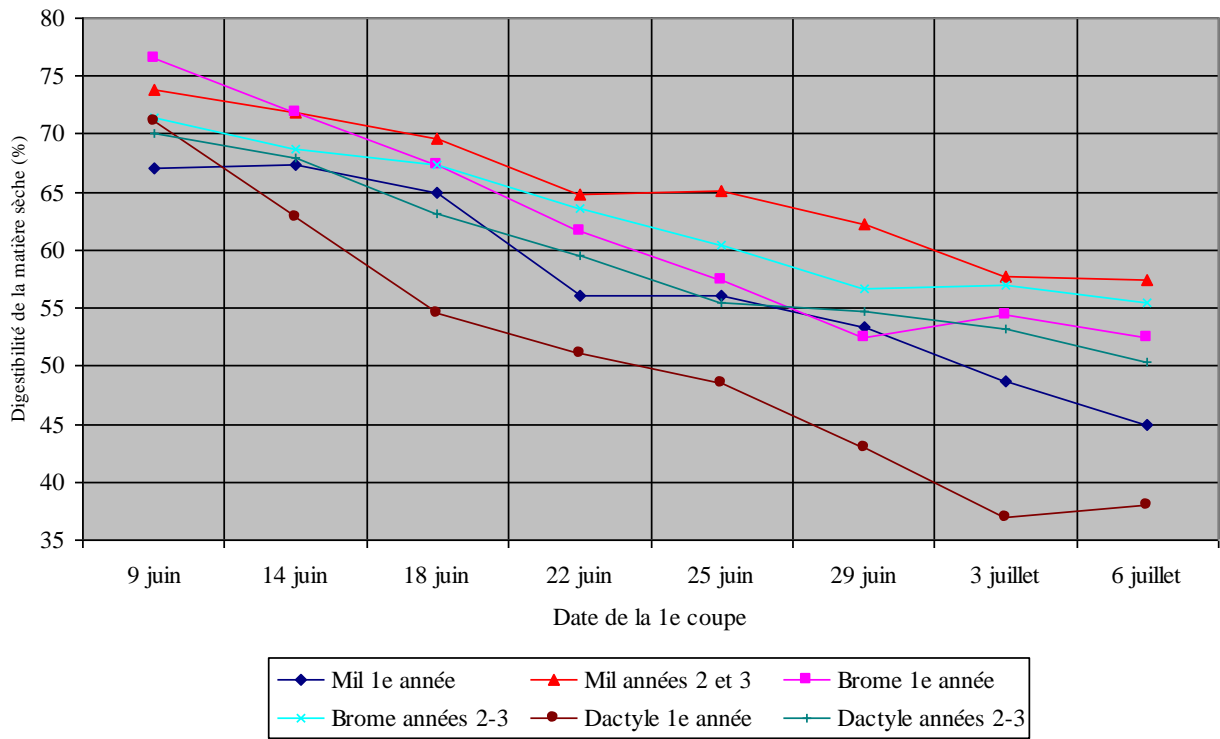


Figure 4. Effet de la régie de coupe sur le pourcentage de protéine de la 2<sup>e</sup> coupe de trois fourrages de graminées dans la région de Charlottetown (Kunelius et al., 1974)

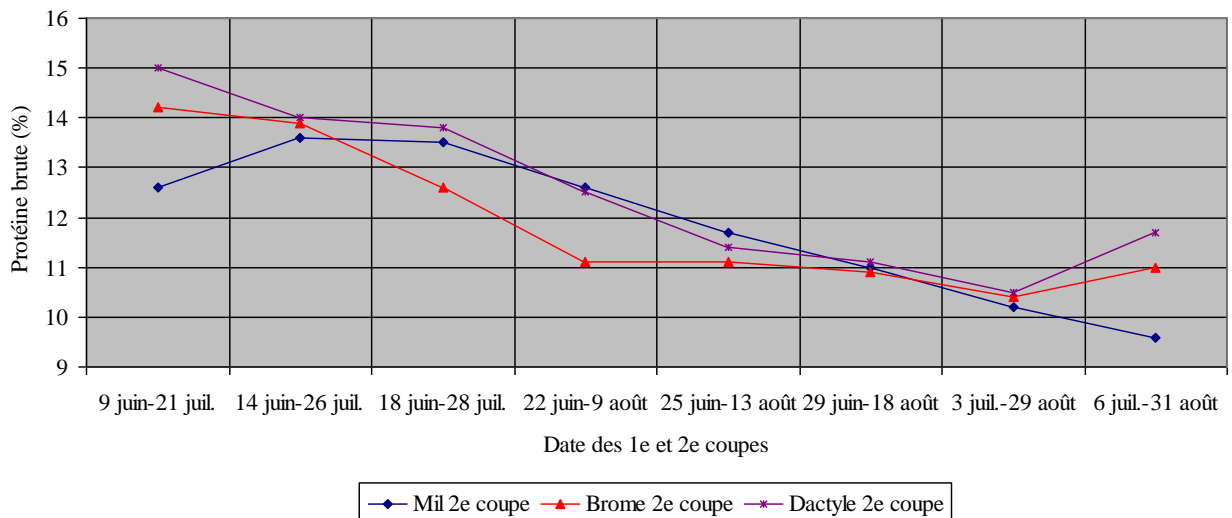


Figure 5. Effet de la date de la 1e coupe sur la digestibilité de la matière sèche de la 2e coupe de fourrages de mil dans la région de Charlottetown (Kunelius et al., 1974)

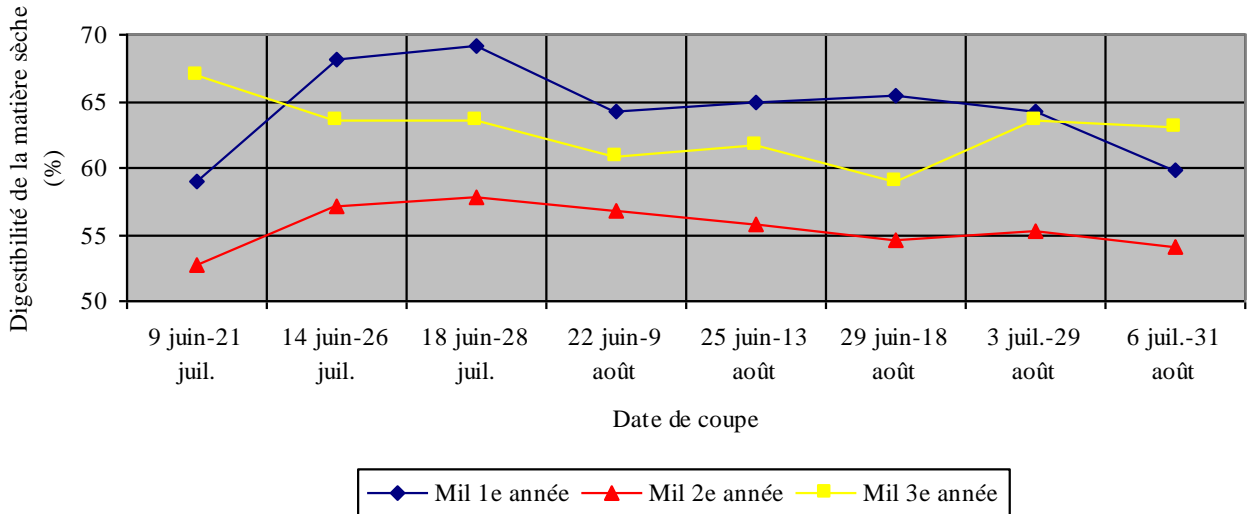


Figure 6. Effet de la régie de coupe sur le rendement en protéine du mil dans la région de Charlottetown (Kunelius et al., 1974)

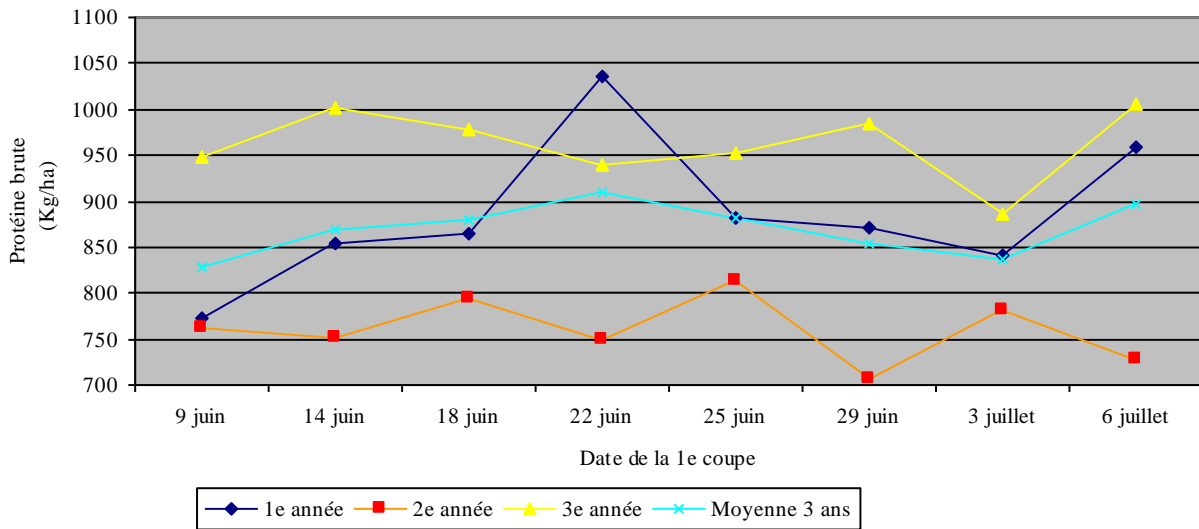
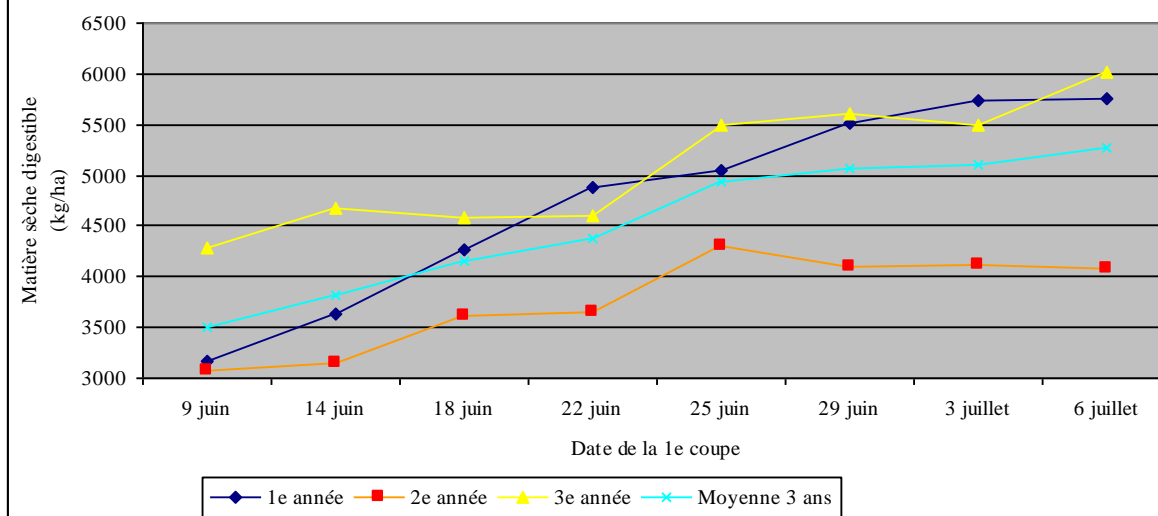




Figure 7. Effet de la régie de coupe sur le rendement en matière sèche digestible du mil dans la région de Charlottetown (Kunelius et al., 1974)



Pour maximiser la qualité des fourrages récoltés, il faut donc faire le plus rapidement possible et raccourcir au maximum la période de récolte et encore plus pour la 1<sup>re</sup> et possiblement pour la 2<sup>e</sup> coupe. Une autre raison pour faire vite : le mode d'entreposage. Le silo vertical, le silo couloir et la meule, qu'on met 10 jours à remplir, sont tous à très haut risque de perte de valeur nutritive, de gaspillage et de mauvaise conservation. Pourquoi? Simplement parce que la proportion du volume total exposé à l'air pour une période de plusieurs heures, voire plusieurs jours, est très significative. L'examen visuel de l'ensilage dans le silo vertical ne permet pas de juger de la perte parce que, souvent, le désileur mélange l'ensilage de la fin d'un chantier avec celui du début de l'autre. Dans le silo couloir, il n'est pas rare de voir une ou plusieurs couches plus foncées et même moisies superposées à différentes hauteur dans le silo, résultat d'une interruption du chantier pour une période parfois aussi courte que 24 ou 48 heures. D'autres systèmes fourragers peuvent plus facilement tolérer une interruption parce qu'ils permettent la réalisation de plus petits lots. Le boudin de balles rondes ou de grosses balles rectangulaires et le silo presse fermé dans la même journée offrent cette flexibilité. Ce n'est pas une raison pour retarder à cause de l'avancement de la maturité.

## LE CHANTIER

Puisqu'il faut faire vite, il est pertinent d'examiner la capacité de notre système de récolte, pour voir s'il opère à son plein rendement, et également pour voir s'il y aurait des améliorations permettant même de l'augmenter. Prenons un système que tout le monde connaît : les petites balles rectangulaires. Nous avons une machine avec lance-balle qui peut presser 400 balles à l'heure, trois voitures d'une capacité de 200 balles, un trajet moyen qui prend 15 minutes aller-retour. La personne qui fait le transport décharge le voyage et une seule personne place dans la grange. Le déchargement prend en moyenne 45 minutes.

Quelle est la capacité maximale d'un tel chantier pour une journée favorable? Chanceux, on a pu commencer à presser à 13 h et la rosée n'est tombée qu'à 20 h. Cela donne 7 heures de pressage si personne n'a eu à arrêter pour la traite. À 20 h, on a neuf voyages qui sont pressés et à 22 h, les trois voitures sont vides. Cela donne 1 800 balles et une grosse journée d'ouvrage si tout s'est déroulé comme prévu. Si cette ferme a besoin de récolter 18 000 balles en 1<sup>re</sup> coupe, quelles sont les chances que tout soit rentré entre la 1<sup>re</sup> fauche le 14 juin et la Saint-Jean Baptiste? Proches de zéro n'est-ce pas? Le chantier pourrait-il être plus efficace? La presse n'est pas le facteur limitant puisqu'elle peut presser 400 balles à l'heure. Le transport est-il limitant? Non, puisqu'il peut faire 800 balles à l'heure. Le déchargement est le point critique. Pourrait-il y avoir plus de monde afin de réduire de moitié le temps de déchargement? La capacité actuelle est de 267 balles par heure (200 balles en 45 minutes) à la condition que les voyages soient alignés sans interruption. Faut-il rajouter une personne? Deux personnes? S'il était possible d'augmenter la capacité du chantier à 2 800 balles par jour, on augmenterait les chances d'avoir tout rentré pour la Saint-Jean Baptiste. Malgré tout, on serait encore loin de 95 % de chances parce qu'une telle organisation exige sept jours de pressage... Au cours des dix dernières années, combien de fois est-ce arrivé d'avoir 7 jours de bonnes conditions de pressage entre le 14 et le 24 juin? Et si la ferme avait besoin de 30 000 balles de 1<sup>re</sup> coupe...

Les développements récents dans le secteur de la machinerie et des équipements ont ouvert d'énormes possibilités. Les séchoirs à foin installés par milliers dans les granges à foin du Québec dans les années 1970-1980 ont permis de raccourcir le temps de séchage au champ. Le système d'entreposage sous forme d'ensilage a multiplié les possibilités. Il est même possible dans certaines conditions de faucher et de récolter la même journée. La récolte de fourrages à 35-50 % de matière sèche est beaucoup plus compatible avec la météo du nord-est du continent que ne l'est la récolte de fourrage à 85 % de matière sèche. On peut commencer à ensiler plus tôt dans la journée, finir plus tard, maximisant les chances de récolter un fourrage coupé au bon stade et qui n'aura pas subi le lessivage d'éléments nutritifs associé inévitablement avec une bonne averse.

Malgré l'énorme potentiel du système de l'ensilage, il y a fort à parier que la capacité de nombreux chantiers pourrait encore être améliorée. Nous prendrons le cas du système d'ensilage haché. Nous pourrions tout aussi bien l'appliquer aux balles rondes ou aux grosses balles rectangulaires.

### **La capacité maximale de la fourragère**

Quatre différents facteurs peuvent limiter la capacité de l'équipement : la puissance, le débit potentiel, la vitesse et la traction. Pour les systèmes où les machines doivent interagir entre elles (comme pour la fourragère, le transport du fourrage et le déchargement), la capacité de certains équipements peut être limitée par d'autres équipements et peut alors entraîner des temps morts.

Des quatre facteurs pouvant limiter la capacité de la fourragère, sa puissance et son débit potentiel sont ceux qui ont souvent le plus d'impact. Dans la majorité des conditions de récolte, les champs sont bien drainés et la traction ne pose que rarement un problème. La vitesse d'avancement n'est pas non plus un gros facteur pour la majorité des chantiers. Cela pourrait être le cas si, par exemple, on avait une fourragère avec beaucoup de puissance et très peu de matériel à ensiler. On aurait alors avantage à doubler et même tripler les andains.

Un chercheur dans le domaine, D<sup>r</sup> Buckmaster de l'Université Penn State (de 1989 à 2006, maintenant professeur à l'Université de Purdue), suggère une règle simple pour estimer le débit maximum d'une fourragère : on divise la puissance par quatre et ça donne le débit maximum en tonnes d'ensilage d'herbe par heure. Ainsi, une fourragère traînée par un tracteur de 120 forces pourrait au maximum ensiler 30 tonnes d'ensilage d'herbe par heure (12 tonnes de matière sèche à 60 % d'humidité) si le transport et le déchargement ne sont pas limitants. La fourragère automotrice qui développe 400 forces pourrait ensiler 100 tonnes à l'heure. C'est une capacité de chantier qui permettrait, en une heure, la récolte de l'ensilage requis pour soigner près de dix vaches pour une année entière. Le même chercheur indique que pour l'ensilage de maïs, le débit maximum est plus élevé que pour l'ensilage d'herbe et il calcule 2,5 forces par tonne plutôt que 4. La même fourragère automotrice de 400 forces peut donc ensiler au maximum 160 tonnes par heure, soit 52,8 tonnes de matière sèche par heure (à 33 % d'humidité). Une telle fourragère peut donc remplir l'équivalent d'un silo vertical 20 x 60 en trois petites heures...

### **La capacité maximale à l'entreposage**

La logistique au site de déchargement est évidemment critique. Si l'ensilage ne peut pas être déchargé, soufflé, compacté ou enrobé suffisamment rapidement, le site d'entreposage devient le goulot d'étranglement du chantier.

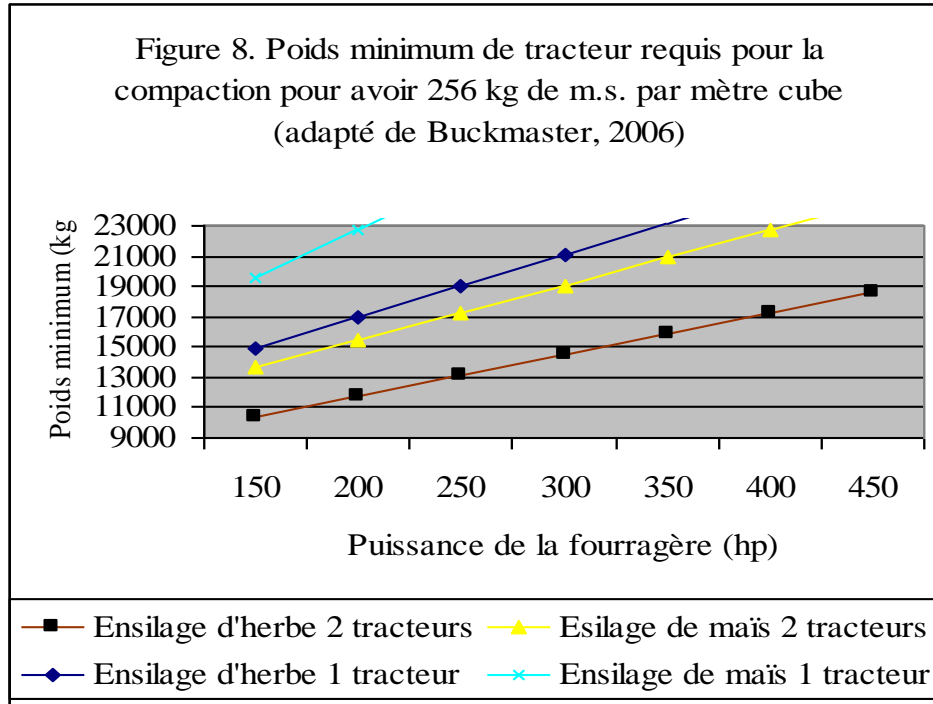
Des manufacturiers de souffleur à ensilage annoncent une capacité maximale de 110 tonnes d'ensilage d'herbe par heure et de 180 tonnes par heure pour l'ensilage de maïs. La capacité maximale du souffleur peut difficilement être maintenue tout au cours de la journée, ne serait-ce qu'en raison de l'attente des voitures d'ensilage en déplacement. Il est également possible que l'opérateur ne pousse pas le souffleur à sa pleine capacité de façon à réduire les risques de blocage. Avec un taux d'utilisation de 75 %, le souffleur actionné par un tracteur de capacité suffisante pourrait permettre l'entreposage de 80-85 tonnes d'ensilage d'herbe par heure, et de 135 tonnes d'ensilage de maïs par heure. Le chercheur rapporte que c'est cohérent avec des observations faites sur différentes fermes. Malheureusement, ces valeurs n'ont pas été publiées. C'est dire que si le transport n'est pas un facteur limitant, le système du silo vertical et le souffleur à ensilage pourraient fournir une fourragère de 340 forces opérée à pleine capacité.

