

Symposium
sur les **Bovins laitiers**
Agir pour l'avenir!

Le jeudi 1^{er} novembre 2012

BEST WESTERN PLUS Hôtel Universel,
Drummondville

Méthodes pour réduire les pertes durant la récolte et la conservation des fourrages

Philippe Savoie, Gaétan Tremblay et René Morissette
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
Centre de recherche et de développement
sur les sols et les grandes cultures,
2560, boul. Hochelaga, Québec

Une initiative conjointe

Fédération
 des producteurs
de lait du Québec



Méthodes pour réduire les pertes durant la récolte et la conservation des fourrages

RÉSUMÉ

Les opérations de récolte des fourrages occasionnent des pertes mécaniques au champ, de l'ordre de 6 à 20 % pour le foin et de 2 à 7 % pour l'ensilage d'herbe. De plus, des pertes invisibles dues à l'oxydation ou au lessivage par la pluie peuvent réduire la qualité des fourrages. Il faut donc privilégier la récolte par beau temps afin de minimiser le temps d'exposition des andains aux aléas climatiques. Les outils de récolte devraient être utilisés quand les fourrages sont encore humides et pas trop fragiles. En entrepôt, les fourrages secs (foin) ont peu de pertes (2 à 5 %) si la teneur en eau (TEE) demeure basse et que l'activité microbiologique est limitée. Lorsque le foin est humide, il faut considérer un séchage d'appoint, l'utilisation d'agents de conservation ou l'enrubannage. Quant aux ensilages, ils seront bien conservés s'ils sont scellés et protégés contre l'infiltration d'air. Les pertes de conservation de l'ensilage sont de l'ordre de 6 à 16 %, selon le type de silo et la minutie du travail lors du remplissage, du scellement et de la reprise.

INTRODUCTION

Les systèmes de conservation des fourrages sont définis par deux critères principaux : la catégorie de plante fourragère (herbacée ou céréale récoltée en plante entière) et le mode de conservation (humide ou sec). Les deux catégories de plantes (herbe et céréale) peuvent être entreposées humides à la condition d'être scellées afin de produire un ensilage en milieu anaérobie. Seules les plantes herbacées peuvent être séchées adéquatement au champ ou en entrepôt afin de produire un foin stable en milieu aérobie. La teneur en eau (TEE) des fourrages conservés humides définit le type d'ensilage : entre 70 et 80 % pour les fourrages de coupe directe, entre 55 et 70 % pour les fourrages préfanés, entre 45 et 55 % pour les fourrages demi-secs et entre 25 et 55 % pour les grosses balles humides scellées. Tous les systèmes d'ensilage requièrent un scellement qui inhibe l'entrée de l'oxygène (Savoie et Jofriet, 2003). Au contraire, le foin implique l'entreposage de l'herbe très sèche à l'air libre. Pour une conservation stable du foin, sans activité microbiologique en milieu aérobie, la TEE doit être inférieure à 15 % (Couture *et al.*, 2002). Si la TEE est entre 15 et 25 % à la récolte, il faut envisager un séchage artificiel (House et Stone, 1988) ou l'emploi d'agents de conservation (Amyot, 2005).

La récolte de l'ensilage est plus facile à planifier que celle du foin. Puisque l'herbe fraîche à la fauche contient entre 70 et 80 % de TEE, il suffit de quelques heures de fanage pour préparer l'ensilage préfané et jusqu'à deux jours pour l'ensilage demi-sec. En comparaison, le foin requiert souvent trois à quatre jours de beau temps et plusieurs manipulations au champ avant que la TEE soit sous le seuil de 20 %. De plus, l'herbe destinée au foin sera exposée aux facteurs climatiques (pluie, soleil) plus longtemps que l'herbe destinée à l'ensilage. Une exposition prolongée augmente les risques de lessivage par la pluie et de blanchiment par le soleil.