La puissance requise par le souffleur dépend du type de souffleur, de la hauteur du silo et du débit. Selon le chercheur, il faut approximativement 2,1 forces par tonne d'ensilage d'herbe par heure, et environ 1,6 force par tonne d'ensilage de maïs par heure. C'est dire qu'il faut au souffleur 0,5 force par 1,0 force de puissance à la fourragère. Cependant, ce guide ne s'appliquerait pas si on avait plus de 175 forces au souffleur parce qu'alors, le débit du souffleur deviendrait le facteur limitant. Pour l'ensilage de maïs, il faut au souffleur 0,6 force par 1,0 force de puissance à la fourragère et la règle s'applique jusqu'à un maximum de 200 forces. Une fourragère de grande puissance pourrait ainsi remplir plus d'un silo à la fois.

Les manufacturiers de l'équipement servant à fabriquer le silo presse annoncent une capacité pouvant dépasser 500 tonnes par heure. La capacité de l'équipement peut être limitée par la capacité de la machine ou encore par la puissance disponible. L'équipement requiert approximativement 1,5 force par tonne d'ensilage d'herbe par heure et 1,0 force par tonne d'ensilage de maïs par heure, ce qui correspond à environ 60-70 % de la puissance requise par le souffleur. En plus de prévoir un équipement de capacité suffisante, la puissance disponible devrait équivaloir à 40 % de la puissance de la fourragère pour placer l'ensilage dans le silo presse.

La compaction de l'ensilage dans le silo couloir et dans la meule compactée requiert suffisamment de poids, de temps de compaction et une technique de placement adéquate. Le modèle développé par Holmes et Muck, disponible à l'adresse : <http://www.uwex.edu/CES/crops/uwforage/PileDensCalcwPOROSITY8-24-07.xls>) permet d'estimer le poids (et donc la puissance de tracteurs) requis pour maintenir le rythme avec des fourragères de diverses capacités. La figure 8 présente les données pour un ensilage récolté à 35 % de matière sèche, avec des couches d'une épaisseur ne dépassant pas 6 pouces (15 cm), et une densité visée de 16 lb de matière sèche par pied cube (256 kg MS par mètre cube). Ainsi, une fourragère de 300 forces aurait besoin de 2 tracteurs de 19 500 kg ou d'un tracteur de 27 200 kg pour assurer la compaction minimale requise pour une bonne conservation. Une autre règle simplifiée recommande d'avoir un minimum de 800 à 1000 lb (360 à 450 kg) de tracteur par 1000 lb (450 kg) d'ensilage par heure. Pour un chantier qui livre au silo couloir 100 tonnes d'ensilage par heure, il faudrait 80 000 à 100 000 lb (36 000 à 45 000 kg) de tracteur compactant sans arrêt. Une fourragère de 450 forces aurait donc besoin de plusieurs tracteurs du modèle MF 135...

Figure 8. Poids minimum de tracteur requis pour la compaction pour avoir 256 kg de m.s. par mètre cube (adapté de Buckmaster, 2006)



### La capacité maximale au niveau du transport

Il reste enfin à évaluer la capacité au niveau du transport de l'ensilage du champ au silo. Pour y arriver, il faut être en mesure d'estimer le contenu d'une boîte ou d'un camion d'ensilage. Wiersma rapporte les résultats d'études réalisées entre 1992 et 1994. L'approximation donne une densité de 5 lb/pi<sup>3</sup> (80 kg/m<sup>3</sup>) de matière sèche de fourrage haché soufflé dans un wagon; cette densité varie assez peu en fonction du type d'ensilage. Ainsi, une boîte d'ensilage de 18 pieds de longueur (5,5 m), de 8 pieds de largeur (2,4 m) et avec 6 pieds de hauteur (1,8 m) en ensilage contient 1,96 tonne de matière sèche d'ensilage, soit 5,6 tonnes d'ensilage à 35 % de matière sèche. Une boîte de camion de 24 pieds de longueur (7,3 m), de 8 pieds de largeur (2,4 m) et avec 8 pieds de hauteur (2,4 m) en ensilage contient 3,48 tonnes de matière sèche d'ensilage, soit 10,0 tonnes d'ensilage à 35 % de matière sèche. Le reste du calcul est simple. Si le chantier compte deux camions de même capacité, que chaque camion prend deux minutes à remplir (chantier travaillant avec une voiture à benne basculante accrochée à la fourragère), une minute à vider et parcourt un trajet qui prend 17 minutes (aller et retour), ce chantier ne livre que 30 tonnes d'ensilage par heure, bien en deçà de la capacité d'une fourragère automotrice de 450 forces... Cela met en évidence les limitations liées aux distances à parcourir. Il y a également les chemins de ferme dont la qualité peut limiter les déplacements. Le chemin de ferme n'est pas une piste de course, mais il devrait permettre des déplacements à une vitesse raisonnable sans craindre de tout arracher...

## La capacité maximale du chantier

Cela peut paraître anodin de s'interroger sur le temps requis pour charger ou décharger un voyage d'ensilage. Pour les plus gros chantiers, lorsque la fourragère automotrice à elle seule coûte disons 650 \$ de l'heure, les temps morts coûtent très cher. Des chercheurs dans le secteur de l'ingénierie ont développé des outils d'analyse de système. Un modèle intéressant est disponible à l'adresse suivante :

<http://www.abe.psu.edu/fac/Buckmaster/publ/cycleanalysis.xls> .

Ce modèle permet d'identifier les points critiques. Quel est le facteur limitant? La taille des andains? Le nombre d'unités de transport? La vitesse entre le champ et le silo à cause d'une mauvaise qualité des chemins? Le temps d'attente pour le doublage des andains? Le temps est critique pour le gros chantier. Il y avait un intéressant reportage dans une publication de la compagnie Chr. Hansen concernant une entreprise impliquée dans l'ensilage à forfait. Avec 4 fourragères automotrices et 13 camions, ils ensilent en une année 24 000 tonnes d'ensilage de céréales, 33 000 tonnes d'ensilage de luzerne et 84 000 tonnes d'ensilage de maïs. Cela fait pas mal d'ensilage pour 4 fourragères, n'est-ce pas?

Pour les chantiers plus modestes, l'efficacité a aussi beaucoup d'importance, même si ça donne de moins gros chiffres. Pour un troupeau de 75 vaches et son remplacement, les besoins en fourrages dépassent un peu 500 tonnes de matière sèche par année. Disons que la ferme récolte 10 000 balles de foin et qu'elle travaille avec de l'ensilage de maïs qui est entreposé dans un silo vertical (18' x 60' pour 117 tonnes de matière sèche). Elle aura besoin d'environ 150 boîtes (18' x 8' x 6') en ensilage d'herbe pour couvrir les besoins du troupeau pour l'année. Combien de jours faudra-t-il pour récolter 100 boîtes d'ensilage en 1<sup>re</sup> coupe et 50 boîtes en 2<sup>e</sup> coupe? Ça peut se faire très vite comme ça peut traîner en longueur. Certains chantiers sont très efficaces : deux voisins se partagent des équipements, opèrent le chantier ensemble, ont de l'aide pour la traite et remplissent un silo une journée et un autre le lendemain. Un autre producteur, pour diverses raisons, a un chantier moins intensif. Il lui est impossible de faucher plus tôt qu'à 9 h 30-10 h le matin à cause de la traite. Il ne peut commencer à ensiler avant 12 h-13 h. Il doit arrêter pour la traite. Si la météo ne collabore pas, il est possible qu'il ait besoin de plus de dix jours pour remplir son silo. Il y perd parce qu'une partie de ses fourrages auront été récoltés à un stade trop avancé. La perte ne se limite pas à la question de la maturité. Dans un silo vertical, on compte sur la masse d'ensilage pour en assurer la compaction. L'oxygène qui était présent dans l'ensilage au fond du silo qui a 300 tonnes d'ensilage par-dessus est vite consommée et la phase anaérobie débute avec peu de délai. Dix boîtes d'ensilage le lundi, dix boîtes le mardi, dix boîtes le vendredi, et ainsi de suite jusqu'au mercredi de la semaine suivante, offre des conditions idéales pour gaspiller de l'ensilage. Ce sera encore pire si l'ensilage est haché trop long, s'il est trop sec, constitué de matériel trop mature qui aurait en plus été sur le champ pour trois à quatre jours. Si le silo est rempli trop lentement, la phase aérobie se prolonge, faute de compaction suffisante et le résultat pourrait être désastreux. Il ne viendrait à personne l'idée d'enrober des grosses balles rondes ou

rectangulaires cinq ou six jours après la fabrication, ou encore compacter l'ensilage dans un silo couloir une semaine après son remplissage. C'est pareil pour le silo vertical : le plus vite, c'est le mieux.

Il est de la plus haute importance d'avoir un chantier bien agencé. À quoi ça sert d'avoir une fourragère qui peut ensiler 100 tonnes par heure si on ne peut pas souffler plus de 30 tonnes par heure. Le moindre détail : un chemin trop raboteux, des boîtes à moitié remplies, à court d'un chauffeur, des andains trop petits, un trop petit tracteur sur le souffleur, peut représenter des pertes de milliers de dollars en qualité. Votre chantier est-il efficace?

### **FAUCHER LE SOIR OU LE MATIN?**

C'est connu, le contenu de la plante en sucres varie au cours de la journée. Il a tendance à être à son niveau le plus élevé à la fin de la journée, pour diminuer dans le cours de la nuit. Or, parmi les facteurs pouvant influencer la conservation d'un ensilage, il y a justement son contenu en sucres. Comme un plus un fait deux, il est tentant de croire que le fourrage fauché en fin de journée va donner du meilleur ensilage. Ce n'est peut-être pas aussi simple que ça.

Les données présentées à la figure 9 parlent d'elles-mêmes. L'expérience a été réalisée en Arkansas. Le soleil s'y lève à 5 h au début juin. Le contenu en sucres solubles du dactyle augmente de 3,5 % à 5,5 % au fur et à mesure que la journée avance. La tendance est claire et nette. Il faut cependant préciser que c'est le contenu en sucres de la plante sur pied. Est-ce que le contenu en sucres de la plante qui aurait été coupée à 17 h serait demeuré élevé, ou s'il aurait diminué au cours de la soirée et de la nuit? À 5 h le lendemain matin, aurait-il été plus élevé pour la plante coupée que pour la plante sur pied? Pour y répondre, il faut savoir si la plante coupée respire et, si c'est le cas, si le taux d'utilisation des sucres est plus faible que si elle n'avait pas été coupée. La température ambiante et la température dans l'andain durant la nuit doivent forcément avoir un impact. Le chapitre sur le séchage va nous permettre de nous faire une idée.

La photosynthèse permet à la plante de synthétiser des glucides, et ce faisant, d'emmagasiner l'énergie solaire sous une forme utilisable par la plante. Ceci implique que la photosynthèse se fait le jour. La plante respire et utilise donc une partie de l'énergie pour son entretien et sa croissance. Durant le jour, la plante synthétise plus de glucides qu'elle n'en consomme et il y a un gain net, d'où l'accumulation de glucides. La nuit, la plante respire, ne synthétise pas de glucides et il y a utilisation nette, d'où diminution de la concentration en glucides. Chez les légumineuses, les graminées de climat chaud (C<sub>4</sub>) et les céréales, l'amidon sert à l'entreposage des glucides, alors que chez les graminées de climat frais (C<sub>3</sub>), les glucides sont entreposés sous forme de fructans. Ce n'est donc pas surprenant de voir que l'amidon commence à augmenter non pas dès le lever du soleil mais

un peu plus tard dans la matinée, l'amidon synthétisé la veille étant utilisé pour la respiration dans les premières heures de la journée.

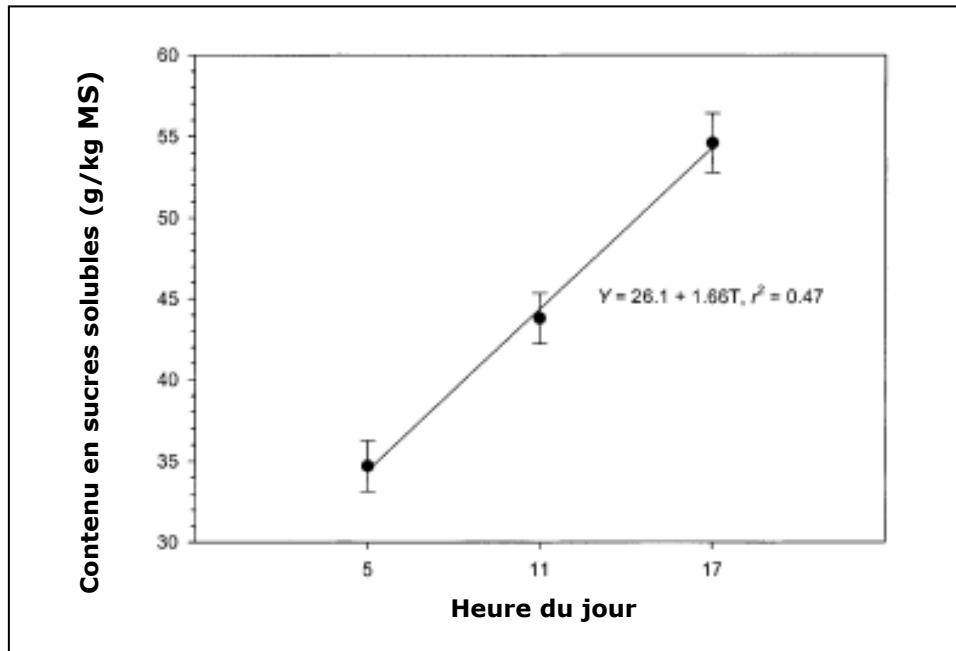


Figure 9 : Changement diurne du contenu en sucres solubles dans l'eau d'un herbage de dactyle échantillonné du 1<sup>er</sup> juin au 15 juin 2001 et 2002. T = temps (heures). La hauteur de la barre sur le point indique l'écart-type par rapport à la moyenne (n = 90) (Burner, 2004)

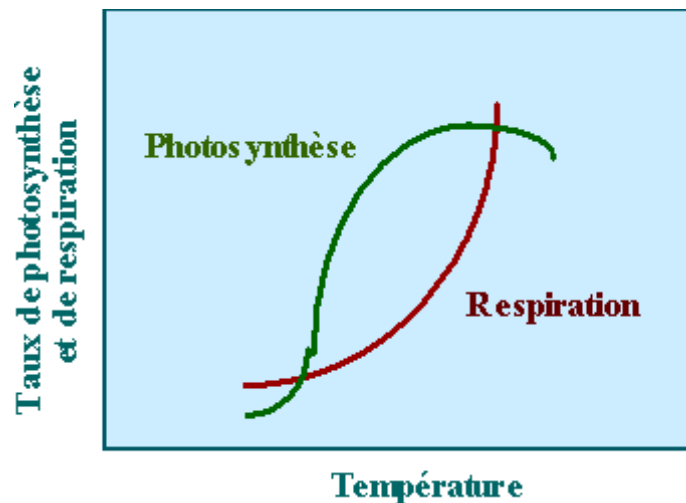
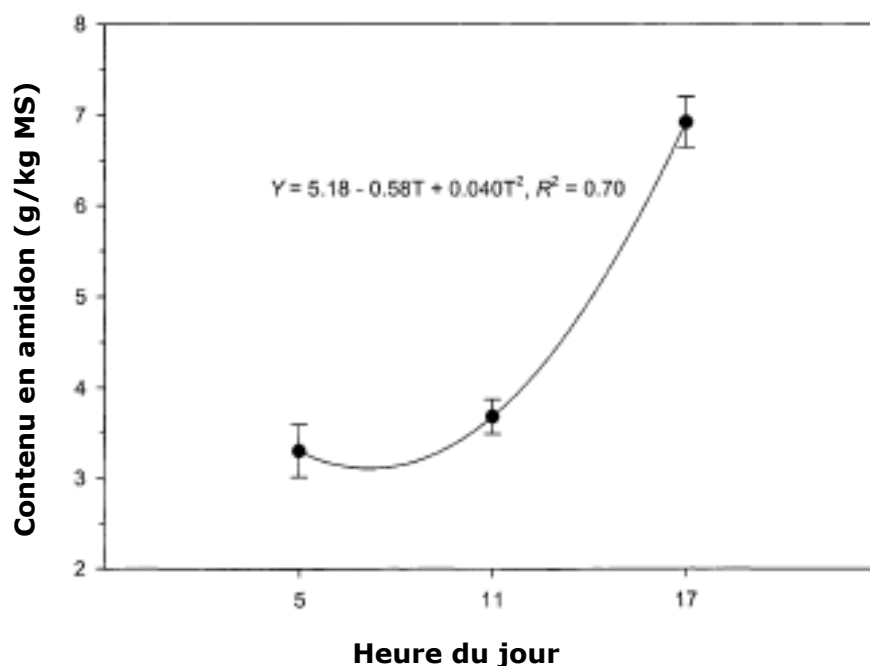


Figure 10 : Illustration du phénomène de la photosynthèse et de la respiration de la plante (cours de Physiologie végétale BIO-19935, Université Laval)





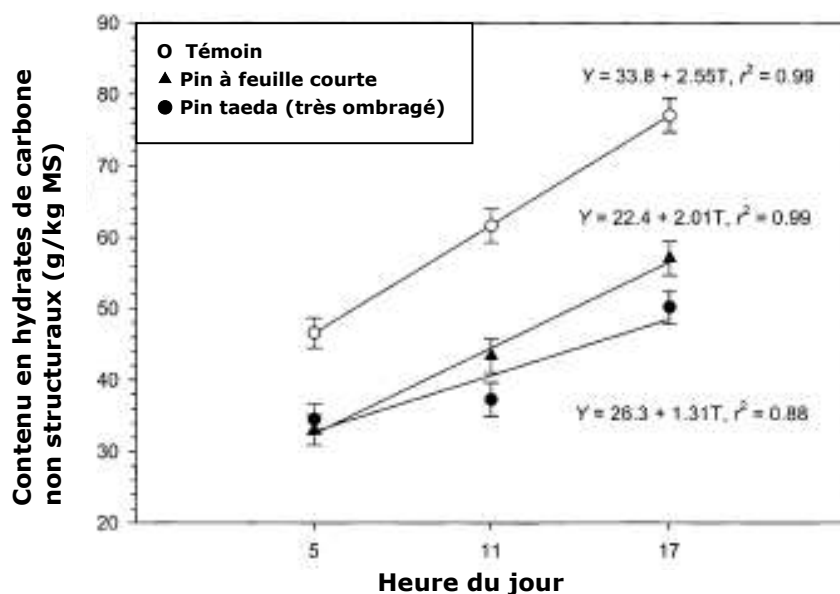
**Figure 11 : Changement diurne du contenu en amidon d'un herbage de dactyle échantillonné du 1<sup>er</sup> juin au 15 juin 2001 et 2002. T = temps (heures). La hauteur de la barre sur le point indique l'écart-type par rapport à la moyenne (n = 90) (Burner, 2004)**

Le contenu en sucres (ou en glucides non structuraux) est influencé par le moment de la journée, mais aussi par d'autres facteurs incluant la radiance solaire. L'expérience, dont les résultats sont rapportés à la figure 12 a comparé du dactyle qui a poussé en pleine lumière avec du dactyle qui a poussé en zone plus ou moins ombragée. Le choix de l'espèce de pin a permis de simuler une couverture nuageuse plus ou moins intense : 70 % de couverture nuageuse avec le pin à feuilles courtes et 90 % de couverture avec le pin taeda. Les résultats sont éloquentes : le dactyle ayant poussé à l'ombre n'était pas plus riche en glucides non structuraux à 17 h que le dactyle ayant poussé en pleine lumière à 5 h le matin.

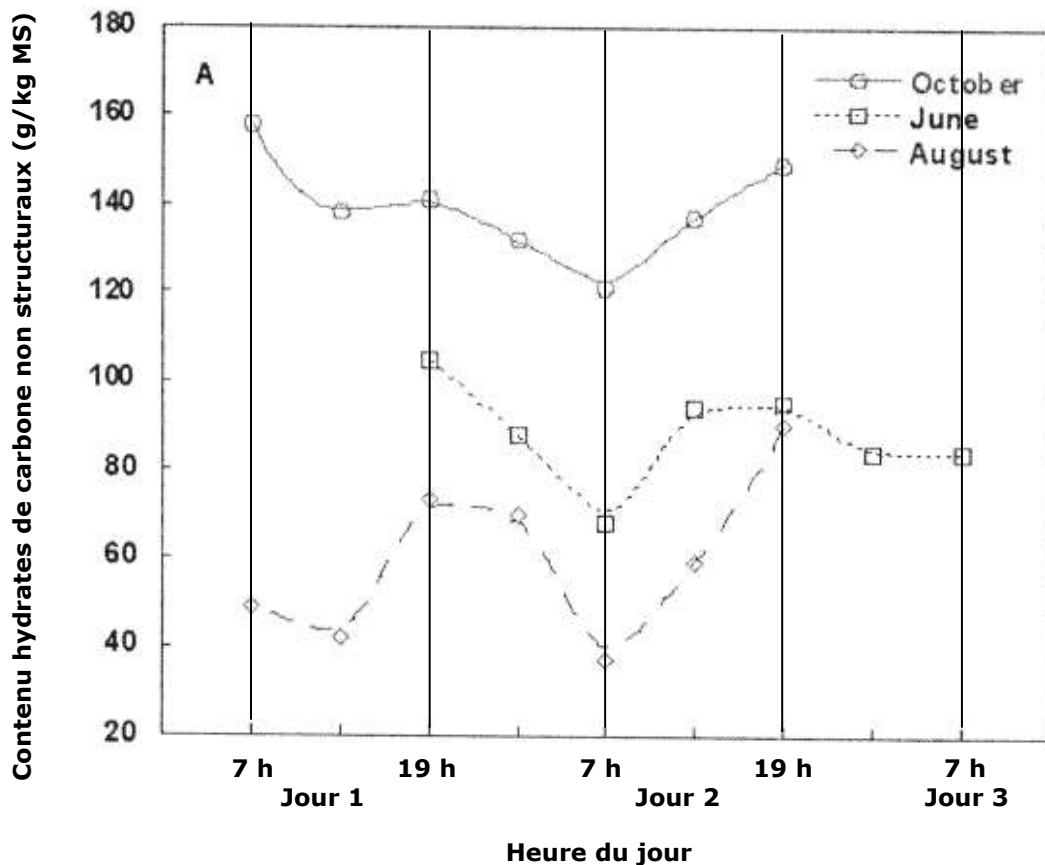
L'expérience dont les résultats sont rapportés à la figure 13 permet de visualiser à quel point le contenu en glucides non structuraux de la plante peut varier. L'effet diurne est visible, mais pas toujours. En octobre, au jour un, par exemple, la teneur était plus faible à 17 h qu'à 9 h. La teneur en octobre était très supérieure à celle de juin ou d'août, et ce, peu importe le moment de la journée. L'expérience a été réalisée en Utah. En octobre, le ciel était couvert quand les échantillons ont été prélevés et les jours étaient d'une durée d'un peu plus de 11 heures avec une température moyenne voisinant 4-6 °C. En août, le ciel était dégagé quand les échantillons ont été prélevés et les jours étaient d'une durée d'un peu moins de 14 heures avec une température moyenne voisinant 21-24 °C. En juin, le ciel était dégagé et les jours étaient d'une durée d'un peu plus de 15 heures avec une température moyenne voisinant 20-23 °C.

Les deux essais rapportés ici ont été conduits avec la graminée qui contient le moins de glucides solubles dans l'eau, soit le dactyle. Ces données illustrent quand même le fait que les niveaux de sucres sont très variables et sont influencés par de nombreux facteurs. Mayland *et al.* (2005) ont publié de nombreuses études avec de la luzerne, de la fétuque élevée et des graminées de climat chaud qui ont montré que les ruminants et autres herbivores (cheval, lapin) préfèrent systématiquement le foin coupé en après-midi. De plus, Gregorini *et al.* (2006) viennent de publier plusieurs études démontrant que les bovins au pâturage mangent plus au crépuscule et que ceci serait relié au niveau de sucres dans les plantes. Un article en voie d'être publié (Brito, 2008) présente les résultats d'une étude réalisée au Québec. Elle montre que les vaches ont consommé plus de matière sèche (+ 8 %) et ont produit plus de lait (+ 8 %) lorsqu'elles ont reçu des balles rectangulaires de luzerne coupée en après-midi et enrobées à 50 % de MS.

Que faut-il en retenir? Le contenu en sucres de la plante sur pied varie en fonction du moment de la journée, mais aussi en fonction du couvert nuageux, de la température, de la longueur du jour, de l'espèce et de son stade de maturité. Pour la plante coupée, nous verrons plus loin, parce que le temps de séchage a forcément un impact déterminant sur la quantité de sucres consommé entre le moment de la fauche et le moment de la récolte. La recherche se poursuit sur cette question et le Canada fait figure de leader en ce domaine. Michaud (Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures de Sainte-Foy) et ses collaborateurs ont identifié des génotypes provenant du cultivar AC Caribou qui sont plus élevés en sucres et qui, nous l'espérons, permettront de développer de nouveaux cultivars riches en sucres pour les producteurs québécois et canadiens



**Figure 12 :** Changement diurne du contenu en glucides non structuraux d'herbage de dactyle témoin (pas d'ombre), ombragé (pin à feuille courte) et très ombragé (pin taeda) échantillonnés du 1<sup>er</sup> juin au 15 juin 2001 et 2002. T = temps (heures). La hauteur de la barre sur le point indique l'écart-type par rapport à la moyenne (n = 90) (Burner, 2004)



**Figure 13 : Concentration en glucides non structuraux d'herbages de dactyle récoltés à des intervalles de 6 heures en juin, août et octobre (Griggs, 2005)**

## LE SÉCHAGE

La récolte de l'herbe, que ce soit en ensilage ou en foin, exige que le matériel soit fauché puis laissé à sécher au champ jusqu'à ce que le fourrage atteigne le taux de matière sèche (ou d'humidité) jugé optimal en fonction du mode d'entreposage choisi. Les données présentées au tableau 1 avaient été publiées dans un dossier sur l'ensilage dans la revue *Le producteur de lait québécois*, en mars 2007, et demeurent une référence utile. Si le matériel est à 20 % de matière sèche au moment de la fauche, il faudra attendre un certain temps avant de pouvoir récolter. Il est donc primordial d'avoir une bonne compréhension des différents facteurs qui influencent le taux de séchage ou, en d'autres mots, le temps requis pour perdre x % d'humidité.

Traditionnellement, pour faire de l'ensilage d'herbe, le fourrage était coupé, conditionné puis disposé en andains étroits. Après une à trois journées de séchage selon les conditions, il était haché puis entreposé dans diverses structures permettant la fermentation puis la conservation pour une période prolongée. Le fourrage sur le dessus de l'andain était

suffisamment sec pour en faire du foin, et le dessous de l'andain était aussi humide qu'au moment de la fauche. Est-ce qu'un fourrage aussi variable quant à son contenu en matière sèche permet de maximiser les chances d'avoir une bonne conservation?

Le processus de séchage se déroule en trois phases. Durant la première phase, il y a perte très rapide d'humidité jusqu'à un taux d'humidité de 60-65 % (30-35 % de matière sèche). La seconde phase prend plus de temps et se termine lorsque le fourrage a atteint 40 % d'humidité (60 % de matière sèche). La troisième phase est la plus longue et se termine lorsqu'on a atteint une teneur en humidité telle que le fourrage pourra être conservé sous forme de foin.

**Tableau 1 : Paramètres recommandés pour le remplissage et la reprise des ensilages selon le système d'entreposage (Lafrenière, 2007)**

<b>Système d'entreposage</b>	<b>Matière sèche ( % )<sup>1</sup></b>	<b>Quantités lors de la reprise<sup>3</sup> (cm)</b>
Silo à atmosphère contrôlé	40-50	
Silo tour	35-40 <sup>2</sup>	5-10 <sup>4</sup>
Silo couloir	30-35	10-25
Silo meule	30-35	15-30
Silo boudin	35-40	10-20
Balle ronde	45	---

<sup>1</sup> Adapté de CPVQ, 1990; Mahanna, 1997; Savoie et Jofriet, 2003.

<sup>2</sup> La teneur en MS recommandée est plus basse pour les graminées et les céréales et plus élevée pour les légumineuses.

<sup>3</sup> Adapté de Mahanna, 1997; Savoie et Jofriet, 2003.

<sup>4</sup> La quantité la plus faible est recommandée en hiver et la plus élevée en été.

## **Phase 1**

Dès le début de la phase de séchage, l'humidité se déplace dans deux directions : mouvement axial le long de la tige vers les extrémités et mouvement radial vers la surface de la tige. Le passage tout naturel de l'humidité le long de la tige et à travers la feuille est la voie primaire des premières étapes du séchage. Harris et Tulberg (1980) ont rapporté que les feuilles détachées de la tige avaient séché 1,5 fois plus rapidement que les feuilles sur les plants intacts parce que les feuilles attachées tiraient l'humidité de la tige. Au moins 35 % de l'humidité contenue dans les tiges de la luzerne au moment de la coupe sort de la plante à travers les feuilles durant le séchage au champ. Les feuilles des graminées sèchent 10 à 15 fois plus rapidement que les tiges et c'est jusqu'à 30 % de l'humidité des tiges qui est perdue à travers les feuilles. Plus la plante est jeune et tendre, plus ce phénomène est important. Les talles à l'état végétatif composées à 80 % de feuilles ont séché en 1/3 du temps requis par les talles au stade de début épiaison qui étaient composées de 40 % de feuilles.

L'évapotranspiration à travers les stomates constitue la première méthode de perte d'humidité par les feuilles. Les stomates sont des pores dans la feuille de la plante où le dioxyde de carbone et l'oxygène peuvent circuler librement et où l'humidité tirée des racines à travers la tige peut sortir de la plante. C'est par les stomates qu'est perdue 80 à 90 % de l'humidité de la plante en croissance. Les stomates sont donc en bonne partie responsables du contrôle de la perte d'humidité de la plante. Les stomates peuvent se fermer jusqu'à un certain point sans réduire la transpiration, mais quand ils sont complètement fermés, la perte d'humidité de la plante est grandement diminuée et se limite à celle qui migre à travers l'épiderme. Les stomates sont sensibles à différents stimuli, incluant la température, la lumière et la disponibilité de l'eau. Ils se ferment généralement la nuit et ils s'ouvrent durant le jour. Pour cette raison, la vitesse à laquelle l'humidité est perdue est considérablement plus grande pour les plants intacts que pour une quantité équivalente de tiges et de feuilles détachées des tiges. Quand la plante a séché jusqu'à un taux d'humidité de 40 %, des tissus secs et des vides d'air se développent dans le xylème et le parenchyme. Ces poches brisent le gradient d'humidité à travers la plante et entravent sinon éliminent le déplacement de l'humidité par cette voie.

L'humidité de la plante est entre 57 et 65 % à la fermeture des stomates, bien à l'intérieur des limites souhaitées pour faire du bon ensilage. Ainsi, la perte d'humidité par les stomates est la principale voie de séchage de la plante aux niveaux permettant de faire de l'ensilage. Le séchage au champ est relativement inefficace comparé avec l'évapotranspiration naturelle de la plante.

La technique traditionnelle pour faire de l'ensilage d'herbe met l'accent sur le séchage au champ au détriment de l'évapotranspiration. Le fait de faucher en andains étroits se trouve à déposer à l'ombre la majorité du fourrage. Comme l'activité des stomates est notamment contrôlée par la lumière, les limbes des feuilles qui sont à l'ombre, dans l'andain ou en dessous de celui-ci, vont rapidement fermer leurs stomates. Les feuilles exposées à la lumière perdent rapidement l'humidité. La fermeture rapide des stomates arrête le principal mécanisme de perte d'humidité dans l'ensilage. Le fait d'étendre l'andain à la pleine largeur de la barre de coupe maximise l'exposition à la lumière. C'est le mécanisme le plus critique pour accélérer le taux de perte d'humidité au début du processus de séchage. La lumière maintient les stomates ouverts jusqu'à ce que le taux d'humidité tombe en bas de 57-65 %. Dans les expériences rapportées par Kilcer (2006), les andains larges avaient reçu trois fois plus de lumière que les andains étroits. Kilcer précise que ce qui ajoute à l'effet négatif de l'approche traditionnelle, c'est l'écrasement mécanique durant le conditionnement qui se trouve à briser le courant capillaire de la partie basse de la tige vers les feuilles.

Un autre facteur négatif, c'est la densité des andains étroits. Les vêtements mouillés ne sèchent pas s'ils sont empilés et c'est pareil pour le fourrage. Kilcer indique que le taux de perte d'humidité dépend de la quantité de fourrage par unité de surface au sol et, selon lui, ce facteur a plus d'impact que le conditionnement ou le fanage ou le retournement des andains. Dans les expériences rapportées, les andains étroits ne couvraient que 18 % de la

surface, comparativement à 100 % pour les andains larges. Le résultat : une densité 5,5 fois supérieure pour les andains étroits comparativement aux andains larges. Il est vrai que le fourrage étendu sur toute la surface va intercepter cinq fois plus de précipitation s'il pleut après la fauche, mais le séchage après la pluie est presque deux fois plus rapide pour le fourrage dans l'andain large. À n'en pas douter, le chauffage radiant était plus important pour le fourrage étendu que pour le fourrage en andain étroit à cause de la plus grande surface exposée à la radiation.

## **Phase 2**

Au fur et à mesure que le mouvement axial de l'humidité diminue, la migration radiale vers la surface de la tige devient la voie prédominante pour que la perte d'humidité se poursuive. La vitesse de la perte d'humidité diminue à cause de la plus grande résistance du mouvement de l'humidité dans cette direction. La diffusivité représente la vitesse à laquelle l'eau se déplace dans la plante. La diffusivité radiale de l'humidité vers l'extérieur de la tige de luzerne est plus faible par un facteur 10 comparée au mouvement de l'humidité le long de la tige vers les feuilles (diffusivité axiale). La couche épidermique de la tige est la principale contrainte à la sortie de l'humidité puisque sa diffusivité est 1000 fois plus faible que la diffusivité radiale. Le fait d'enlever l'épiderme de la tige par le conditionnement peut grandement augmenter la vitesse de séchage du fourrage et l'effet le plus marqué est sur les pétioles des feuilles et les tiges qui ont un contenu en eau plus faible. La phase 2 du séchage est typique de la compréhension populaire des mécanismes de séchage. C'est d'ailleurs pourquoi le conditionnement des fourrages au moment de la fauche est si populaire.

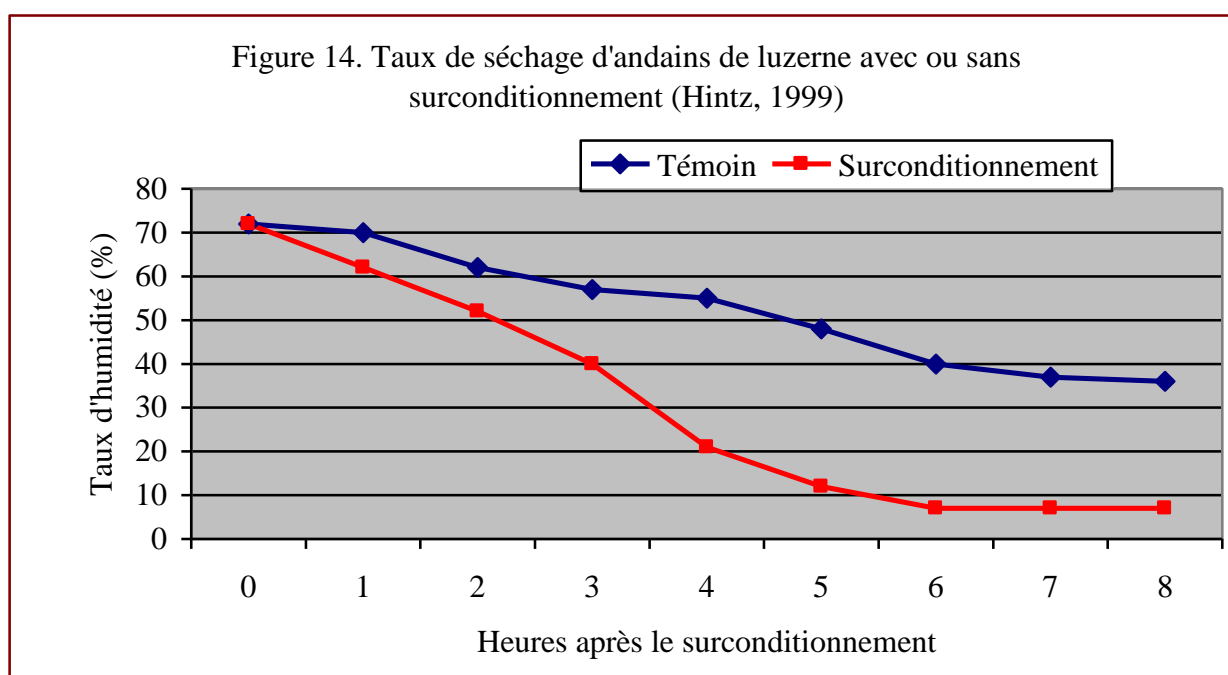
## **Phase 3**

C'est durant cette phase qu'il faut enlever l'eau liée le plus fortement. Cette phase débute lorsque le taux d'humidité est sous la barre de 45 % et se poursuit jusqu'à ce que le fourrage soit suffisamment sec pour être entreposé sous forme de foin. Cette phase dépend beaucoup des conditions météorologiques.

## **Surconditionnement**

Le séchage du fourrage pour obtenir un taux optimal d'humidité constitue un défi de taille sous nos conditions climatiques. Comme on l'a vu plus tôt, la tâche peut être moins risquée si on comprend bien ce que la nature peut faire pour nous. Pour l'ensilage d'herbe, on peut s'en sortir relativement bien. Pour le foin, il faut que la météo collabore et nos chances de réussir sont très inégales d'une coupe à l'autre et d'une année à l'autre. Pour un séchage jusqu'à 80-85 % de matière sèche, le séchage à air chaud directement au champ est pratiqué occasionnellement en Europe. Toutefois, le coût de l'énergie est une composante majeure et elle risque de le rester pour les années à venir. La déshydratation et le séchage en usine sont aussi possibles. Une entreprise de l'est de la province y travaille depuis l'été 2007. Ça semble prometteur.

La recherche s'est intéressée à la problématique du séchage il y a déjà une vingtaine d'années et c'est de là qu'est né un équipement qu'on appelle le macérateur ou le surconditionneur. Un prototype avait été développé par l'équipe de recherche de Savoie, ici même au Québec. L'idée, c'est de conditionner le fourrage de façon beaucoup plus intensive que le conditionneur couramment utilisé sur la majorité des fermes aujourd'hui. Le surconditionnement permet d'accroître le taux de séchage en brisant la cuticule de cire de la plante et en brisant la tige, permettant ainsi à l'eau de s'évaporer sans avoir à diffuser à travers l'épiderme. Le surconditionnement accélère le processus en écrasant et en déchiquetant les tiges, en homogénéisant les tiges et les feuilles, permettant ainsi aux fourrages de graminées et de légumineuses de sécher à 20 % d'humidité ou moins en moins de six heures si les conditions de séchage sont favorables (Figure 14).

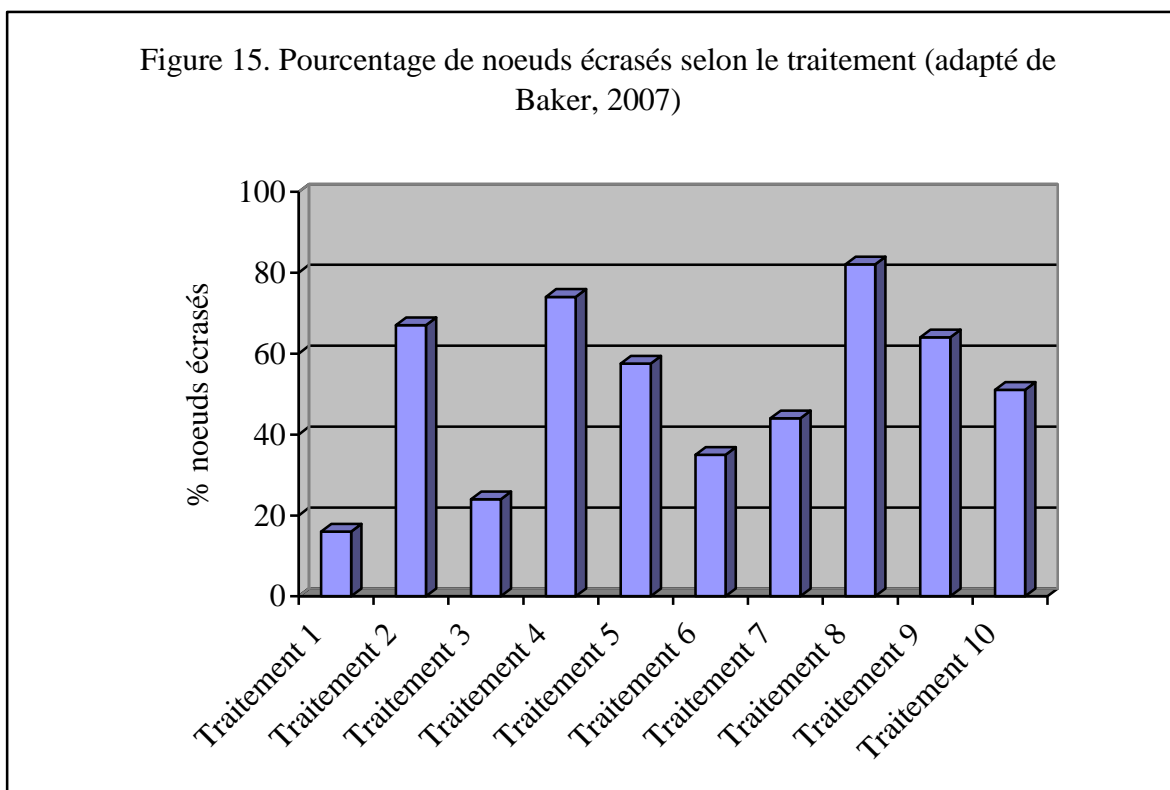


Il est important de préciser que l'amélioration du temps de séchage va varier selon le degré de surconditionnement. L'un des prototypes de Savoie était constitué de huit rouleaux et le traitement était intense au point que le matériel devait être pressé et déposé en un tapis sur le chaume pour minimiser les pertes de matière sèche. Il faut être prudent avant de comparer les résultats d'essais et toujours préciser l'intensité du traitement appliqué. Une étude récente menée en Australie sur du fourrage d'avoine a permis de comparer différents équipements. Voici quelques détails sur les différents traitements :

1. Faucheuse conditionneuse
2. Fauche et surconditionnement en un passage (John Deere 895)
3. Fauche et surconditionnement en un passage (New Holland HW340)
4. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Ashmore Engineering, modèle Haymax) au jour 2

5. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Ashmore Engineering, modèle Haymax) au jour 4
6. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Buschutz Engineering Pty Ltd., modèle hydra-squeeze) au jour 2
7. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Buschutz Engineering Pty Ltd., modèle hydra-squeeze) au jour 4
8. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Agland Industries, modèle Macerator 6610) au jour 2
9. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Agland Industries, modèle Macerator 6610) au jour 4
10. Faucheuse conditionneuse et surconditionnement (Ag Shield Mfg, modèle Recon 300) au jour 2

L'étude a mesuré une foule de paramètres incluant la largeur et l'épaisseur des tiges, la proportion des nœuds qui étaient écrasés, la couleur du foin après le pressage, etc. Nous ne reverrons pas tous les détails de l'étude, faute de temps. La figure 15 rapporte la proportion des nœuds écrasés. Le fait d'écraser les nœuds de la tige d'avoine accélère le séchage du fait que le nœud a tendance à être la dernière partie de la plante à laisser échapper son humidité. Le foin d'avoine était pressé à moins de 10 % d'humidité. Il faut préciser que c'est du matériel destiné à l'exportation et sans séchage artificiel. Le foin des traitements 8 et 9 ont été pressés au jour 6 alors que le foin du traitement 1 a été pressé au jour 9.