En entrepôt, les plantes ensilées subiront des pertes par respiration cellulaire en présence d'air, par réaction enzymatique (protéolyse et hydrolyse) du contenu cellulaire en présence d'enzymes et par fermentation sous diverses voies (acétique, lactique et butyrique) en présence de bactéries. Si le scellement a été imparfait durant l'entreposage ou si l'ensilage prélevé pour alimenter les animaux est exposé plusieurs jours à l'air avant d'être servi, les moisissures et les levures se développent rapidement et peuvent occasionner de lourdes pertes. Les ensilages peuvent aussi avoir des pertes par écoulement si la TEE est supérieure à 70 %. Quant à l'herbe récoltée en foin, elle subira normalement peu de pertes en entrepôt si la TEE est inférieure à 15 %.

Certains producteurs laitiers se sont orientés vers une alimentation tout ensilage, sans apport de fourrage sec. Ce choix se justifie par la simplification des opérations de récolte, d'entreposage et d'alimentation. Le foin présente néanmoins certains avantages qui font qu'il est encore utilisé couramment dans les rations. Par rapport aux ensilages, le foin résulte en une dégradabilité de la protéine mieux répartie tout le long du système digestif des ruminants (Petit et Tremblay, 1992; Verbič, 1999) et parfois en une réduction de l'incidence de l'acidose (de Ondarza, 2011). Pour la fabrication de certains fromages comme le Wabassee ou le Parmesan, le cahier de charge exige que les vaches laitières soient nourries seulement avec du foin et d'autres aliments secs, excluant ainsi tous les ensilages. De plus, la commercialisation du fourrage est beaucoup plus facile sous forme de foin que sous forme d'ensilage. Plusieurs éleveurs tiennent ainsi à inclure un ou deux kilos de foin par jour dans la ration pour maintenir un contenu de fibre favorable à la rumination.

Dans ce contexte, la production d'ensilage et de foin de qualité demeure un objectif important pour plusieurs fermes laitières. Deux défis importants pour la production de fourrage de qualité demeurent d'abaisser rapidement la TEE au champ pour l'herbe et d'assurer une conservation stable en entrepôt pour l'herbe ou l'ensilage de maïs. Le texte qui suit examine les pertes à chaque étape de la récolte et de l'entreposage des fourrages et les moyens pour les minimiser tout en produisant un fourrage de qualité.

PRINCIPALES PERTES AU CHAMP DURANT LA FENAISON

On observe deux types de pertes lors de la récolte de l'herbe au champ : les pertes mécaniques par fragmentation et les pertes non mécaniques par oxydation et lessivage. Les pertes mécaniques se produisent lors de chacune des principales opérations au champ : la fauche, le conditionnement, la manipulation des andains et le pressage (McGechan, 1989). Les pertes non mécaniques, parfois appelées pertes invisibles, augmentent graduellement avec la durée de fanage et subitement avec la pluie (Rotz and Abrams, 1988). Les sections suivantes décrivent ces pertes au champ.

Faucheuses et hauteur de fauche

La fauche de l'herbe fraîche peut être faite avec des barres de coupe, des tambours ou des disques (Descôteaux et Savoie, 2005a). Des études détaillées indiquent peu de différence au niveau des pertes mécaniques entre les faucheuses. Plusieurs modèles de faucheuses sont équipés avec des rouleaux conditionneurs intégrés. Les conditionneurs à rouleaux écrasent les tiges et sont généralement plus appropriés pour les légumineuses. Les conditionneurs à fléaux érafagent la surface des tiges, créent un andain bouffant et sont utilisés surtout pour les graminées.

Les faucheuses-conditionneuses conventionnelles occasionnent des pertes combinées relativement faibles, de l'ordre de 1 à 4 % selon certains auteurs (Rotz and Abrams, 1988; Honig, 1980).