Savoie (2001) a revu la littérature et permet de se faire une idée des variations possibles. Dans les dix expériences citées, le surconditionnement a permis d'accélérer le séchage et l'amélioration a varié de 26 à 160 %. L'amélioration avait tendance à être plus importante pour les périodes plus courtes de séchage au champ (6 à 9 heures), et moins importante pour les périodes plus longues de séchage au champ (30 à 34 heures). Une seule exception : l'expérience de May (1994) a été réalisée au Manitoba avec de la luzerne exposée à un environnement relativement sec. L'amélioration du coefficient de séchage au champ avait tendance à être maximale sous de bonnes conditions de séchage et d'ensoleillement. Les andains surconditionnés perdaient rapidement de l'humidité dans les premières heures suivant le traitement. Pour les périodes plus longues, la nuit atténuait l'avantage du surconditionnement. L'absorption de rosée ou d'eau de pluie avait tendance à être plus importante pour le fourrage surconditionné et pourrait, ce faisant, éliminer l'avantage du surconditionnement. Une augmentation du nombre de rouleaux et les équipements plus complexes avaient tendance à améliorer davantage le coefficient de séchage sous différentes conditions météorologiques.

**Tableau 2 : Effet du surconditionnement sur le taux de séchage du fourrage (Savoie, 2001)**

Type de surconditionneur	Fourrage	Temps de séchage (heures)	Augmentation du coefficient de séchage (%)	Source
7 rouleaux périphériques et presse	Luzerne	6	160	Shinners <i>et al.</i> (1987)
5 rouleaux périphériques et presse	Ivraie	7	126	Schurig et Rödel (1989)
8 rouleaux et presse	Luzerne Mil	9 9	137 61	Savoie <i>et al.</i> (1993)
2 rouleaux dentés et presse	Luzerne	50	125	May (1994)
6 rouleaux périphériques	Luzerne	6	67	Öztein and Özkan (1997)
3 rouleaux dentés et presse	Luzerne et mil	30	26	Savoie <i>et al.</i> (1997)
3 rouleaux dentés	Luzerne et mil	33	30	Savoie <i>et al.</i> (1999)
3 rouleaux dentés	Trèfle jeune Trèfle mature	34 34	65 37	Descôteaux et Savoie (1999)

La densité du fourrage dans l'andain affecte également le taux de séchage. Le fait d'étendre le fourrage aussi large que possible sur le chaume augmente la surface d'absorption de la radiation solaire, autant pour le fourrage surconditionné que pour le fourrage non surconditionné. On suggère que le tapis ne dépasse pas 6 cm (2 pouces) d'épaisseur pour

accélérer le séchage. Savoie (2001) suggère que la densité ne dépasse pas 0,45 kg de matière sèche par mètre carré pour la luzerne surconditionnée de façon à ce qu'elle atteigne un niveau inférieur à 20 % d'humidité en une journée ensoleillée. Or, si le rendement dépasse 4,5 tonnes de matière sèche par hectare, il est impossible d'étendre suffisamment le matériel sur le chaume pour respecter cette règle.

Le surconditionnement ne fait pas qu'accélérer le séchage. Il peut affecter d'autres paramètres :

### **1. La perte mécanique**

Le surconditionnement peut briser les feuilles et les tiges en petites particules plus susceptibles aux pertes. Chaque fois que l'andain est manipulé, les pertes sont susceptibles d'augmenter. Pour cette raison, il est important de limiter les manipulations et d'être le plus délicat possible lorsqu'il y a manipulation. Savoie (1993, cité dans Savoie, 2001) a observé une perte de 3,5 % de matière sèche pour le foin conditionné, et de 7,8 % pour le foin surconditionné (8 rouleaux). Dans une autre expérience, il a mesuré une perte de 6,6 % de la matière sèche avec le conditionnement, et de 7,2 % avec le surconditionnement (3 rouleaux).

### **2. La perte par respiration et lessivage**

Le surconditionnement crée une grande surface exposée sur laquelle les microorganismes peuvent croître et rapidement relâcher les sucres intracellulaires. Ainsi, la croissance et la respiration peuvent augmenter au début de la phase de séchage. Cependant, lorsque le fourrage surconditionné sèche rapidement, l'humidité requise pour la croissance va manquer plus tôt et le surconditionnement pourrait réduire la perte par respiration. Si le fourrage surconditionné sèche lentement, faute de conditions favorables, la perte par respiration pourrait augmenter. Un nombre limité d'essais ont mesuré les pertes par respiration et par lessivage. Le fourrage surconditionné, lorsque frappé par la pluie, a tendance à perdre davantage que le fourrage qui n'a pas été surconditionné.

### **3. La fermentation de l'ensilage**

Le surconditionnement détruit la structure de la plante, ce qui donne un fourrage qui se compacte naturellement plus facilement. Le pH a tendance à baisser plus rapidement avec le fourrage surconditionné. Dans le cas de l'ensilage récolté en coupe directe (15 % de matière sèche), le surconditionnement a tendance à augmenter l'activité microbienne dans son ensemble, incluant l'activité des clostridies. L'ensilage trop humide sera de pauvre qualité, qu'il ait été surconditionné ou pas.

#### 4. La composition chimique

Le surconditionnement aurait tendance à faire augmenter la teneur en fibre du fourrage, surtout si le fourrage a été frappé par la pluie. Sous des conditions favorables, le surconditionnement pourrait réduire la protéolyse, donnant ainsi un fourrage plus faible en protéine soluble. Cependant, si les conditions ne sont pas favorables, l'effet inverse pourrait être observé.

#### 5. Les performances animales

Le nombre d'essais avec du fourrage surconditionné sur des animaux demeure plutôt limité. Avec la vache laitière, Broderick *et al.* (1999) ont réalisé quatre études impliquant 141 vaches Holstein et ils ont comparé de l'ensilage de luzerne surconditionné ou non, provenant de deux coupes réalisées sur deux années (Tableau 3). Ils ont réalisé que l'ensilage surconditionné était plus riche en cendres, résultat possible d'une plus grande contamination par le sol. Avec des rations à 61 % d'ensilage de luzerne sur une base sèche, la production a été meilleure dans deux des quatre essais et le test de gras a été plus faible dans un essai sur quatre. Ils estiment que l'ensilage surconditionné contenait plus d'énergie (5 %) que l'ensilage non traité.

**Tableau 3 : Sommaire de l'effet du surconditionnement de l'ensilage de luzerne sur les performances des vaches (adapté de Broderick *et al.*, 1999)**

Paramètre	Témoin	Surconditionné
Consommation (kg MS/jour)	25,7	26,2
Changement de poids vif (kg/jour)	0,37	0,49
Production (kg/jour)	37,0 <sup>b</sup>	38,4 <sup>a</sup>
% gras	3,50 <sup>a</sup>	3,41 <sup>b</sup>
% protéine	3,19	3,20
Urée du lait (mg/dl)	15,9	15,5
Efficiencé alim. (kg lait corrigé/kg matière sèche)	1,43	1,43

<sup>a, b</sup> Les moyennes sur la même ligne avec une lettre différente sont différentes (P<.05)

Plus près de nous, Savoie et Block (1994) ont réalisé une expérience impliquant 24 vaches en début de lactation. Toutes les vaches recevaient 10 kg d'une moulée commerciale et du foin de luzerne à volonté. La moitié des vaches ont reçu du foin récolté de façon conventionnelle et les autres du foin surconditionné avec le prototype développé par Savoie qui comportait 8 rouleaux. Le foin surconditionné a pu être pressé le lendemain de la fauche à 20 % d'humidité, alors que l'autre n'a pu être pressé que le surlendemain.

Les vaches recevant le foin conventionnel ont consommé en moyenne 14,03 kg/jour de matière sèche de fourrage alors que celles recevant le foin surconditionné ont consommé 16,11 kg/jour, une augmentation de 15 %. Ces dernières ont produit 15 % plus de lait (34,32 kg/jour vs 29,93 kg/jour). Le test de gras était le même pour les deux groupes, mais le test de protéine était supérieur pour les vaches recevant le foin surconditionné (3,27 % vs 3,11 %).

**Tableau 4 : Consommation de matière sèche et paramètres de production de vaches en début de lactation (4<sup>e</sup> à 14<sup>e</sup> semaines de lactation) recevant du foin de luzerne récolté de manière conventionnelle ou surconditionné (adapté de Savoie *et al.*, 1994)**

Paramètre	Conventionnel	Surconditionné
Concentrés (kg MS par vache par jour)	10	10
Foin (kg MS par vache par jour)	14,03 <sup>a</sup>	16,11 <sup>b</sup>
Production (kg/jour)	29,93 <sup>b</sup>	34,32 <sup>a</sup>
% gras	3,38 <sup>a</sup>	3,40 <sup>b</sup>
% protéine	3,11 <sup>a</sup>	3,27 <sup>b</sup>
Poids vif moyen (kg)	610	619
Cote d'état de chair	2,5	2,7

<sup>a, b</sup> Les moyennes sur la même ligne avec une lettre différente sont différentes (P<.05)

Le surconditionnement accélère le séchage du fourrage. Avec ce qu'on a vu plus tôt, il semble clair que le secteur de l'ensilage d'herbe n'est pas le premier à pouvoir bénéficier du surconditionnement, puisque le soleil peut déjà faire le travail si on fait bon usage de la surface de fauche. Le traitement exige un équipement supplémentaire, un passage supplémentaire au champ et même si l'équipement était utilisé efficacement, le coût n'est pas proche de zéro. À l'opposé, les procédés de séchage à air chaud ou de déshydratation pourraient être les premiers intéressés par le procédé de surconditionnement du fait des économies potentielles d'énergie.

## LA PLANTE COUPÉE N'EST PAS MORTE

La plante ne meurt pas tout de suite après la fauche et, si elle est exposée à la lumière, ses stomates restent ouverts et la photosynthèse se poursuit. Les tissus de la plante continuent de respirer tant et aussi longtemps que les cellules ne sont pas mortes. Le changement le plus significatif durant le séchage est la perte par respiration de glucides et d'acides organiques. Cette perte de matériel hautement digestible fait que même une faible respiration peut représenter des pertes importantes. Wilkinson (1981, cité dans Kilcer, 2006) a trouvé que les pertes dues à la respiration représentaient environ 14 % de la perte totale de matière sèche de l'ensilage préfané. Si les conditions de séchage sont pauvres, les

pertes par respiration peuvent aller jusqu'à 16 %. Lorsque le séchage est retardé par des conditions très humides, les pertes par respiration peuvent même atteindre 30 % de la matière sèche initiale. Les pertes par respiration les plus importantes se produisent sous des conditions chaudes et humides. Ce sont exactement les conditions que l'on retrouve dans le centre d'un andain étroit. Pour ajouter l'insulte à l'injure, les taux de respiration sont à leur plus haut niveau dans les tissus jeunes et méristématiques, donc en pleine croissance. Ainsi, meilleur est le fourrage et plus il respire. La respiration de la plante cesse lorsque la matière sèche atteint 35-40 % ou lorsque l'oxygène est éliminé comme lors du processus d'ensilage.

L'écrasement de la tige de luzerne par le conditionnement augmente le taux de respiration comparé à la tige intacte, mais l'augmentation n'est pas proportionnelle à l'intensité de l'écrasement ou du conditionnement. Dans certains cas, il est rapporté que le taux de respiration était augmenté de 15 % avec le conditionnement. Ainsi, l'écrasement pour du matériel à être ensilé non seulement augmente le taux de respiration, mais il augmente également la durée pendant laquelle la plante continue de respirer en diminuant le mouvement de l'humidité vers les feuilles, prolongeant ainsi la période de séchage.

Les glucides représentent la majorité du substrat utilisé pour la respiration et ils sont le principal substrat métabolisé durant le séchage. La respiration se produit, et ce, que la plante soit au soleil ou à l'ombre. Tel que mentionné plus haut, les andains larges ont plus de trois fois plus de plantes exposées à la lumière que les andains étroits. C'est pourquoi, durant le jour, la majorité de la végétation dans l'andain large est en équilibre entre les glucides utilisés pour la respiration et ceux formés par la photosynthèse. Honig (1979, cité dans Kilcer, 2006) a trouvé qu'à 20 % de matière sèche et pour du matériel exposé à la lumière, l'utilisation du CO<sub>2</sub> par la photosynthèse réduisait de 50 % la production de CO<sub>2</sub> par la respiration. La réduction de la perte due à la respiration par la photosynthèse cesse lorsque le fourrage a atteint 30 % de matière sèche. Dans son expérience, ce phénomène n'a pas ajouté au poids net du matériel, mais il a permis de réduire les pertes par respiration. C'est pourquoi, lorsque les nuits sont chaudes, le fait de faucher le soir pour avoir le maximum de sucres dans le fourrage ne fonctionne pas parce que l'humidité de la nuit maintient l'humidité dans l'andain proche de 100 %, ce qui a comme effet de prolonger la respiration.

## **LA FAUCHE**

Les développements sur le plan des équipements de fauche ont été remarquables depuis les années 1950. Il faut remonter aussi loin pour voir apparaître le premier conditionneur. C'était une pièce d'équipement indépendante de la faucheuse et qui exigeait un passage supplémentaire. Progressivement, la faucheuse à barre de coupe de 7 pieds avec range foin a été remplacée par des modèles plus performants. C'est curieux de constater que pour certains projets de recherche, on ressorte la faucheuse de 7 pieds. Elle avait la propriété de

placer l'herbe fauchée sur plus de 6 pieds de largeur, soit sur 90 % de la surface. De plus, la base des tiges était placée en dessous du rang et bien alignée, perpendiculaire à la faucheuse et les feuilles étaient placées sur le dessus.

### La hauteur de coupe

Une question qu'on n'aborde pas souvent : la hauteur de coupe. Doit-on ajuster la faucheuse pour couper à 1 pouce, 2 pouces, 4 pouces? Les considérations sont nombreuses : rendement pour la coupe en question et vigueur de la repousse, valeur nutritive, survie à l'hiver, vitesse de séchage, contamination par le sol. Si on fauche plus haut, il va de soi que le rendement sera inférieur. Thomas (2006) a publié récemment les résultats d'une étude réalisée au Miner Institute de Chazy, NY (moins d'une heure de route au sud de Montréal). Les résultats sont rapportés au tableau 5. Sans grande surprise, le rendement a été réduit de 16 % en fauchant plus haut. Les différences sur le plan de la valeur nutritive étaient plus faibles qu'anticipées par l'auteur. Le résultat est un peu plus de lait par tonne pour le fourrage fauché plus haut, mais passablement moins de lait par hectare.

**Tableau 5 : Rendement et qualité de la 1<sup>re</sup> coupe d'un fourrage mélangé de luzerne et de graminées à deux hauteurs de coupe (Thomas, 2006)**

Hauteur de coupe (cm)	Rendement de matière sèche (tonnes/ha)	Protéine brute (%)	NDF (%)	NDF digestible (%)	Lait 2000 <sup>1</sup> (kg/tonne)	Lait 2000 <sup>1</sup> (kg/ha)
6	4,9	17,1	51,3	55,0	1 363	7 305
11	4,3	18,1	50,2	55,2	1 368	6 487

<sup>1</sup> Lait 2000 est une feuille de calcul développée par l'Université du Wisconsin qui permet l'estimation du potentiel laitier d'un fourrage.

**Tableau 6 : Qualité d'un fourrage mélangé de luzerne et de graminées à deux hauteurs de coupe (Thomas, 2007)<sup>2</sup>**

Paramètre	5 cm	10 cm	Probabilité (valeur P)
Protéine brute (%)	18,9	19,6	0,04
NDF (%)	48,9	47,5	0,03
Cendres (%)	8,4	8,5	0,29
Digestibilité de la NDF (%)	54,3	55,5	0,26
Lait 2000 <sup>1</sup> (kg/tonne)	1 358	1 395	
Lait 2000 <sup>1</sup> (kg/ha)	14 082	12 747	

<sup>1</sup> Lait 2000 est une feuille de calcul développée par l'Université du Wisconsin qui permet l'estimation du potentiel laitier d'un fourrage.

<sup>2</sup> Miner Institute, 2006, moyenne de 3 coupes.

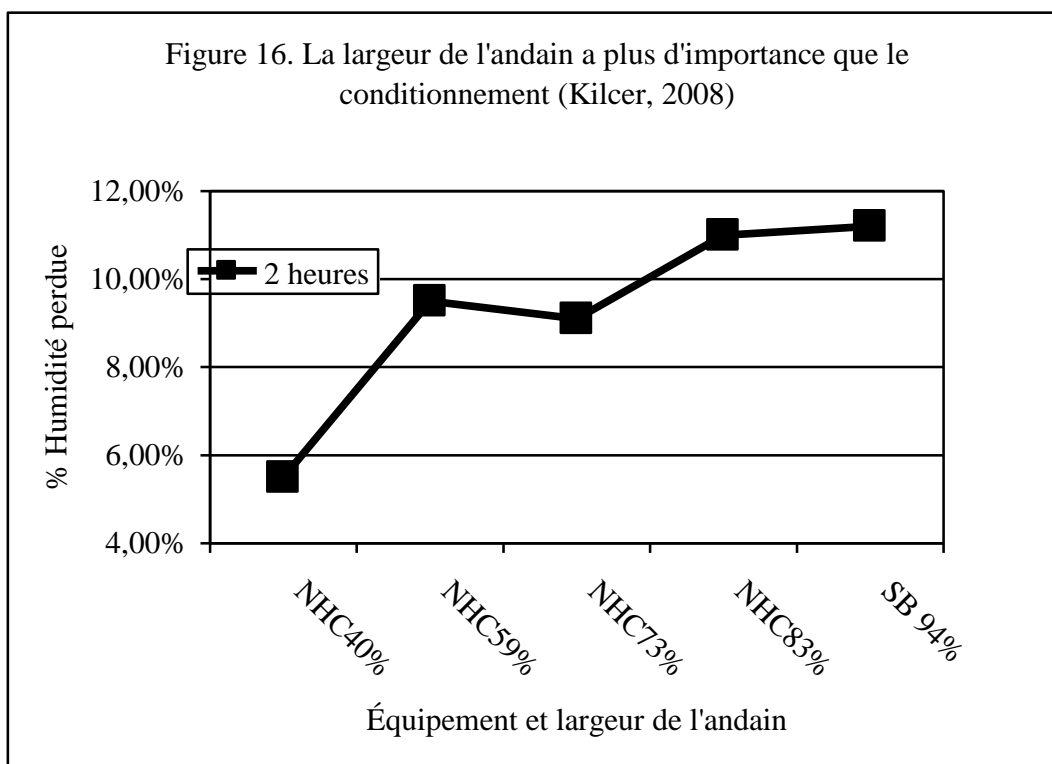
Le chercheur a poursuivi ses travaux et les résultats rapportés au tableau 6 sont la moyenne de trois coupes pour l'année 2006. La perte de rendement a ni plus ni moins confirmé la règle populaire voulant qu'on perde 560 kg de matière sèche par hectare (toutes les coupes incluses) par 2,5 cm d'augmentation de la hauteur de coupe. Les différences sur le plan de la qualité ne sont pas spectaculaires et vont dans le même sens que ce qu'on a vu précédemment. Cette fois-ci, on a mesuré le niveau de cendres. Ce dernier pourrait en effet être un indicateur du degré de contamination par le sol. L'auteur fait même la recommandation d'analyser les cendres des fourrages, frais comme après fermentation. Dès que le niveau dépasse 10 %, il suggère de vérifier au champ, pour savoir si vous ne seriez pas en train de récolter le fourrage, mais également une partie du sol... Le fait de couper plus haut aura permis un peu plus de lait par tonne de fourrage, mais passablement moins de lait par hectare. L'auteur conclut en mentionnant que la plupart des producteurs seraient d'accord à dire que 3 % plus de lait par tonne de fourrage ne compense pas pour 10 % moins de lait par hectare.

Pour conclure sur cette question, voici les recommandations formulées par l'équipe qui travaille sur les fourrages à l'Université du Wisconsin (Focus on forage) :

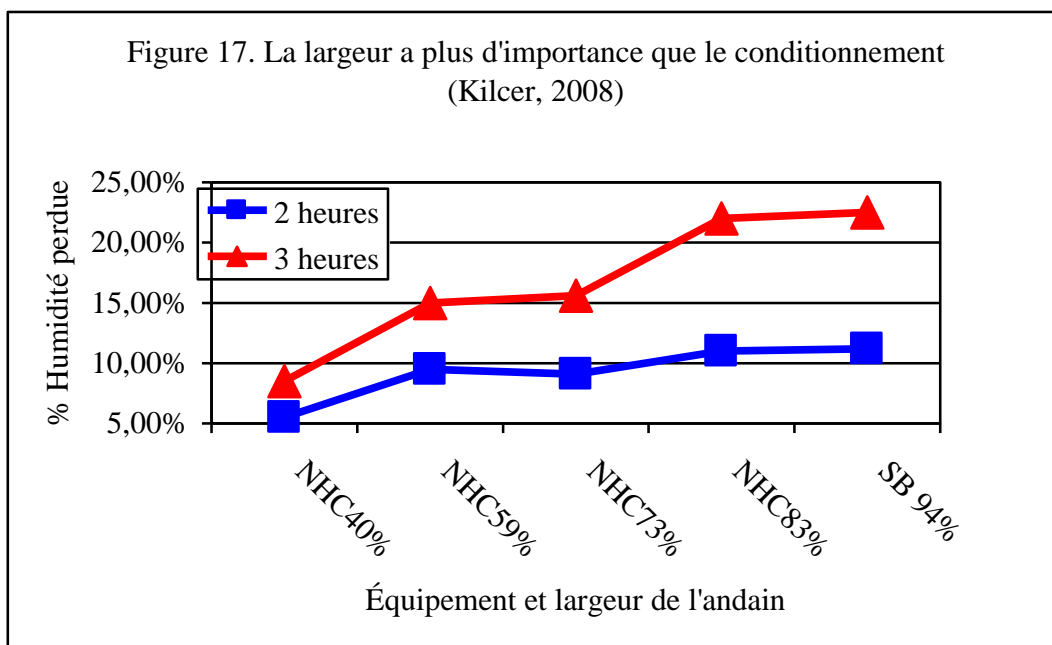
1. Couper les prairies de luzerne qui sont en santé à 2,5 cm de hauteur pour aller chercher le maximum de rendement en matière sèche et en nutriments.
2. Dans les prairies où les plants ont subi un stress associé à un excès d'eau ou encore à une inondation, ou dans les prairies où les coupes précédentes ont été hâtives et fréquentes, il est possible que les réserves en glucides au niveau des racines soient faibles. La hauteur de coupe devrait être augmentée de manière à éviter un stress supplémentaire ou pire, la mort des plants.
3. Ajuster la hauteur de coupe pour éviter les blessures aux plants, la contamination du fourrage par le sol ou le ramassage de pierre.
4. Pour les fourrages récoltés à l'automne, les producteurs devraient laisser un chaume d'au moins 10 centimètres de façon à améliorer la capture de la neige en hiver.

### **Andains larges ou étroits**

Ce qu'on a vu plus tôt concernant le processus de séchage nous oblige à revoir la stratégie appliquée par une majorité de producteurs encore aujourd'hui, qui mène à faire des andains denses et étroits, ce qui réduit considérablement le taux de séchage. L'équipe de recherche de Kilcer à l'Université Cornell a longuement étudié cette question. Ils ont comparé les résultats de différents équipements. Les résultats rapportés à la figure 16 démontrent clairement l'effet de la largeur de l'andain sur le taux de séchage. Dans les conditions qui prévalaient lors de l'expérience, le fourrage coupé et conditionné avec la faucheuse conditionneuse de marque New Holland, qui donnait un andain ne couvrant que 40 % de la surface, avait perdu moins de 6 % de son humidité deux heures après la fauche. À l'autre extrémité, le fourrage coupé avec la faucheuse latérale sans conditionnement et qui donnait un andain couvrant 94 % de la surface avait déjà perdu plus de 11 % de son humidité après deux heures.



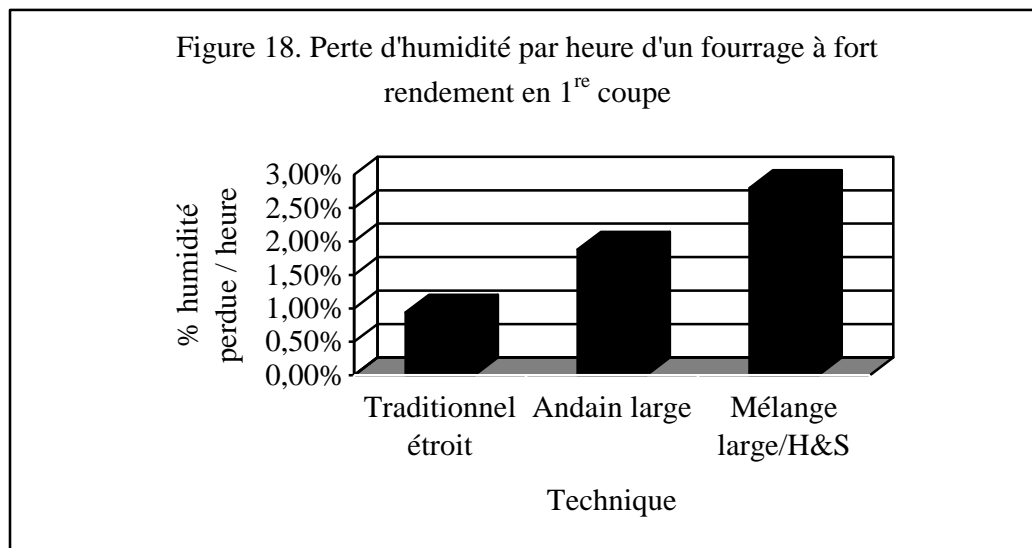
Après trois heures, les différences sont encore plus marquées (Figure 17). Le fourrage non conditionné, mais disposé en andains larges, a déjà perdu 23 % de son humidité, alors que le fourrage conditionné, mais disposé en andains étroits, n'a perdu que 8 %. Si le fourrage coupé était déjà à 75 % d'humidité au moment de la fauche, il est déjà prêt à être ensilé trois heures après la fauche puisqu'il est alors à 52 % d'humidité (48 % de matière sèche). Il est même déjà trop sec pour mettre dans un silo couloir...





Dans une autre expérience avec, cette fois-ci, un fourrage à fort rendement, ils ont pu démontrer que le taux de perte d'humidité était doublé du seul fait de disposer le fourrage en andains larges plutôt qu'étroits (Figure 18). De plus, lorsque le fourrage disposé en andains larges était déplacé avec un doubleur d'andains (mélange large et H&S), le taux de séchage était encore augmenté si bien que le fourrage était prêt à être ensilé moins de cinq heures après la fauche. Le fourrage disposé en andains étroits a eu besoin de 15 heures de séchage au champ avant d'être prêt à être ensilé.

Il va de soi que la vitesse à laquelle le fourrage perd son humidité varie beaucoup selon les conditions climatiques. Ce qui est clair, c'est que les fourrages disposés en andains larges séchent plus rapidement, un peu comme les vêtements sur la corde plutôt qu'empilés dans le panier...



### Équipements de fauche

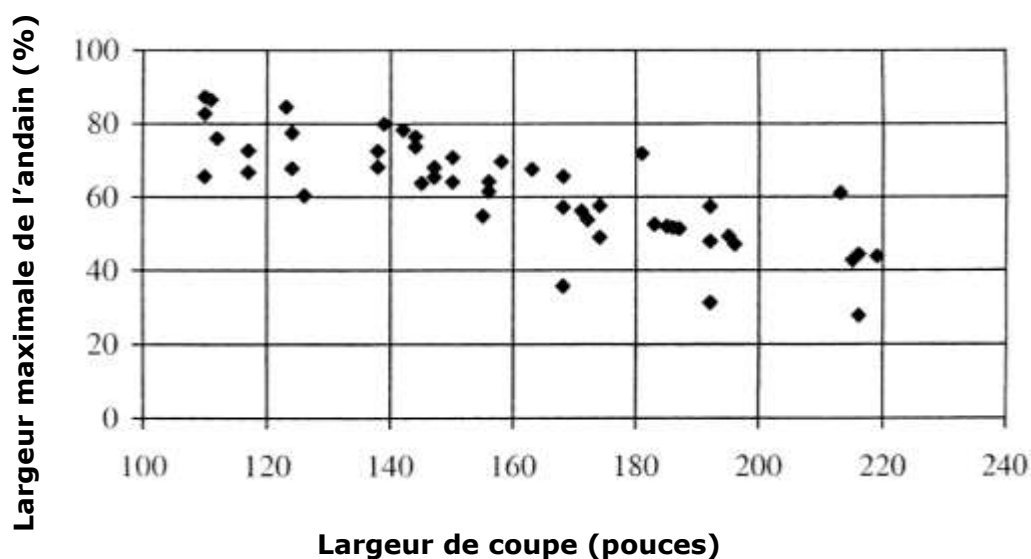
Les faucheuses conditionneuses vendues par les manufacturiers nord-américains ont un large éventail de largeur maximale de l'andain par rapport à la largeur de fauche. La largeur maximale est déterminée par la position des déflecteurs sur l'équipement. Les résultats d'une étude réalisée avec 74 modèles différents d'équipements vendus couramment en Amérique du Nord sont présentés au tableau 7. La largeur du conditionneur a été noté parce qu'elle peut influencer la largeur éventuelle de l'andain.

En moyenne, les faucheuses conditionneuses ont un ajustement permettant de produire un andain équivalent à 24,8 % de la surface au minimum (15,1 à 43,7 %) et à 61,4 % au maximum (27,8 à 87,3 %). On a établi que, pour être qualifié de large, un andain devait être disposé sur au moins 70 % de la surface de fauche. C'est dire que la moyenne des équipements ne permet pas de faire des andains larges, certains ne pouvant faire mieux que 28 %... Pour ce qui est du conditionneur, la largeur moyenne correspond à 65 % de la surface avec des écarts allant de 29 % à près de 100 %.

**Tableau 7 : Largeur relative de l'andain et du conditionneur par rapport à la largeur de coupe d'équipements vendus en Amérique du Nord (Schuler, 2006)**

	<b>(En % de la surface de fauche)</b>		
	<b>Moyenne</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
Ajustement de la largeur de l'andain			
Minimum	24,8	15,1	43,7
Maximum	61,4	27,8	87,3
Largeur du conditionneur	65,4	29,4	99,7

À partir des résultats de la même étude, on a représenté la largeur maximale de l'andain en fonction de la largeur de la faucheuse. Il semble clair que plus la largeur de fauche est importante, plus il est difficile d'avoir des andains larges (Figure 19).



**Figure 19 : Ratio (en %) de la largeur maximale de l'andain par rapport à la largeur de coupe pour des faucheuses conditionneuses vendues par des manufacturiers nord-américains\***

\* Équation de régression : largeur de l'andain (%) = 111 - 0,32 \* largeur de coupe (po) avec une corrélation de 75 % (Schuler, 2006)

**Tableau 8 : Distribution des faucheuses conditionneuses évaluées en fonction de la largeur relative de l'andain, de la largeur du conditionneur et de l'espacement des roues\***

	<b>Pourcentage de la largeur de fauche (%)</b>			
	<b>&lt; 60 %</b>	<b>60-70 %</b>	<b>70-80 %</b>	<b>&gt; 80 %</b>
Toutes les machines (n=72)				
Largeur de l'andain	31 (43 %)	24 (33 %)	10 (14 %)	7 (10 %)
Largeur du conditionneur	26 (36 %)	22 (31 %)	10 (14 %)	14 (19 %)
Automotrices (n=22)				
Largeur de l'andain	19 (86 %)	3 (14 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
Largeur du conditionneur	17 (77 %)	4 (18 %)	1 (5 %)	0 (0 %)
Espacement des roues	15 (68 %)	4 (18 %)	3 (14 %)	0 (0 %)

\* Ce dernier pour les faucheuses conditionneuses automotrices (Schuler, 2006).

Les résultats rapportés au tableau 8 nous donnent une idée de la distribution. 76 % des équipements évalués ne permettent pas de faire l'andain plus large que 70 % de la largeur de coupe. Seulement 10 % des équipements disponibles sur le marché permettent de faire un andain dépassant 80 % de la surface. Pour les faucheuses conditionneuses automotrices, les données sont encore plus révélatrices... Il y a fort à parier que le secteur manufacturier saura s'ajuster aux besoins.

Quelques mots sur le conditionneur. Les manufacturiers offrent le conditionneur à fléaux et le conditionneur à rouleaux. Il semble que le conditionneur à fléaux soit beaucoup plus populaire que le conditionneur à rouleaux. Le premier, par friction, enlève la couche de cire en surface de la plante alors que le deuxième écrase le matériel. Il semblerait que l'ajustement du conditionneur à fléaux soit plus facile que pour celui à rouleaux. Il va de soi que le conditionneur mal ajusté ne donnera pas les résultats escomptés. L'ajustement devrait être plus agressif dans les graminées que dans les légumineuses, ainsi que dans des conditions plus humides que sèches (Savoie, communications personnelles). Les deux modèles sont adaptés pour les plantes fourragères que nous produisons au Québec.

### **La faneuse**

Une ferme qui possède une faucheuse conditionneuse qui ne permet la disposition du fourrage que sur 40 % de la surface peut-elle faire des andains larges? Doit-elle changer la faucheuse? Selon l'âge de la machine, sa condition et la taille de la ferme, il se peut que ce ne soit pas une opération profitable. Certaines faneuses sont capables d'étendre un andain étroit sur toute la surface de fauche. Les faneuses à toupie développées en Europe peuvent faire le travail. Il est vrai que ça ajoute un passage au champ et que ça augmente donc le coût de la récolte. Il semblerait que le coût d'un passage se situe autour de 10 \$ par acre ou 24 \$ par hectare (René Roy, communications personnelles). Par ailleurs, si ça permet de récolter plus tôt, les risques d'intempérie sont réduits d'autant. Le fourrage qui traîne au champ trop longtemps perd aussi de sa valeur nutritive et sera possiblement moins bien consommé. Il y a un coût associé à ces pertes...

Dans une expérience réalisée à l'Université du Wisconsin, des chercheurs ont mesuré l'impact du moment du passage de la faneuse sur le taux de séchage. Le passage de la faneuse tout de suite après la fauche a accéléré le séchage. Le passage 24 heures après la fauche n'a pas permis d'améliorer le taux de séchage comparé au foin non fané.

### **Le râteau et le doubleur d'andain**

Pour les équipements vendus en Amérique du Nord, la largeur du ramasseur varie de 168 à 274 cm pour les fourragères traînées et de 274 à 462 cm pour les fourragères automotrices. La ferme qui choisit la technique de l'andain large devra forcément râtelier. Un passage de râteau peut être l'occasion de doubler les andains et de réduire de moitié la distance à parcourir par la fourragère ou la presse. Comme pour la faneuse, le coût d'un passage supplémentaire avec un râteau se situerait autour de 10 \$ par acre ou 24 \$ par hectare. Ceci alourdit l'exécution du chantier parce que ça exige une personne supplémentaire. Par ailleurs, c'est une tâche moins complexe que l'opération de la presse ou de la fourragère. Le coût supplémentaire pourrait être compensé par l'amélioration de l'efficacité de la presse ou de la fourragère. Travailler avec des andains plus larges peut entraîner un gain d'efficacité sur le plan de l'équipement de récolte (fourragère ou presse).

Pour cette opération, il est de la plus haute importance de bien ajuster l'équipement, de façon à minimiser la contamination du fourrage par le sol et les pierres. La contamination par le sol peut compromettre sérieusement la fermentation et les pierres peuvent endommager l'équipement.

## **LA RÉCOLTE**

### **Le taux d'humidité**

Il faut rappeler l'importance de récolter l'herbe au bon taux d'humidité, que ce soit pour faire de l'ensilage ou du foin. Un ensilage trop humide va bien se compacter, mais risque fort de développer une fermentation de type butyrique, va sentir mauvais, augmente les risques d'acétonémie, pourrait couler (dépendamment du type d'entreposage), endommager la structure (pire pour le silo vertical), etc. Un ensilage trop sec se compacte moins bien, risque de prolonger la phase aérobie, risque d'augmenter de façon très marquée la proportion de protéine liée à la fibre, etc. Le foin trop humide va chauffer et développer des moisissures, probablement des mycotoxines, etc.

Est-il nécessaire de rappeler que le fourrage perd de l'humidité à une vitesse très variable selon les conditions météorologiques? Il est très important d'en tenir compte dans la planification du chantier : heure de début de fauche et vitesse de fauche, râtelage, heure de début de récolte, etc. C'est presque un art que de réussir à récolter un ensilage d'herbe qui est toujours proche du taux d'humidité idéal en fonction du type d'entreposage.

## Le hachage pour entreposage en silo

La plupart des modèles de fourragères offrent un vaste choix de longueur de coupe. Des modèles permettent de hacher aussi court que 3 mm (1/8 po) et d'autres aussi long que 44 mm (1¾ po). Il est vrai que la liste des facteurs de variation de la taille des particules de l'ensilage ne se limite pas à l'ajustement de la longueur théorique de coupe sur la fourragère, mais la longueur reste un facteur qui semble souvent négligé. Pour l'ensilage d'herbe, la recommandation générale est de hacher à une longueur théorique de 19 mm (¾ po). Il est possible d'évaluer le résultat du hachage et l'outil permettant de faire cette évaluation est appelé le « Penn State Separator » : quatre boîtiers superposés avec des perforations de diamètre décroissant de haut en bas. Sur le terrain, on constate d'énormes variations d'un ensilage à l'autre. Parmi les ensilages les plus grossiers, il y a celui-ci : 51 % sur le plateau supérieur, 36 % sur le 2<sup>e</sup> plateau, 11 % sur l'avant-dernier et 1 % sur le plateau du bas pour une longueur moyenne des particules de 16,37 mm. Il y a cet autre ensilage : 54 % sur le plateau supérieur, 29 % sur le 2<sup>e</sup> plateau, 14 % sur l'avant-dernier et 4 % sur le plateau du bas pour une longueur moyenne des particules de 15,16 mm. Parmi les ensilages hachés le plus finement, il y a celui-ci : 0 % sur le plateau supérieur, 41 % sur le 2<sup>e</sup> plateau, 51 % sur l'avant-dernier et 9 % sur le plateau du bas pour une longueur moyenne des particules de 5,26 mm. L'ensilage haché très court se compacte facilement et devrait donc bien se conserver. Par contre, son potentiel à faire ruminer est moins bon, du fait que la fourragère a déjà fait une partie du travail. À l'autre extrême, l'ensilage haché très grossièrement offre un meilleur potentiel de rumination, mais il sera moins compacté et, de ce fait, sa conservation pourrait être compromise. De plus, si la capacité d'entreposage est limitée, on pourrait manquer d'espace pour tout mettre.

Roy (2008) identifie 12 facteurs qui influencent la longueur réelle de coupe des ensilages :

1. La fauche, selon qu'elle est cordée ou pêle-mêle;
2. Le conditionnement, selon qu'il est à rouleaux ou à fléaux/hérisson;
3. La mise en andain, selon qu'elle est torsadée ou pêle-mêle;
4. L'uniformité dans l'aire d'alimentation;
5. L'efficacité de la compression des rouleaux d'alimentation;
6. La vitesse des rouleaux d'alimentation. Augmentation de la vitesse signifie augmentation de la longueur;
7. Le nombre de couteaux vs le type de couteaux;
8. L'état des couteaux et l'affûtage;
9. L'ajustement de la barre de coupe;
10. L'état de la barre de coupe;
11. Le type de récolte (herbe ou maïs);
12. Les rouleaux craqueurs pour le maïs. Ils peuvent entraîner jusqu'à 25 % de réduction de la longueur de coupe.

## Le hachage pour l'ensilage de grosses balles

Le système de récolte en grosses balles rondes ou rectangulaires a, comme d'autres modes d'entreposage, ses forces et ses faiblesses. Avec l'ensilage en grosses balles, il y a plus de risques de fermentation réduite ou incomplète, donnant un ensilage dont le pH est plus élevé, un environnement moins acide et, en bout de ligne, un ensilage moins stable qu'un ensilage haché. Cela signifie qu'il faut avoir une maîtrise encore meilleure de la technique de production d'ensilage, notamment en ce qui a trait à l'exclusion de l'oxygène. Chaque balle est un mini silo avec ses conditions propres de fermentation et d'entreposage. L'ensilage qui en résulte peut varier beaucoup d'une balle à l'autre. On peut trouver une balle parfaite à côté d'une balle gaspillée.

L'ensilage en grosse balle fermente moins rapidement que l'ensilage haché. L'explication probable de ce phénomène serait que le hachage brise les cellules, rendant disponible plus rapidement le contenu cellulaire. Le hachage augmenterait également la surface de contact pour le travail des bactéries, tout en « inoculant » l'ensilage en distribuant et en augmentant les populations de microbes naturellement présents dans les fourrages. Les données présentées au tableau 9 sont très claires : il a fallu 60 jours à un ensilage de grosse balle non haché pour atteindre un pH de 5,1, alors que l'ensilage haché n'a mis que 24 heures.

La fermentation plus lente et moins complète de l'ensilage de grosse balle signifie que son pH peut se maintenir à un niveau relativement élevé pour une période prolongée après que l'ensilage ait été enrobé. Dans des conditions normales, l'ensilage haché qui a été récolté à 50-60 % d'humidité atteindra un pH inférieur à 4,5 moins d'une semaine après le moment de la récolte. Un pH inférieur à 4,5 est souvent indicateur d'une fermentation complète et réussie. Avec l'ensilage en grosse balle, il arrive souvent que le pH ne baisse pas en bas de 5,0 et il peut même se maintenir au-dessus de 6 pour une semaine ou plus après le moment de la récolte, et plus encore avec des fourrages récoltés à plus de 60 % d'humidité.

**Tableau 9 : Effet du hachage du fourrage (grosse balle vs ensilage haché) sur le pH de l'ensilage (Vough, 2006)**

Jours après l'ensilement	pH	
	Grosse balle non hachée	Ensilage haché
0	5,7	5,7
1	5,8	5,1
3	5,7	4,9
9	5,5	4,6
60	5,1	4,4

Depuis quelques années, les manufacturiers offrent différentes options sur les presses à grosses balles, incluant la possibilité de trancher la balle ou encore de précouper le fourrage au moment de la fabrication de la balle. Sur le terrain, on ne voit que très peu – voire pas du tout – de «trancheuse de balle ». On voit plus de presses équipées de précoupeuse, communément appelée « Roto cut » ou « Crop cutter ». Les options avaient été comparées dans le cadre d’une étude réalisée à l’Université Penn State (Harpster, 1999). On a comparé un ensilage de balle ronde conventionnel avec un ensilage de balle ronde tranché et précoupé. L’équipement utilisé pour les balles rondes tranchées était de marque « New Holland 644 Silage Special Baler ». L’équipement utilisé pour les balles précoupées était un prototype de presse à balle ronde muni d’un « chopper » à fléaux permettant la coupe avant la chambre à balle. Le prototype n’était donc pas exactement ce qu’on trouve aujourd’hui sur le marché. Pour des balles de mêmes dimensions, les balles tranchées et les balles précoupées étaient respectivement 14 % et 22 % plus lourdes, indiquant une augmentation marquée de la densité des balles. Berthiaume et ses collaborateurs (2000) rapportent une augmentation de la densité de l’ordre de 23 %.