La hauteur de fauche peut avoir un impact plus important sur la quantité de fourrage laissée au champ que le type de faucheuse. Dans une étude de quatre ans avec de la luzerne, Belesky et Fedders (1997) ont estimé qu'une fauche à 10 cm au-dessus du sol occasionnait une diminution de rendement jusqu'à 38 % par rapport à une coupe rase à 5 cm du sol. De même, Wiersma et Wiedeholt (2001) ont estimé un rendement de luzerne 25 % supérieur avec une fauche à 5 cm par rapport à 10 cm. Cependant, une coupe rase produit un fourrage plus fibreux et moins digestible qu'une coupe haute. A cet égard, Taylor et Rudman (1965) ont observé un gain moyen quotidien de 15 % inférieur chez des bouvillons nourris de foin coupé ras (6,5 cm du sol) par rapport à du foin coupé haut (10 cm). De même, Thomas (2007) a noté une qualité légèrement inférieure pour la luzerne coupée à 5 cm (0,7 unité de % de protéine en moins; 1,4 unité de % de fibre NDF en plus) par rapport à une luzerne coupée à 10 cm. Toutefois, ce chercheur a estimé que le rendement était accru de 13 % et la productivité de lait était diminuée de seulement 3 %. Il estimait que la plupart des producteurs laitiers de sa région (État de New York) préféreraient couper plus court afin d'obtenir un gain global de 10 % de lait produit par hectare qu'une productivité plus élevée de 3 % par vache exigeant 13 % plus de prairies. La hauteur optimale de fauche ne sera pas la même pour toutes les espèces fourragères, tous les sols, tous les microclimats et tous les élevages. En fin de compte, le choix de la hauteur de coupe doit être établi sur chaque ferme selon les conditions locales.

Largeur des andains

La largeur des andains laissés derrière la faucheuse peut influencer la vitesse de séchage et la qualité du fourrage. Sous les conditions climatiques du Québec, Morin et al. (2012) ont observé que la fauche en andain larges plutôt qu'en andains étroits réduisait de 2 heures la période de séchage au champ nécessaire pour que la luzerne atteigne 35% MS en moyenne lorsque les conditions climatiques étaient favorables, et de 9 heures lorsque les conditions de séchage étaient moins favorables. Ces résultats confirment ce qu'avaient rapporté plusieurs autres études (Rotz et Sprott, 1984; Wilkinson et al., 1999; Shinners et Herzmann, 2006; Kung et al., 2010); les andains larges peuvent être ramassés plusieurs heures plus tôt que les andains étroits.

Les pertes mécaniques ne sont pas nécessairement réduites avec des andains larges, car une portion des fourrages peut être écrasée par les roues du tracteur. Toutefois, une période de fanage plus courte diminue le risque de pluie sur les andains, les pertes de sucres et les autres pertes invisibles au champ occasionnées par la respiration cellulaire. On a observé une augmentation de 8% de la teneur en glucides non structuraux dans le fourrage de luzerne fauché en andains larges plutôt qu'en andains étroits à cause du séchage plus rapide (Tremblay et al., 2011; Morin et al., 2012).

Conditionnement intense ou macération

Un conditionnement mécanique très intense, parfois appelé « macération », consiste à broyer les tiges et à briser la surface des stomates pour faciliter l'évaporation de l'eau. La macération accélère effectivement le séchage au champ; elle peut réduire de moitié le temps de fenaison sous de bonnes conditions climatiques selon diverses études avec la luzerne (Rotz et al., 1991; Savoie, 2001).

La macération appliquée à du dactyle conservé en ensilage de balles rondes a favorisé une baisse de pH plus rapide comparativement à des fourrages non macérés (Savoie *et al.*, 1996). Cependant, les pertes mécaniques dans les andains macérés peuvent être très élevées par rapport aux andains conventionnels à cause de la fragilisation des tiges et des feuilles. Par exemple, les pertes totales étaient de 14,5 % dans les andains macérés par rapport à 3,5 % dans les andains conventionnels après une pluie de 18 mm (Rotz *et al.*, 1991).

Les modèles de macérateurs ou rouleaux surconditionneurs offerts récemment sur le marché (AgLand; Circle C) sont moins agressifs que les macérateurs expérimentaux développés il y a vingt ans. Le gain de séchage est moindre ainsi que le risque de pertes. Des expériences récentes (Morissette et Savoie, 2012) ont montré que le macérateur AgLand permet de faire du foin de graminées à moins de 20 % de TEE en deux journées de beau temps en première coupe, tandis que les autres opérations (faneuse à toupies, témoin sans traitement des andains) requièrent au moins une troisième journée de beau temps pour atteindre ce seuil.