Harpster (Tableau 10) a servi les ensilages ainsi récoltés à des génisses de boucherie. La période expérimentale a duré 61 jours :

- 1<sup>re</sup> période de 31 jours, avec libre accès à l’ensilage dans un soigneur conique surélevé;
- 2<sup>e</sup> période de 14 jours, avec accès limité de 2 heures par jour à l’ensilage avec le même soigneur;
- 3<sup>e</sup> période de 14 jours, avec accès limité de 2 heures par jour à l’ensilage avec un soigneur circulaire.

Peu importe la méthode d’alimentation, les génisses ont consommé davantage d’ensilage tranché que des deux autres ensilages. Le gain de poids a été supérieur avec l’ensilage tranché.

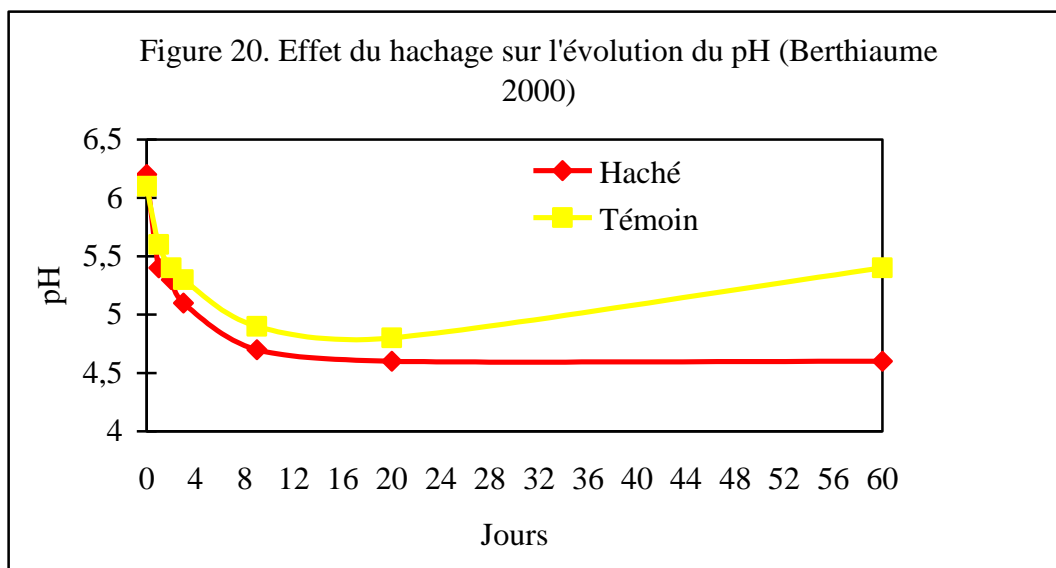
Plus près de chez nous, une équipe de recherche d’Agriculture Canada (Berthiaume, 2000) a posé l’hypothèse que le hachage des balles rondes avant l’enrobage pourrait améliorer la fermentation, réduire les pertes de matière sèche et améliorer les performances animales. On a comparé l’ensilage haché avec une presse de marque Krone, modèle KR 130, munie alors d’un système de hachage, avec un autre ensilage récolté avec une presse de marque Claas, modèle Rollant 46. Les andains étaient récoltés en alternance avec l’une ou l’autre des deux presses.

**Tableau 10 : Effet du traitement de balles rondes d’ensilage de luzerne sur la consommation et les performances de génisses de boucherie (Harpster, 1999)**

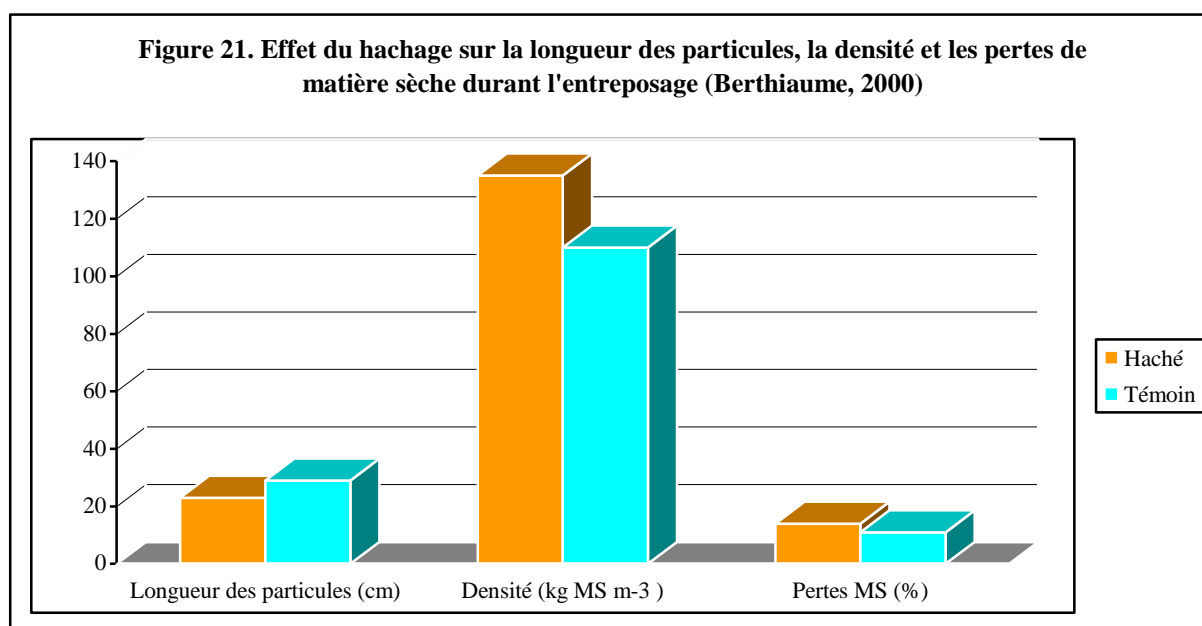
	Traitement		
	Aucun	Tranchée	Précoupée
Consommation (kg/tête/jour)			
Période 1	10,84	11,43	11,25
Période 2	6,08	6,76	5,99
Période 3	6,12	7,67	6,49
Gain de poids (kg/jour)	0,81 <sup>a</sup> *	1,00 <sup>b</sup>	0,72 <sup>a</sup>

\* P < 0,05

L'effet du hachage sur le pH de l'ensilage a été marqué, le pH de l'ensilage haché s'étant toujours maintenu en bas de celui de l'ensilage non haché (Figure 20). Au 60<sup>e</sup> jour, le pH de l'ensilage haché était de 4,6 alors que celui de l'ensilage non haché avait remonté à 5,4.



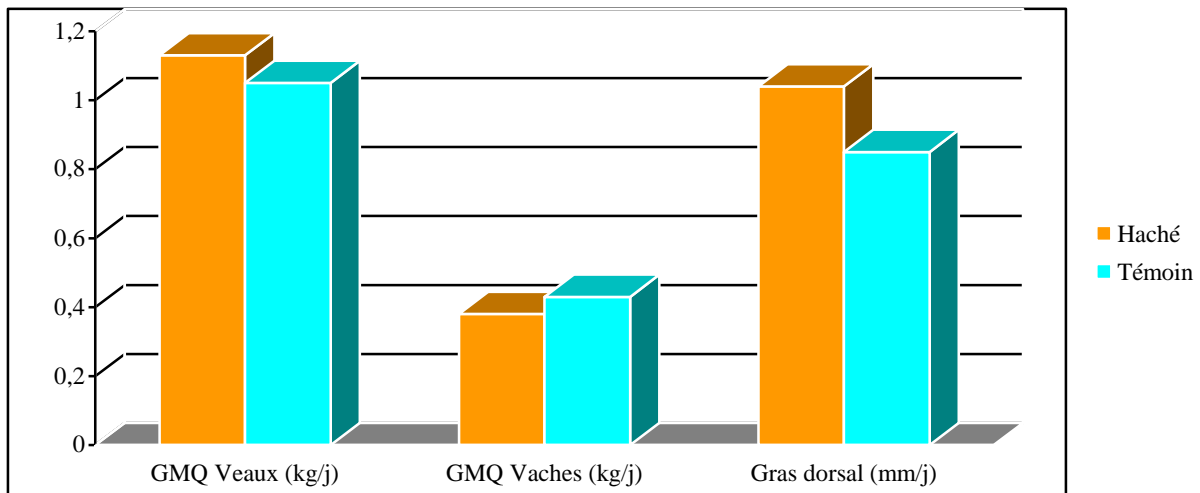
Le hachage a réduit la taille des particules de 29 à 23 centimètres et l'effet a été significatif (Figure 21). Il a également eu un effet significatif sur la densité des balles. Le hachage n'a pas eu d'effet sur les pertes de matière sèche.



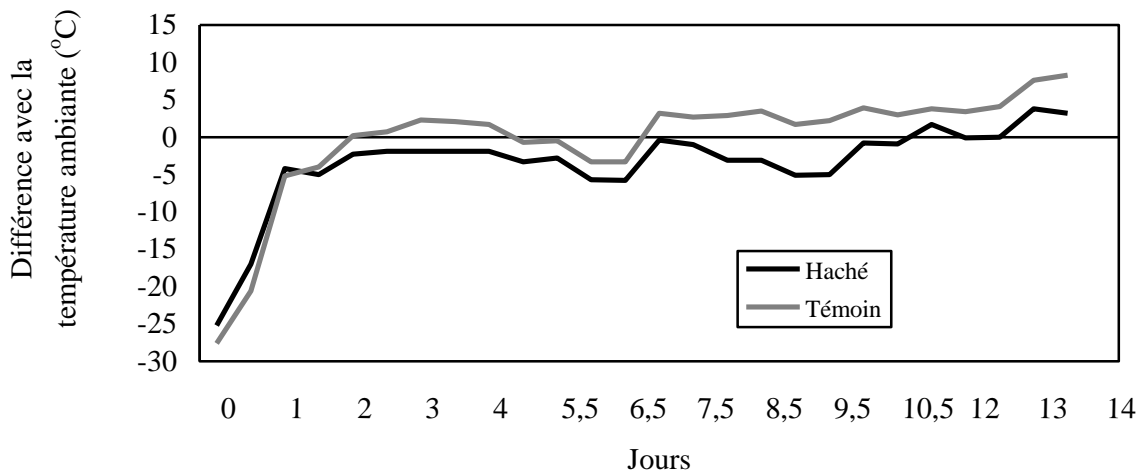


Les chercheurs ont servi les deux ensilages à 24 paires de vaches de boucherie avec leur veau et ils n'ont mesuré aucune différence significative au niveau des performances animales (Figure 22). Quant à l'effet sur la stabilité à la reprise, les différences n'étaient pas très importantes, bien qu'à l'avantage de l'ensilage haché. Ceci explique les conclusions des chercheurs : le coût du système de hachage doit se justifier par l'économie de ficelle et de plastique.

**Figure 22. Effet du hachage sur les performances animales (Berthiaume, 2000)**



**Figure 23. Effet du hachage sur la stabilité aérobie des balles rondes (Berthiaume, 2000)**



Nous pourrions ajouter quelques éléments de réflexion concernant la question du hachage des grosses balles au moment de leur fabrication :

- L'augmentation de la densité des grosses balles permet de réduire les coûts de plastique et de corde, mais aussi les coûts de transport et l'espace requis pour l'entreposage.
- Dépendant des conditions d'étable, il arrive que le hachage des grosses balles permette de réduire le gaspillage, les vaches en projetant moins sous elles.
- L'incorporation d'ensilage de grosses balles hachées dans une ration totale mélangée est souvent plus facile par comparaison avec l'ensilage non haché.

### **Réduire la phase aérobie**

C'est connu, l'oxygène est un ennemi redoutable de l'ensilage, parce qu'il prolonge la phase de respiration et parce qu'il permet la croissance d'organismes non désirables, notamment les moisissures. Il est de la plus haute importance de réduire le plus possible la période d'exposition de l'ensilage. C'est ce qu'on réussit à faire si on remplit un silo vertical étanche en quelques heures ou si on ferme un silo presse dès le moment où on a fini de le remplir. Pour les grosses balles, il s'agit d'enrober le plus rapidement possible après la fabrication de la balle avec une épaisseur de plastique suffisante. Undersander (2003) a réalisé une étude où il a mesuré la température de l'ensilage dans la balle à différents moments selon le délai entre la fabrication et l'enrobage. L'expérience a été réalisée à l'Université du Wisconsin en septembre et il avait un ensilage mélangé de luzerne et de graminées. L'épaisseur du plastique était de 8 millièmes. Il a également comparé un ensilage à 63 % d'humidité avec un ensilage à 36 %. Les résultats sont éloquentes (Figures 24 et 25). Chaque journée de retard a un effet très marqué sur la température de la balle. Or, les températures élevées dans une masse d'ensilage peuvent causer des dommages. Lorsque la température dépasse 40 °C et en présence d'oxygène, il se produit une réaction chimique entre les sucres solubles, les protéines et les acides aminés. Le produit qui est résulte est un polymère brun ressemblant à la lignine qui donne à l'ensilage sa couleur brune et son odeur de tabac ou de caramel. Cela donne un ensilage que les vaches consomment avec appétit, mais c'est un fourrage qui n'est pas très nourrissant, du fait de la diminution de la digestibilité de la protéine et de sa valeur énergétique.

De routine, les laboratoires d'analyse des aliments font l'analyse de la protéine liée à la fibre. Les résultats de l'expérience de Macauley (2004) rapportés à la figure 26 illustrent bien l'effet désastreux sur la digestibilité de la protéine d'un ensilage qui chaufferait trop et trop longtemps. Même à 43 °C, une température pourtant assez proche de la température corporelle, la perte de digestibilité dépasse 6 % si cette température se maintient pour 18 jours. Que dire de l'ensilage qui chauffe au point qu'il faille des gants pour prendre un échantillon, au risque de se brûler...

Figure 24. Effet du délai entre la fabrication et l'enrobage sur la température intérieure de la balle (balles à 63 % humidité)  
(Undersander, 2003)

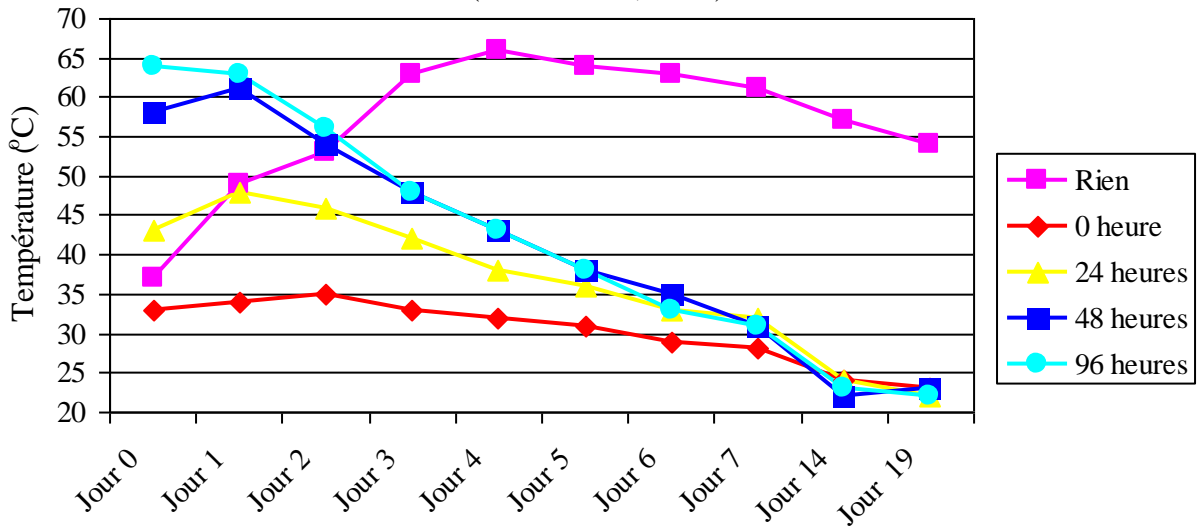


Figure 25. Effet du délai entre la fabrication et l'enrobage sur la température intérieure de la balle (balles à 36% d'humidité)  
(Undersander, 2003)

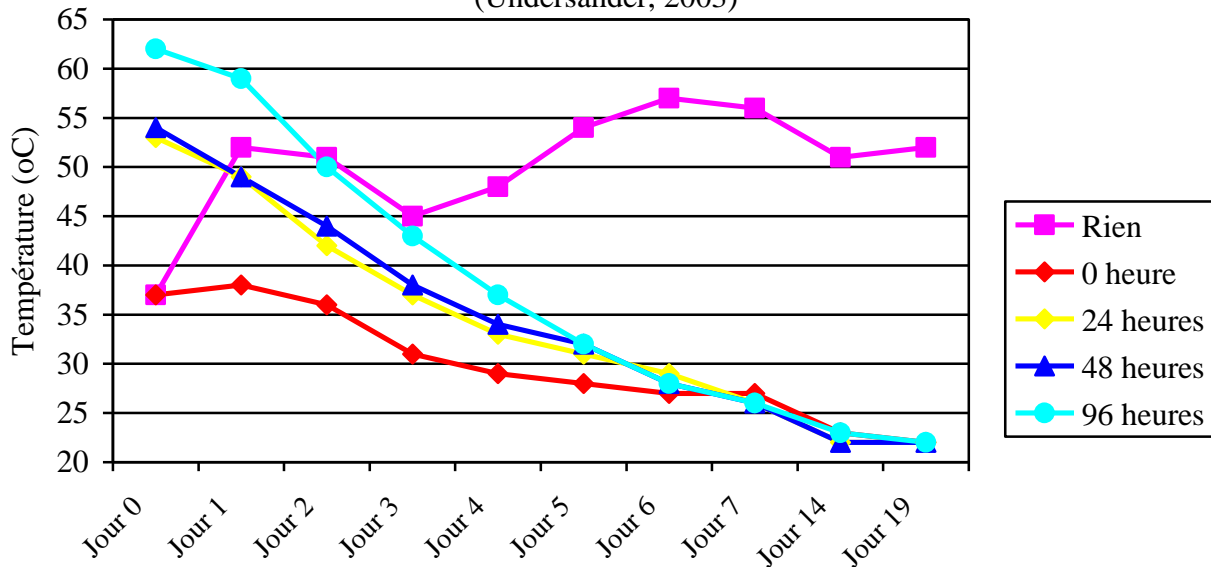
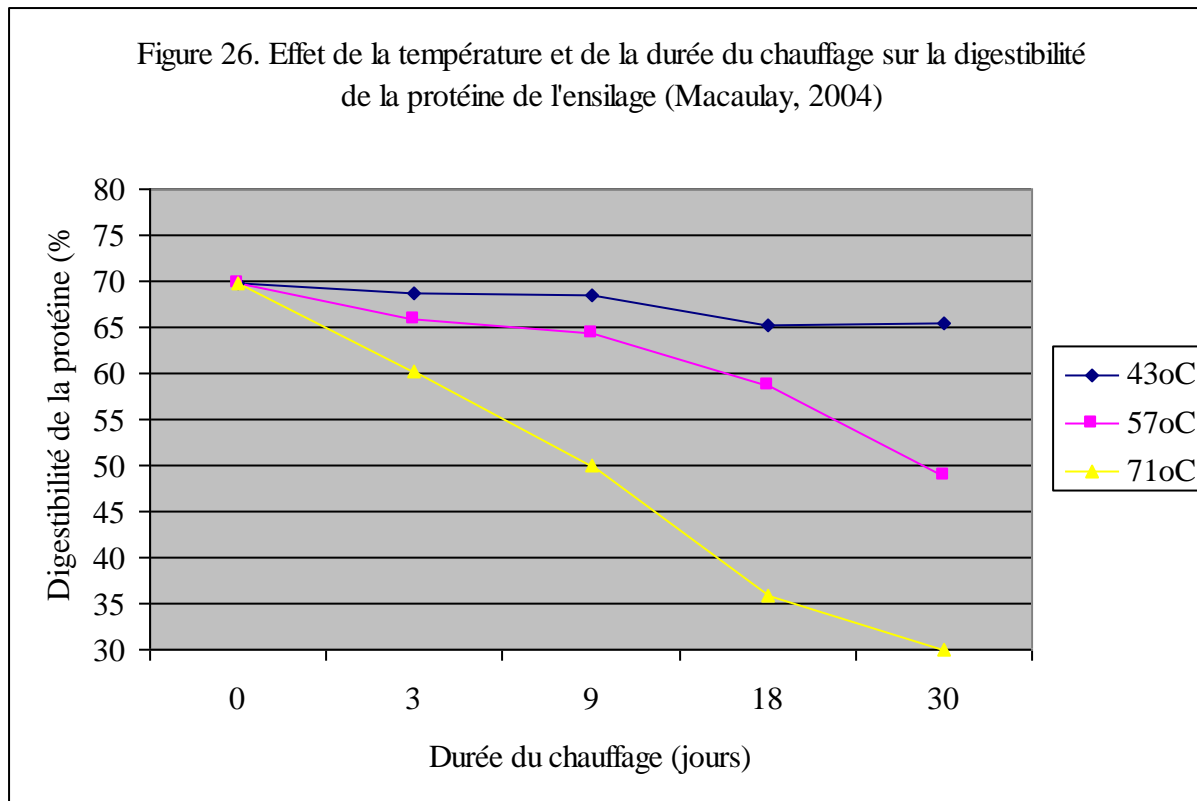
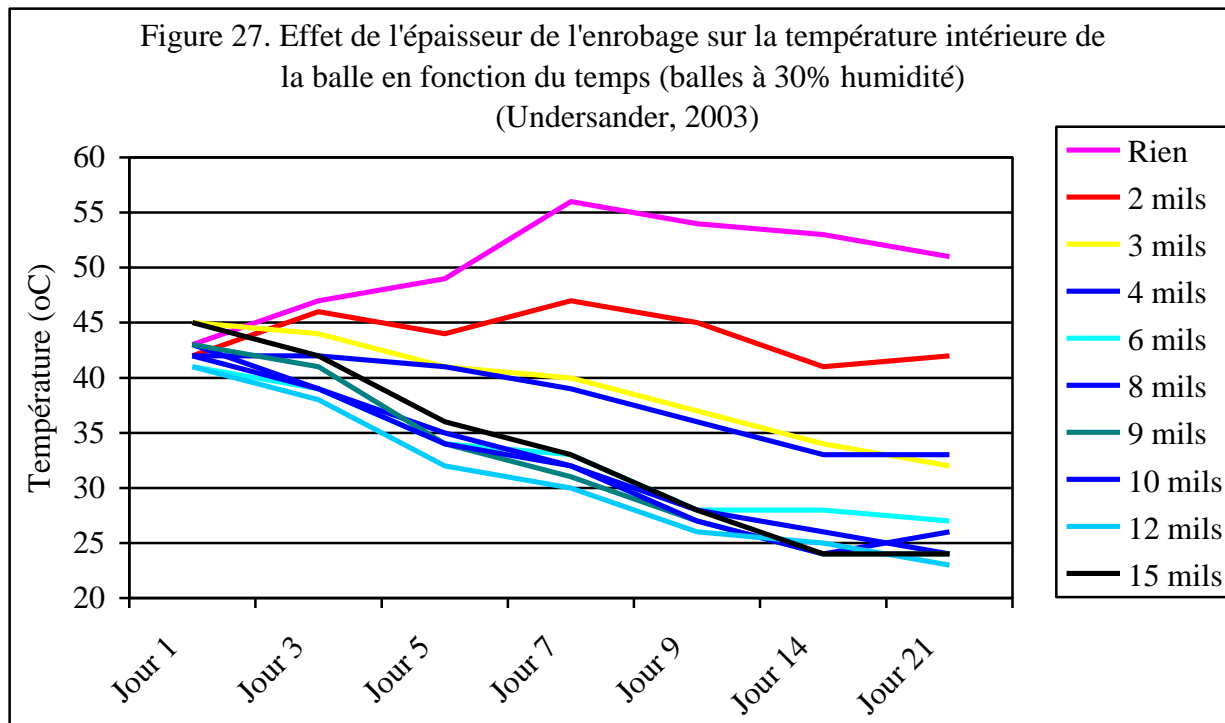


Figure 26. Effet de la température et de la durée du chauffage sur la digestibilité de la protéine de l'ensilage (Macaulay, 2004)



Pour les grosses balles, il faut enrober au plus vite. Il y a également la question de l'épaisseur du plastique. La même équipe de recherche s'est penchée sur la question. L'unité de mesure utilisée dans le commerce est le millième de pouce (mil). Un mil correspond à 0,0254 mm. Les conclusions de l'étude : les balles devraient être enrobées d'une épaisseur minimale de 6 mils si la période prévue d'entreposage n'excède pas le printemps ou l'été de l'année suivante. Pour une meilleure protection contre les trous et les déchirures, une épaisseur de 8 mils serait encore meilleure. Les grosses balles rectangulaires pourraient demander un enrobage plus épais dû à la plus grande surface de contact avec le sol. Il semble que l'épaisseur de l'enrobage soit plus importante que le nombre de couches de plastique. En d'autres mots, 4 couches de 1,5 mil ou 6 couches de 1,0 mil vont donner les mêmes résultats. Ils recommandent l'utilisation de plastique qui résiste aux rayons ultraviolets du soleil. Certains manufacturiers de plastique recommandent d'utiliser la corde de plastique ou la corde de sisal non traitée, du fait que l'huile provenant de la corde de sisal traitée pourrait briser la protection contre les rayons ultraviolets du plastique. Ils recommandent d'étirer le plastique à 50-55 % pour obtenir la tension désirée. Ils déconseillent d'enrober les balles sous la pluie parce que l'eau peut endommager le joint entre les couches de plastique.



Pour les silos couloir et les silos meules, le défi est tout aussi important. Les surfaces potentiellement exposées à l'air sont considérables. Savoie (2007) a revu les règles de base au niveau du remplissage, de la couverture et de la reprise pour le silo couloir et nous vous invitons à y référer pour plus de détails. Avec l'augmentation du prix des intrants (diesel, engrais, etc.), il serait hasardeux de faire comme si les pertes soit par fermentation, soit par détérioration en surface n'existaient pas. Perdre 5 % de 1000 tonnes d'ensilage qu'on estimerait à 10 \$ la tonne ne représenterait que 500 \$. Si le coût de production est plutôt de 75 \$, le montant est plus significatif...

La perte d'ensilage dans la zone la plus près de la surface, mis à part l'ensilage noirci, moisi et donc gaspillé, ne saute pas aux yeux. De 1990 à 1993, une équipe de recherche a étudié l'ensilage provenant de 127 silos couloir et silos meules. L'analyse du niveau de cendres a servi de base pour évaluer les pertes de matière sèche. L'approche est logique. Les microbes réalisant la fermentation de l'ensilage utilisent les sucres, la protéine et les acides aminés, ce qui a pour effet de concentrer davantage les composés non digestibles comme la lignine et les composés insolubles et non volatils comme les cendres. Les échantillons de référence étaient prélevés à au moins 5 pieds (1,5 mètre) de la surface. Les pertes sont exprimées en pourcentage de perte en sus des pertes normales par fermentation. Le fait de couvrir ne permet pas d'éliminer la perte puisque dans les premiers 18 pouces (46 cm), la moyenne a été de 20 %. C'est beaucoup, mais comparé à 47 % pour les silos non couverts, la différence est remarquable. Pour la zone de 18 à 36 pouces (46-91 cm), la perte additionnelle a été de 5 % pour les silos couverts et de 11 % pour les silos non couverts. Est-ce payant de couvrir?

Dans un silo couloir mesurant 24' x 8' x 100' (7,1 m x 2,4 m x 30 m) où l'ensilage a été bien compacté, il entre 130 tonnes de matière sèche pour une valeur de 26 000 \$, si on calcule l'ensilage à 200 \$ la tonne de matière sèche. La perte dans les 3 premiers pieds (91 cm) pour le silo fermé sera de 1 600 \$ et de 3 800 \$ pour le silo non fermé. Dans un silo couloir mesurant 40' x 12' x 100' (12 m x 3,7 m x 30 m) où l'ensilage a été bien compacté, il entre 325 tonnes de matière sèche soit une valeur de 65 000 \$ (à 200 \$ la tonne de matière sèche). La perte dans les 3 premiers pieds pour le silo fermé sera de 3 100 \$ et de 7 100 \$ pour le silo non fermé. Est-ce que ça paie la toile, le travail, etc.?

**Tableau 11 : Impact de fermer ou de ne pas fermer le silo couloir ou le silo meule, sur l'augmentation des pertes de matière organique à différentes profondeurs (adapté de Berger, 2006)**

(Sur 4 années de mesure)	Non couvert	Couvert
Nombre de silos		
1990	25	5
1991	22	8
1992	37	9
1993	20	1
	<b>Pertes en sus des pertes par fermentation (en % de la couche concernée)</b>	
Pertes de matière organique (0-18 po)		
1990	43	27
1991	61	24
1992	41	23
1993	43	7
Moyenne	47	20
Pertes de matière organique (18-36 po)		
1990	6	2
1991	17	4
1992	12	9
1993	10	3
Moyenne	11	5

### Inoculant

La recherche s'est intéressée depuis de nombreuses années au processus de fermentation et aux moyens qui permettraient d'en améliorer le résultat. La liste des additifs et des inhibiteurs de moisissures pour fourrages enregistrés au Canada est mise à jour sur une base relativement régulière par l'équipe de Carole Lafrenière, en Abitibi. On peut y accéder à l'adresse : [http://urdaat.ugat.ca/page4/files/additifs\\_inhibiteurs.pdf](http://urdaat.ugat.ca/page4/files/additifs_inhibiteurs.pdf) .

Le Québec est actif dans le secteur de la recherche sur les ensilages. On n'a qu'à penser aux travaux récents de Lafrenière et son équipe sur les ensilages butyriques. On y apprend que le sol est un réservoir naturel pour les spores de *Clostridium*, un microorganisme qui peut entraîner des problèmes sérieux pour la fabrication fromagère, mais aussi pour la fermentation de l'ensilage. C'est pourquoi il est important de minimiser la contamination de l'ensilage par le sol. Il va de soi que la contamination par le fumier est aussi à éviter. Il est d'ailleurs approprié de parler d'hygiène à la récolte (Lefebvre, communications personnelles) pour décrire toute source possible de contamination : résidus d'ensilage gaspillé dans le silo à remplir, boue sur les roues du camion, résidus de culture comme le chaume de l'année précédente, etc.

Il est possible de bien conserver un ensilage sans l'ajout d'additif ou d'inoculant puisque, sous des conditions propices, l'inoculation naturelle de l'ensilage peut être généreuse et favorable. L'ajout de produits ne peut d'ailleurs pas compenser pour des manquements sérieux aux règles de base de fabrication d'un bon ensilage.

Les inoculants à fourrages sont des produits biologiques qui sont une source de bactéries vivantes et viables, parfois combinés à des enzymes (Kung, 2006; Lallemand). Les bactéries présentes dans l'inoculant sont ajoutées au fourrage fraîchement récolté pour l'inoculer, un peu comme on ajoute des levures vivantes à la pâte pour faire le pain. Les enzymes, lorsque présentes, sont là pour générer des sucres, que les bactéries pourront utiliser pour leur croissance. La croissance des bactéries permet la production d'acides durant le processus de fermentation, convertissant ainsi un fourrage frais à pH proche de la neutralité en un produit acide (ensilage).

Les inoculants sont utilisés pour deux raisons principales :

1. Pour stimuler une fermentation rapide (aide à la fermentation);
2. Pour inhiber la détérioration du matériel en aérobie (inhibiteur de détérioration).

Le premier groupe de produits contient généralement des bactéries lactiques homofermentaires, c'est-à-dire qui produisent uniquement de l'acide lactique. Ces produits sont surtout utilisés dans les fourrages récoltés relativement humides, relativement pauvres en glucides fermentescibles et qui ont un pouvoir tampon relativement élevé (par exemple : luzerne, trèfle, graminées).

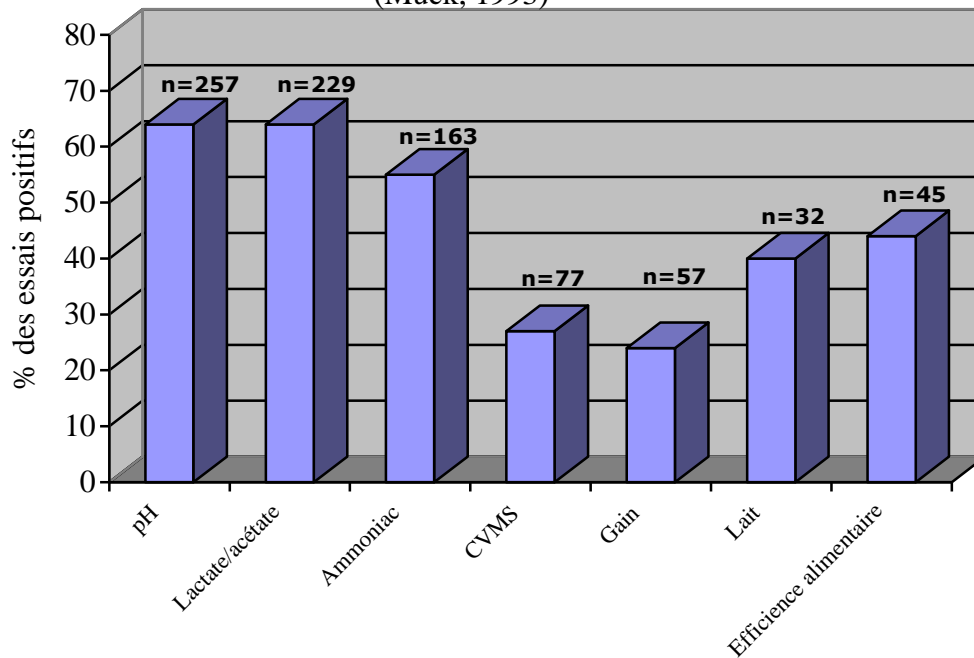
Le second groupe de produits peut contenir certains lactobacilles spécifiques comme *Lactobacillus buchneri* ou encore des bactéries pouvant produire de l'acide propionique. Ces produits sont conçus pour être utilisés dans des fourrages plus susceptibles à l'instabilité en présence d'air, tels les ensilages d'herbe à plus de 35 % de matière sèche, les ensilages de maïs et de céréales, le maïs et les céréales humides et l'ensilage en grosses balles. Nous reviendrons plus loin sur la question de la stabilité en aérobie.

Les produits qui permettent d'accélérer le processus de fermentation vont causer une chute plus rapide du pH. Comme l'acide lactique est un acide plus fort que l'acide acétique, le pH final devrait être plus bas. Ceci est notamment attribuable au fait que les bactéries homofermentaires peuvent continuer de croître à un pH inférieur par rapport à d'autres groupes de bactéries. Les fermentations homofermentaires des sucres ne devraient pas entraîner de perte de matière sèche, alors que la perte peut être significative avec les fermentations hétérofermentaires. Globalement, on peut s'attendre à ce que l'ajout d'un inoculant lactique améliore la récupération de la matière sèche de 1 à 3 %. Il ne faut pas s'attendre à des changements majeurs, ni au niveau de la dégradation de la protéine, ni au niveau de la fibre du fourrage. L'ajout d'inoculant lactique peut avoir un effet variable sur la stabilité en aérobie. Le chauffage tôt après la reprise est initié par les levures. Les levures sont inhibées par certains acides dont les acides acétique, propionique et butyrique et le degré d'inhibition augmente avec un pH inférieur. Par conséquent, si l'inoculant diminue le niveau d'acide acétique dans l'ensilage, la stabilité en aérobie peut être réduite. Un autre facteur qui peut jouer : les microorganismes responsables de la détérioration ont une croissance plus rapide et préfèrent croître sur les sucres que sur les produits de fermentation. Comme l'inoculant peut augmenter la quantité de sucres résiduels, il est possible qu'il réduise sa stabilité à la reprise.

Finalement, on ne devrait pas s'attendre à des améliorations spectaculaires sur le plan des performances animales, mis à part le fait que l'ensilage pourrait être mieux conservé, donc possiblement mieux consommé. Globalement, les inoculants ne devraient pas améliorer les performances animales de plus de 1 %. En 1993, Muck a revu dans la littérature les résultats des études publiées en rapport avec des essais d'inoculants. Sans trop de surprise, les inoculants étaient particulièrement efficaces à améliorer la fermentation. Dans environ les deux tiers des essais, les inoculants ont réussi à abaisser le pH et à augmenter le ratio lactate : acétate. Les inoculants ont été moins efficaces à améliorer la fermentation des ensilages de maïs (40 %) que des ensilages de luzerne (75 %) ou de graminées (71 %). Le niveau d'ammoniac était réduit dans plus de la moitié des essais. La récupération de la matière sèche s'est améliorée dans environ 60 % des essais et, dans les essais où il y a eu amélioration, elle était de l'ordre de 2 à 3 points de pourcentage. L'amélioration des performances animales a pu être mesurée dans 25 % à plus de 40 % des essais, selon le paramètre mesuré. La production laitière s'est améliorée dans 40 % des essais.



Figure 28. Pourcentage des essais publiés (1985-1992) où l'inoculant a amélioré de façon significative la fermentation ou les performance animales (Muck, 1993)



Sommairement, on peut penser que l'utilisation d'un inoculant pourrait se justifier, ne serait-ce que par l'amélioration de la récupération de la matière sèche. Deux pour cent d'un ensilage à 80 \$ par tonne à 40 % de matière sèche (200 \$ par tonne de matière sèche) vaut 1,60 \$ par tonne d'ensilage sur une base *tel que servi*. Si le producteur est en situation de surplus de fourrages et que la valeur marchande des surplus est très faible, la décision devrait être différente.

Kung (2006), un expert dans le secteur de l'ensilage, fait un rappel des choses à considérer dans le choix d'un inoculant.

1. Y a-t-il des données de recherche qui supportent l'usage pour lequel le produit est offert?
2. Est-ce que les procédés de fabrication du produit sont soumis à un rigoureux contrôle de qualité? Il faut rappeler que le produit est du matériel vivant.
3. Est-ce que le produit est emballé de façon appropriée? Il doit être protégé de l'exposition à l'humidité, à la chaleur et à l'air.
4. Bien lire l'étiquette. Est-ce que les mentions sur l'étiquette sont cohérentes avec ce qui est dit ou écrit sur le produit?
  - a. Niveau d'enzymes. Si le produit contient des enzymes, on devrait retrouver des niveaux garantis sur l'étiquette.
  - b. Conditions d'entreposage. Elles doivent être lues, comprises et respectées.

- c. Date d'expiration. Comme c'est du matériel vivant, le produit dont la date d'expiration est dépassée ne devrait pas être utilisé.
5. La présentation du produit. L'application d'un produit granulaire est plus facile, mais n'est pas aussi efficace qu'un produit liquide et, plus l'ensilage est sec, moins le produit granulaire est efficace.
6. La stabilité du produit dans l'applicateur. Les bactéries dans l'applicateur peuvent mourir rapidement selon les conditions. Certains produits peuvent être moins affectés que d'autres par des conditions adverses.
7. Est-ce que le produit répond à vos attentes? Avez-vous besoin d'accélérer la fermentation ou d'améliorer la stabilité à la reprise? Il importe de choisir le produit qui convienne.
8. Calibrer votre applicateur. Un bon produit mal utilisé ne donnera pas les résultats escomptés.

Kung (2006) conclut en mentionnant que les inoculants ne sont pas des produits miracles qui pourraient compenser pour une mauvaise régie de fabrication d'ensilage. Ils ne sont que des outils pour aider un processus déjà bien maîtrisé.

### **Acide propionique**

La fermeture du silo est souhaitable, parce qu'elle permet de couper court à la phase en aérobie. Ce n'est pas toujours possible. La ferme qui n'a qu'un seul silo vertical et qui n'a pas d'autres approvisionnements en fourrages (grosses balles, pâturage, silo couloir, silo presse, etc.) ne peut se permettre de fermer le silo. Il faut déjà baisser le désileur sur l'ensilage fraîchement récolté et soigner le troupeau. Dans de telles conditions, il peut être intéressant d'ajouter un produit à base d'acide propionique dans les dernières boîtes d'ensilage. L'acide propionique a quelques propriétés intéressantes, incluant une puissante activité contre le développement des moisissures.

### **LA REPRISE**

Si tout s'est bien passé, nous avons à servir aux sujets du troupeau un fourrage bien conservé, qui a une odeur agréable, une belle couleur et qui est à une température voisine de la température ambiante.

### **L'ensilage gaspillé**

Il est possible qu'une couche mince (on le souhaite) d'ensilage doive être jetée, celle sur le dessus du silo ou celle du pourtour de la grosse balle. Est-il important de le jeter? On pourrait faire comme si tout est correct, et mélanger cet ensilage au reste. Ce serait plus simple. Dans un silo vertical, le désileur peut faire le travail. Sur le dessus d'un silo couloir au milieu de février, c'est plus facile à dire qu'à faire. Une équipe de recherche a préparé un protocole permettant d'étudier l'effet de mélanger l'ensilage gaspillé du dessus du silo avec

de l'ensilage bien conservé. Afin d'avoir de l'ensilage gaspillé pour l'expérience, ils ont mis 3 pieds (91 cm) d'épaisseur d'ensilage de maïs dans un silo couloir de faible dimension. Ils ne l'ont couvert qu'après 90 jours. À la fin, la couche originale de 18 pouces (46 cm) du dessus ne mesurait plus que 7 pouces (18 cm) et avait mauvaise apparence : odeur nauséabonde, couleur très foncée, texture visqueuse, un peu comme de la boue. Son pH était de 8,22, donc très anormal. La couche originale de 18 pouces (46 cm) au fond mesurait 15 pouces (38 cm) à la fin. Elle avait l'apparence et l'odeur d'un ensilage très humide, très acide, une couleur jaune pâle, un pH faible de 3,67 et une forte odeur de vinaigre. C'est dire que l'ensilage gaspillé était un peu l'équivalent de 22 pouces (56 cm) d'ensilage sur le dessus d'un silo couloir qui n'aurait pas été couvert. Une telle épaisseur représenterait près de 25 % de l'ensilage dans un silo couloir de 8 pieds (2,4 m) de hauteur...

À 12 bouvillons munis d'une canule ruminale, ils ont servi une ration constituée à 10 % d'un supplément et à 90 % d'ensilage. Pour la portion d'ensilage, elle était composée de :

- A. 100 % ensilage normal
- B. 75 % normal et 25 % gaspillé
- C. 50 % normal et 50 % gaspillé
- D. 25 % normal et 75 % gaspillé

**Tableau 12 : Effet de l'inclusion d'une certaine proportion d'ensilage gaspillé dans la ration de bouvillons en croissance sur la consommation de matière sèche et sa digestibilité (Whitlock, 2000)**

Paramètre	Ration			
	A (0) <sup>1</sup>	B (5,4 %) <sup>1</sup>	C (10,7 %) <sup>1</sup>	D (16,0 %) <sup>1</sup>
Consommation de matière sèche (kg/jour)	7,9 <sup>a</sup>	7,3 <sup>b</sup>	6,9 <sup>b, c</sup>	6,7 <sup>c</sup>
Digestibilité (%)				
Matière organique	75,6 <sup>a</sup>	70,6 <sup>b</sup>	69,0 <sup>b</sup>	67,8 <sup>b</sup>
Protéine	74,6 <sup>a</sup>	70,5 <sup>b</sup>	68,0 <sup>b</sup>	62,8 <sup>c</sup>
NDF	63,2 <sup>a</sup>	56,0 <sup>b</sup>	52,5 <sup>b</sup>	52,3 <sup>b</sup>
ADF	56,1 <sup>a</sup>	46,2 <sup>b</sup>	41,3 <sup>b</sup>	40,5 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Proportion de la couche originale de 18 pouces (46 cm) dans la ration (% de la matière sèche).