Manipulation des andains

Les principales manipulations d'andains sont le fanage et le râtelage. Les faneuses soulèvent les tiges déjà fauchées et les éparpillent au champ. Elles sont généralement utilisées une première fois peu après la fauche, quand les fourrages sont encore très humides et peu susceptibles aux pertes mécaniques. On passe parfois un deuxième coup de faneuse, habituellement le lendemain de la fauche, lorsque les fourrages sont encore assez humides (plus de 40 % de TEE) afin de ne pas causer trop de pertes. Les graminées sont beaucoup moins affectées par les pertes mécaniques que les légumineuses. Selon une étude au laboratoire de Savoie (1988), la fléole des prés traitée par fanage avait moins de 3 % de pertes lorsque la TEE était de 30 % ou plus. Par contre, la luzerne avait des pertes supérieures à 10 % dès que le traitement était fait dans des andains plus secs que 50 % de TEE. Ainsi, la faneuse n'est pas l'outil idéal pour les légumineuses (trèfle, luzerne) qui devraient être manipulées plus délicatement que les graminées.

Dans des conditions au champ, Rotz et Muck (1994) ont rapporté des pertes de fanage entre 1 et 3 %. Klinner *et al.* (1971) ont rapporté des pertes de fanage jusqu'à 8 %. En moyenne dans les conditions de laboratoire, Savoie (1988) a observé des pertes mécaniques de fanage six fois plus grandes pour les légumineuses que pour les graminées. Les pertes de matière sèche pouvaient atteindre jusqu'à 20 % dans une luzerne sèche à 20 % de TEE.

Pressage

Selon Rotz and Muck (1994), les pertes de matière sèche au pressage ont varié entre 1 et 3 % avec une presse à petites balles rectangulaires. Honig (1980) a observé des pertes au pressage entre 4,4 et 11,1 %. Koegel *et al.* (1985) ont observé des pertes de 10,8 % dans une presse à balles rondes à chambre fixe, de 3,8 % dans une presse à balles rondes à chambre variable et de 2,8 % dans une presse à petite chambre rectangulaire. Les pertes plus élevées dans la chambre fixe par rapport à la chambre variable sont dues à la façon que le fourrage bouge durant la compression. D'une part, dans une presse à chambre fixe, le fourrage peut culbuter longtemps avant de commencer à prendre la forme d'une balle ronde. D'autre part, dans une chambre variable, le fourrage est immédiatement comprimé dans un format cylindrique et les feuilles sont continuellement retenues durant le

remplissage de la chambre. Le tableau 1 présente les principales pertes mécaniques au champ durant la fenaison.

Pertes non mécaniques durant le fanage au champ

Une fois coupée, la plante continue de respirer et d'utiliser ou transformer des sucres. Honig (1980) a estimé que le taux de perte par oxydation était maximal (0,25 % MS/h) quand la plante était très humide (80 % TEE) et que la température ambiante était élevée (25 °C). Quand l'andain sèche, le taux de respiration cellulaire baisse. À une TEE de 60 %, le taux de perte est d'environ 0,12 %/h. Quand la TEE atteint 40 %, le taux de perte baisse à environ 0,04 %/h. À 20 % de TEE, le taux de respiration est sous le seuil de 0,02 %/h. Si le séchage au champ se fait en quatre jours, soit de 80 à 60 % de TEE le premier jour, de 60 à 40 % le deuxième jour, de 40 à 30 % le troisième jour et de 30 à 20 % le quatrième jour, les pertes par respiration sont estimées à 4 % le premier jour (24 h), 2 % le deuxième jour, 0,7 % le troisième jour et moins de 0,3 % le quatrième jour. Les pertes totales par oxydation sont donc d'environ 7 % pour un séchage au champ durant quatre jours sans pluie. Les pertes minimales occasionnées par la respiration cellulaire pour une fenaison rapide en trois jours seraient de 5 %.

La pluie est l'autre facteur important influençant les pertes invisibles au champ. Dernedde et Wilmschen (1969, cités par McGechan, 1989) ont mesuré 1 % de pertes de MS à la suite d'une pluie sur un foin à 20 % de TEE. Les pertes par ruissellement étaient doublées quand l'herbe était conditionnée de façon agressive au préalable. La pluie cause plus de pertes par oxydation que par ruissellement, car elle retarde le séchage et contribue à maintenir un environnement humide. À cet égard, Rotz et Abrams (1988) ont mesuré des pertes combinées par ruissellement et oxydation entre 3 et 34 % après la pluie (11 % en moyenne). Ainsi, les pertes invisibles durant la fenaison seront d'au moins 5 % par beau temps et de 11 % ou plus s'il y a de la pluie.