<sup>a, b, c</sup> Les moyennes sur la même ligne avec une lettre différente sont différentes (P<.05).

La comparaison entre un bouvillon et une vache forte productrice est boiteuse. Le bouvillon a des besoins plutôt modestes et il consomme à peine plus de matière sèche qu'une vache tarie (en % de son poids vif). Pourtant, l'inclusion d'ensilage gaspillé a affecté les bouvillons. La consommation de matière sèche a baissé de plus de 7 % au niveau le plus faible d'inclusion. Ce n'est pas forcément une surprise. Quand on sait à quel point la consommation est critique pour la vache laitière...

Ce qui était un peu moins prévisible, c'est que l'inclusion d'ensilage gaspillé a affecté la digestibilité de l'ensemble de la ration. Au plus bas taux d'inclusion, la digestibilité a baissé de :

- 6,6 % pour la matière organique
- 5,5 % pour la protéine
- 11,4 % pour la NDF
- 17,6 % pour l'ADF

Une baisse de consommation combinée à une baisse de digestibilité entraîne évidemment une baisse d'ingestion de nutriments parce que les deux s'additionnent. C'est ainsi que les bouvillons au plus bas taux d'inclusion ont reçu près de 14 % moins de matière organique digestible, 12,5 % moins de protéine digestible, 18 % moins de NDF digestible et près de 24 % moins d'ADF digestible. Que devrait-on faire dorénavant avec l'ensilage gaspillé? Groupe 1? Groupe 3? Les taries? Les taures? La fosse? Il va de soi que la couverture du silo va permettre de minimiser l'épaisseur de la couche gaspillée.

### **La stabilité à la reprise**

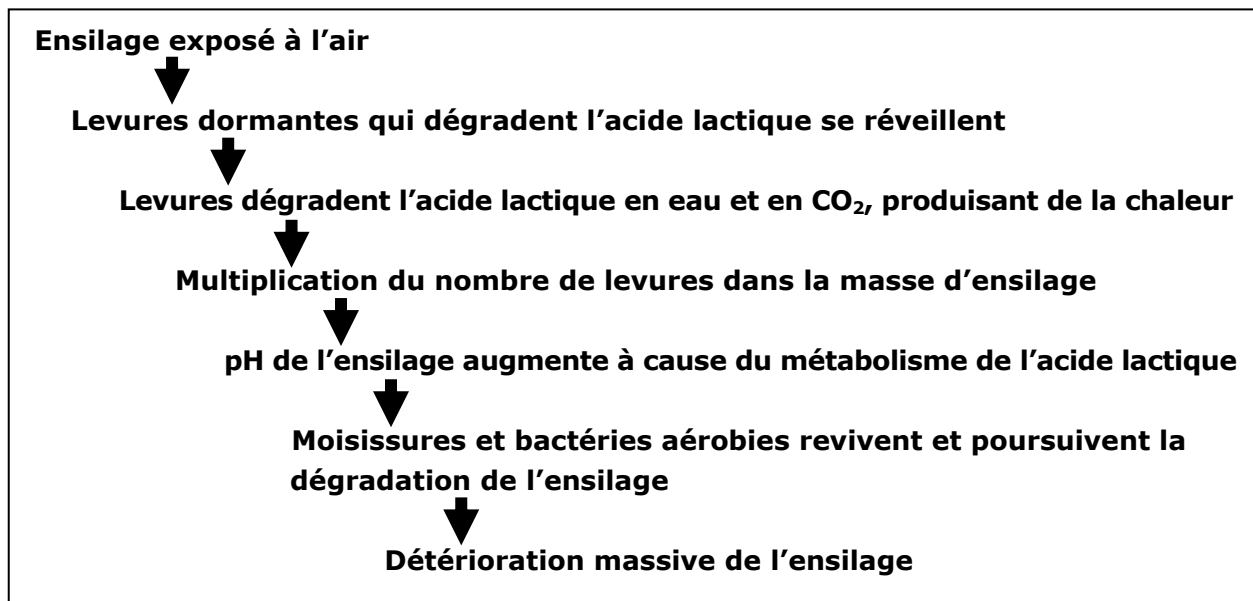
Ces dernières années, la recherche s'est penchée sur la question de la stabilité à la reprise. Un ensilage instable à la reprise recommence à chauffer dans les heures qui suivent son exposition à l'air. L'élévation de la température est attribuable à une reprise de la fermentation. C'est nuisible, d'abord par qu'il y a perte de matière sèche et de nutriments. Plus sournois encore, cela permet la croissance des moisissures. Ces dernières ont besoin d'oxygène, d'humidité et de chaleur pour vivre. L'ensilage qui chauffe à la reprise est un milieu idéal de croissance pour les moisissures et donc, potentiellement, pour la production de mycotoxines.

La stabilité à la reprise se mesure généralement en heures et représente le temps requis pour que la température de l'ensilage augmente de 1-2 °C. Il ne faut pas s'y méprendre, l'ensilage qui est exposé à l'air à la reprise ne se limite pas à celui dans le chariot qui vient d'être rempli. C'est aussi l'ensilage à la surface du silo vertical ou sur la face du silo couloir. Selon la compaction et la matière sèche de l'ensilage, l'oxygène peut pénétrer à une profondeur allant à plusieurs centimètres. Cela signifie que le compteur ne démarre pas avec le désileur, mais possiblement 24-48 heures et peut-être même plus selon les quantités d'ensilage utilisées à tous les jours.

Ce sont les levures présentes dans l'ensilage qui seraient principalement responsables de l'augmentation de la température au début du processus. Il s'ensuit un effet domino avec les conséquences illustrées à la figure 29. Lorsque les conditions sont optimales, les levures peuvent doubler leur nombre en deux heures. Selon Kung (2006), le niveau problématique se situerait autour de 1 000 000 de levures par gramme d'ensilage. Un niveau de 100 000 levures par gramme d'ensilage en phase de stabilité est considéré comme plutôt normal. C'est dire que si les conditions sont propices, le nombre de levures pourrait avoir atteint 1 600 000 par gramme en 8 heures.

La plupart des bactéries lactiques homofermentaires font très peu pour inhiber la croissance des levures. Elles ont tendance à maximiser la production d'acide lactique (un acide qui a une pauvre activité antifongique) et elles diminuent l'accumulation d'acides gras volatils, qui ont une bonne activité antifongique. Plus récemment, une bactérie a retenu l'attention : *Lactobacillus buchneri*. C'est une bactérie hétérofermentaire qui, par définition, ne produit pas que de l'acide lactique. De nombreuses études avec cette bactérie rapportent une augmentation modérée de la production d'acide acétique. Dans une méta analyse réalisée en 2006, Kleinschmit a revu les données de 43 expériences impliquant *Lactobacillus buchneri*. Dans les ensilages de maïs, la bactérie a réduit la concentration en acide lactique et a augmenté la concentration en acide acétique. L'auteur a regroupé les essais selon la dose de lactobacille utilisée dans l'ensilage par l'inoculation. Le niveau bas était de moins de 100 000 unités formatrices de colonie par gramme (LB1) et le niveau élevé était de plus de 100 000 unités formatrices de colonie par gramme (LB2). Le niveau d'augmentation de l'acide acétique était qualifié de modéré, même à la dose d'inoculant la plus forte, puisque la concentration en acide acétique était de 3,89 %. L'inoculant à la dose plus faible (LB1) a permis de diminuer le nombre de levures par un facteur de 10. À la dose plus forte (LB2), la diminution a été par un facteur de 100. La stabilité à la reprise a été de 25 heures pour l'ensilage non inoculé, de 35 heures pour l'ensilage inoculé à la dose LB1 et de 503 heures (presque 3 semaines...) pour l'ensilage traité à la dose LB2.

La perte de matière sèche a été de un point de pourcentage plus élevée avec l'ensilage traité à la dose LB2, ce qui semble assez peu en comparaison avec les avantages d'un ensilage stable. Plusieurs études citées (Kleinschmit, 2006) rapportent une consommation de matière sèche équivalente pour les ensilages inoculés avec *L. buchneri* lorsque comparés avec les ensilages non inoculés avec la bactérie.



**Figure 29 : L'effet domino de l'exposition à l'air causant la détérioration de l'ensilage (Kung, 2006)**

Kung (2006) présente au tableau 13 certains des facteurs susceptibles d'affecter la stabilité à la reprise. Ce n'est une surprise pour personne : l'ensilage de maïs est beaucoup plus susceptible de chauffer rapidement après la reprise que ne l'est l'ensilage d'herbe. Certaines fermes sont très rarement exposées au problème, alors que d'autres fermes y font face plus régulièrement. Les conditions climatiques du Québec font que nous sommes beaucoup plus susceptibles de rencontrer le problème en juillet qu'en février. Il est important d'établir une stratégie pour atténuer l'instabilité à la reprise, mais seulement si les conditions propices à l'apparition du problème sont présentes.

Il va de soi qu'il vaut mieux prévenir que guérir. Il est difficile de « réparer » lorsque l'ensilage chauffe 3-4 heures après la reprise ou pire, chauffe déjà au moment de la reprise. On pourrait atténuer les effets négatifs en augmentant le nombre de repas par jour. Il est également possible d'ajouter un agent de conservation à la RTM, mais il faut voir là des stratégies de dernier recours.

On sait qu'il faut reprendre une quantité minimale d'ensilage par jour pour éviter qu'il ne se gaspille. Lafrenière (2007) nous rappelait les quantités minimales selon le mode d'entreposage et la saison (Tableau 1). En été, cela varie de 10 à 30 centimètres d'épaisseur, du silo vertical jusqu'au silo meule. Il faut faire l'impossible pour respecter cette règle, quitte parfois à fermer un silo, quitte à continuer de distribuer de l'ensilage aux taures plutôt que de les mettre au pâturage à temps plein.

## **LA DISTRIBUTION**

Avec l'augmentation de la taille des troupeaux, la mécanisation de la distribution des fourrages est presque inévitable. Il serait dommage de ne pas tirer pleinement avantage des efforts consacrés à la production, à la récolte, à l'entreposage de fourrages de qualité par une régie de l'alimentation qui soit mal réglée. Pour les troupeaux en ration totale mélangée, le temps de mélange, l'homogénéité du mélange, sa teneur en humidité, la séquence d'inclusion des aliments dans le mélange sont autant de facteurs à surveiller. Pour les mélangeurs équipés pour hacher, le maintien d'une longueur minimale de fibre est essentiel. Pour tous les troupeaux, la séquence d'alimentation doit être bien réglée pour permettre une consommation maximale de matière sèche. Pour y arriver, ça ne veut pas dire qu'il faille déranger les vaches à toutes les 30 minutes...

**Tableau 13 : Quelques facteurs qui peuvent réduire la stabilité des ensilages à la reprise (Kung, 2006)**

<b>Paramètre</b>	<b>Effets</b>	<b>Exemples</b>
Concentration élevée en amidon ou en sucres	Utilisation des sucres et de l'amidon par les levures comme source d'énergie pour fermenter	Maïs ensilage Maïs humide
Concentration élevée en matière sèche	Les ensilages plus secs limitent la fermentation et diminuent la production d'acides qui pourraient prévenir la croissance des levures  Les ensilages plus secs sont plus difficiles à compacter et permettent plus facilement l'infiltration d'air dans la masse d'ensilage	Ensilage d'herbe à plus de 50 % de matière sèche Ensilage de maïs à plus de 40 % de matière sèche
Faible densité après compaction	Facilite l'infiltration d'air dans la masse d'ensilage	Remplissage trop rapide Pas suffisamment de poids de tracteur pour compacter
Pauvre régie de fabrication d'ensilage	Facilite l'infiltration d'air dans la masse d'ensilage	Reprise insuffisante Face inégale de silo couloir Ensilage déplacé
Pauvre régie du plastique et de la compaction	Facilite l'infiltration d'air dans la masse d'ensilage	Silo presse endommagé Toile de silo couloir ou de silo meule endommagée Poids insuffisant sur la toile Plastique retiré trop longtemps en avance
Température ambiante élevée	Organismes responsables de la détérioration croissent plus rapidement par temps chaud	Plus de gaspillage en été qu'en hiver
Addition d'aliments gaspillés à la RTM	Les aliments gaspillés apportent des organismes non désirables dans le mélange	Drèche de distillerie humide gaspillée
Fermentation homolactique trop dominante	Forte concentration en acide lactique et trop faible concentration des autres acides organiques (ayant des propriétés antifongiques)	Un ensilage ayant développé des niveaux élevés d'acide lactique causés possiblement par l'inoculation microbienne

## CONCLUSIONS

Le potentiel laitier du Québec est remarquable, notamment à cause de son potentiel fourrager. Les défis sont nombreux entre l'implantation de prairies productives et la distribution d'un fourrage de grande valeur nutritive et bien conservé. La pluviosité abondante est un atout indéniable pour la production, mais un ennemi redoutable quand vient le temps de récolter. La fenêtre optimale de récolte se limite souvent à quelques jours et c'est pourquoi il faut faire vite quand la météo collabore. On peut y arriver avec des équipements performants, utilisés intensivement, si le chantier est bien réglé. Dans notre contexte de production, les risques de gaspillage sont nombreux : fourrage trop mature à la récolte, hygiène de récolte déficiente, ensilage trop humide ou trop sec, etc. Par ailleurs, une menace peut se traduire en opportunité si on a une bonne compréhension des conditions de réussite. Le moment de la fauche, le potentiel de contribution des coupes n° 2 et suivantes, ainsi que les mécanismes de perte d'humidité de la plante sont autant de facteurs qui méritent une attention particulière. Ce n'est pas parce qu'on a toujours fait des andains étroits qu'il ne faut pas s'ouvrir à d'autres possibilités...

## RÉFÉRENCES

- Baker, P. 2007. *Best practice super conditioning to produce quality export oaten hay*. Publication n° 06/119. Rural Industries Research and Development Corporation, Kingston, Australia.
- Berger, L.L., K.K. Bolsen. 2006. *Sealing strategies for bunker silos and drive-over piles*. Compte rendu de la conférence Silage for dairy farms, Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.
- Berthiaume, R., M. Quevillon, C. Lafrenière et G.L. Roy. 1993. *L'ensilage de balles rondes : du champ jusqu'à l'animal*. Colloque sur la production vache-veau, CPAQ, Hull, QC - Rivière-du-Loup, Québec.
- Berthiaume, R., C. Lafrenière et G.L. Roy. 2000. *Effet du hachage avant la mise en silo sur les pertes de matière sèche et la valeur alimentaire des balles rondes ensilées*. Journées de recherche en zootechnie, CPAQ.
- Brito, A.F., G.F. Tremblay, A. Bertrand, Y. Castonguay, G. Bélanger, R. Michaud, H. Lapiere, C. Benchar, 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*. Journal of Dairy Science 91 : 1282.
- Broderick, G.A., R.G. Koegel, M.J.C. Mauries, E. Schneeberger et T.J. Krauss. 1999. *Effect of feeding macerated alfalfa silage on nutrient digestibility and milk yield in lactating dairy cows*. Journal of Dairy Science 82 : 2472-2485.
- Buckmaster, D.R., 2006. *A systems approach to forage harvest operations*. Compte rendu de la conférence Silage for dairy farms, Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.



- Buckmaster, D.R. and J.W. Hilton. 2005. *Cycle analysis of harvest, transport and unload systems*. Documentation : computers and electronics in agriculture. 47 : 137-147. Chiffrier disponible sur le site : <http://www.abe.psu.edu/fac/Buckmaster/publ/cycleanalysis.xls>
- Burner, D.M. et D.P. Belesky. 2004. *Diurnal effects on nutritive value of alley-cropped orchardgrass herbage*. Crop Science 44 : 1776-1780.
- Gregorini, P., M. Eirin, R. Refi, M. Ursino, O. E. Ansin, et S. A. Gunter. 2006. *Timing of herbage allocation in strip grazing : Effects on grazing pattern and performance of beef heifers*. J. Anim. Sci. 2006, 84 : 1943-1950.
- Griggs, T.C., J.W. MacAdam, H.F. Maryland et J.C. Burns. 2005. *Nonstructural carbohydrate and digestibility patterns in orchardgrass swards during daily defoliation sequences initiated in evening and morning*. Crop Science 45 : 1295-1304.
- Harpster, H.W., R.C. Stout, E.H. Cash, J.W. Comeford, L.L. Wilson, R.L. Swope et V.H. Baumer. 1999. *Effect of bale harvest method and feeding time on performance of yearling beef heifers*. J. Anim. Sci. 77 (Suppl 1) : 205
- Hintz, R.W., R.G. Koegel, T.J. Kraus et D.R. Mertens. 1999. *Mechanical maceration of alfalfa*. Journal of Animal Science 77 : 187-193.
- Holmes, B.J. et R.E. Muck. 2007. *Spreadsheet to calculate average silage density in a bunker silo*. Chiffrier disponible sur le site : <http://www.uwex.edu/CES/crops/uwforage/PileDensCalcwPOROSITY8-24-07.xls>
- Honig, H. 1979. *Mechanical and respiration losses during pre-wilting of grass*. P. 210-204. Dans C. Thomas (ed.) Forage conservation in the 80s. Occasional symp. n° 11. Brit. Grassl. Soc. Janssen Services, London.
- Kilcer, T.F. 2008. *Faster Harvest higher quality & more milk from your haylage. Magic or management??* Présentation disponible sur le site : [http://counties.cce.cornell.edu/rensselaer/agriculture/alfalfa\\_talk\\_counter.htm](http://counties.cce.cornell.edu/rensselaer/agriculture/alfalfa_talk_counter.htm)
- Kilcer, T.F., 2006. *Wide – versus narrow – Swath Harvesting – Feed – Quality aspects*. Compte rendu de la conférence Silage for dairy farms, Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.
- Kleinschmit, D.H., L. Kung Jr., 2006. *A Meta-analysis of the effects of Lactobacillus buchneri on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small grain silages*. Journal of Dairy Science 89 : 4005-4013.
- Kunelius, H.T., L.B. Macleod, F.W. Calder, 1974. *Effect of cutting management on yields, digestibility, crude protein and persistence of timothy, bromegrass and orchardgrass*. Canadian Journal of Plant Science 54 : 55-64.
- Kung, L. Jr., 2006. *Aerobic stability of silages*. Compte rendu de la conférence Silage for dairy farms, Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.
- La Financière agricole du Québec. 2007. *Rendements de référence 2007 en assurance récolte*. Sur le site : [http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/cent\\_docu/stat/asrec/rend\\_refe/rend\\_refe\\_2007.pdf](http://www.fadq.qc.ca/fileadmin/cent_docu/stat/asrec/rend_refe/rend_refe_2007.pdf)

- Lafrenière, C. *Bien conserver l'ensilage, un travail de tous les jours*. Le producteur de lait québécois, mars 2007.
- May, D. 1994. PAMI macerator. *Description and preliminary field tests*. Dans : Recent advances in alfalfa harvesting, processing and handling technical conference, 29-32. Saskatoon, SK, University of Saskatchewan Extension Division.
- Mayland, H., D. Mertens, B. Taylor, J. Burns, D. Fisher, P. Gregorini, T. Ciavarella, Kevin Smith, G. Shewmaker et T. Griggs. 2005. *Diurnal changes in forage quality and their effects on animal preference, intake and performance*. Dans : Proceedings 2005, California Alfalfa Symposium, 12-14 Décembre 2005, Visalia, CA. UC Cooperative Extension, University of California, Davis.
- Roy, Claude, professeur. 2008. *La longueur de coupe des ensilages*. Centre de formation professionnelle Mont-Joli – Mitis.
- Savoie, P. 2007. *Silo couloir pour l'herbe et le maïs*. 31<sup>e</sup> Symposium sur les bovins laitiers, CRAAQ.
- Savoie, P. 2001. *Intensive mechanical conditioning of forages: a review*. Le génie des biosystèmes au Canada. 43 : 2.1-2.12.
- Savoie, P., M. Binet, G. Choinière, D. Tremblay, A. Amyot et R. Thériault. 1993. *Development and evaluation of large-scale forage mat maker*. Transactions of the ASAE 36(6) : 1533-1539.
- Savoie, P. et E. Block. 1994. *Intensive forage conditioning and dairy cow response*. American Society of Agricultural Engineers Paper n° 94-1521. St-Joseph, MI : ASAE.
- Shinners, K.J.. 2006. *Current and future equipment for producing high quality forage*. Compte rendu de la conférence Silage for dairy farms, Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.
- Schuler, R.T. 2006. *Wide versus narrow swath harvesting – machinery aspects*. Compte rendu de la conférence « Silage for dairy farms », Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.
- Thomas, E.D. 2006. *The highs and lows of alfalfa cutting height*. Hoard's Dairyman, p. 318.
- Thomas, E.D. 2007. *How low should we mow?* Hoard's Dairyman, p. 211.
- Undersander, D., T. Wood et W. Foster. 2003. *Successful wrapping and storage of square bales*. Sur le site : <http://www.uwex.edu/ces/forage/wfc/proceedings2003/squarebales.htm>
- Vough, L., D. Buckmaster et J. Heinrichs. 2006. *Baleage systems – What's working best today*. Compte rendu de la conférence « Silage for dairy farms », Camp Hill Pennsylvanie. Natural resource, agriculture and engineering service, Ithaca, NY.
- Wiersma, D.W., M. Bertam, R. Wiederholt et N. Schneider. *The long and the short of alfalfa cutting height*. Focus on forage, University of Wisconsin, Vol. 1, n° 1.
- Wiersma, D.W. et B.J. Holmes. 2000. *Estimating the weight of forage in a forage wagon*. Focus on forage, University of Wisconsin, Vol. 3, n° 4.
- Wilkinson, J.M. 1981. *Losses in the conservation and utilization of grass and forage crops*. Ann. Appl. Biol. 98 : 365-375.