Tableau 1. Pertes mécaniques de matière sèche (MS) selon les opérations de fenaison.

Opération	Pertes rapportées (% MS)	Références
Fauche-conditionnement conventionnel	1 à 3 % 2 à 4 %	Rotz et Abrams, 1988 Honig, 1980
Hauteur de coupe	Fauche à 10 cm au lieu de 5 cm réduit le rendement de 38 % Fauche à 10 cm au lieu de 5 cm réduit le rendement de 13 %	Belesky et Fedders, 1997 Thomas, 2007
Fanage avec faneuse à toupies	1 à 3 % jusqu'à 8 %	Rotz et Muck, 1994 Klinner <i>et al.</i> , 1971
Râtelage	3 à 6 %	Rotz et Abrams, 1988
Pressage	1 à 3 %, petite presse 1 à 3 %, au ramasseur d'andains 3 à 11 %, presse à balles rondes	Rotz and Muck, 1994 Koegel <i>et al.</i> , 1985 Honig, 1980
Pertes totales (excluant la hauteur de fauche)	6 à 29 % (moyenne de 16 %)	Koegel <i>et al.</i> , 1985

Doit-on retarder la fauche de l'herbe quand il y a une possibilité de pluie? Un délai occasionnera une maturation de la plante, une augmentation du contenu en fibre et une diminution de la digestibilité. Par exemple, un délai d'une semaine dans la récolte de la fléole des prés au stade début épiaison fera augmenter la fibre NDF de 5 % et diminuer la digestibilité de la MS de 7 % et celle de la fibre NDF de 10 % (Pelletier *et al.*, 2008). Par contre, une pluie subite occasionnera aussi une perte de valeur nutritive des andains.

À titre d'exemple, la graminée tropicale « bermudagrass » (*Cynodon dactylon*) avait une perte de digestibilité de 0,25 %/jour de délai de fauche (Hart et Burton, 1967). Cependant, une pluie de 25 mm causait une perte subite de digestibilité de 7 à 10 %. Il faudrait quatre semaines de maturation avant d'avoir autant de pertes. Pour la luzerne, Fonnesbeck *et al.* (1986) ont trouvé que les parois cellulaires augmentaient de 38,1 à 41,6 % en une semaine de maturation tandis que les parois augmentaient de 39,4 à 43,6 % après une pluie de 20 mm. Ainsi, lorsqu'une pluie abondante est prévue (> 10 mm), il est préférable de retarder la fauche, même au prix d'une légère maturation, car les andains ne seront pas exposés au lessivage et à l'oxydation prolongée. Le tableau 2 présente quelques points à considérer pour réduire les pertes au champ.

Tableau 2. Points de gestion à considérer pour réduire les pertes au champ durant la fenaison.

Les prévisions météorologiques sont-elles disponibles dans votre région?

Quand devrait-on commencer à faucher les fourrages par rapport à la maturité?

À quelle heure devrait-on faucher, c'est-à-dire le matin ou l'après-midi?

Quelle superficie peut-on faucher à chaque jour?

La faucheuse devrait-elle former des andains étroits ou larges?

À quel moment faner?

À quel moment passer le râteau?

À quelle teneur en eau presser le foin en balles?

Quelle forme de balle et quelle densité sont optimales?

Quels ajustements de machine sont requis?

Le foin sert-il sur la ferme? S'il est vendu, à quel marché (équestre, bovin, ovin, etc.)?

PRINCIPALES PERTES DURANT L'ENTREPOSAGE DU FOIN

Conditions d'entreposage

Quand le foin est très sec à la récolte, c'est-à-dire à une TEE inférieure à 10 %, il n'y aura aucun développement de moisissures (Couture *et al.*, 2002). Par contre, il est pratiquement impossible d'avoir une TEE si basse au Québec par fanage naturel au champ sans séchage artificiel ou ventilation avec de l'air chauffé. Couture *et al.* (2002) ont observé dans des plats de pétri que les graminées étaient très stables d'un point de vue microbiologique pour des TEE de 11 % et moins tandis que la luzerne était très stable à des TEE inférieures à 14 %. Pour atteindre ces basses TEE, il faut donc avoir une excellente ventilation d'air à travers le foin. Si on réussit à abaisser la TEE

à ces niveaux, alors le foin pourra se converser presque indéfiniment à la condition de le protéger de la pluie et de la réhumidification. Une protection du soleil ou d'une luminosité excessive en entrepôt évitera la décoloration du foin.

Quand la TEE du foin est supérieure à ces seuils critiques, trois options courantes sont envisagées : 1) le séchage artificiel; 2) le scellement pour créer un milieu anaérobie; 3) l'utilisation d'agents de conservation. Le tableau 3 illustre ces options dans un contexte décisionnel. On n'apporte pas ici une réponse définitive à toutes les modalités de conservation du foin humide. Certaines références (Amyot, 2005; House et Stone, 1988) traitent de la conservation des fourrages humides ou de la ventilation naturelle en grange. Ci-après on examine surtout les pertes en entrepôt et certaines façons de les réduire.

Pertes durant l'entreposage

Les pertes durant l'entreposage du foin varient de 2 à 5 % selon Rotz et Abrams (1988). Pour un foin de luzerne entreposé à l'extérieur sans protection, Collins *et al.* (1987) ont rapporté des pertes de 9,1 % de MS et 13,6 % de digestibilité. Les mêmes balles entreposées à l'intérieur ont subi des pertes de 3,8 % de MS et 7,5 % de digestibilité.

Buckmaster et Heinrichs (1993) ont estimé que les pertes de MS augmentaient de 0,7 % pour chaque point de TEE au-dessus de 15 % de TEE. McCormick *et al.* (2011) ont observé qu'un foin de graminée tropicale (« bahiagrass » ou *Paspalum notatum*) en balles rondes sèches à 16 % de TEE avait 2,9 % de pertes de MS à l'intérieur et 12,8 % de pertes à l'extérieur, en Louisiane. La qualité était nettement meilleure pour le foin conservé à l'intérieur. L'énergie nette de lactation était de 1,36 Mcal/kg pour les balles à l'intérieur et 1,17 Mcal/kg pour les balles à l'extérieur. La production laitière était supérieure de 7 % avec les balles de foin mieux conservées (30,2 vs 28,2 kg lait/jour). À titre comparatif, un ensilage de bahiagrass en balles rondes enrobées de film plastique, à 50 % de TEE, contenait la même énergie nette de lactation (1,32 Mcal/kg) que le foin à 16 % de TEE bien conservé à l'intérieur. Cependant, l'ensilage résultait en une production laitière (29,0 kg lait/jour) de 4 % inférieure à celle obtenue avec le foin bien conservé.

En bref, l'entreposage du foin doit être à l'intérieur pour minimiser les pertes qui seront de 2 à 5 % lorsque la TEE est basse, c'est-à-dire inférieure à 15 %. À plus haute TEE, il faut ajouter un agent de conservation, ventiler les balles à l'air forcé ou les enrubanner pour une conservation anaérobie.

Tableau 3. Points de gestion à considérer pour réduire les pertes de foin en entrepôt.

Utilise-t-on des conservateurs à foin? Lesquels, quand et à quelle dose?

Le fenil est-il muni de ventilateurs pour souffler de l'air ambiant ou de l'air chauffé?

S'il n'y a pas de ventilation, comment entreposer les balles?

L'enrubannage est-il disponible pour les balles de foin humides?

Durant l'entreposage, que faire de balles humides exposées à l'air?

Y a-t-il une méthode acceptable pour disposer des films plastique usés?

PRINCIPALES PERTES POUR LES ENSILAGES

Durant la récolte

Les pertes durant la récolte de l'herbe destinée à l'ensilage proviendront des mêmes opérations que celles estimées pour le foin au tableau 1. Toutefois, elles seront plus faibles car le nombre d'opérations est généralement moindre. Pour l'ensilage d'herbe, on se limite souvent à une opération de fauche-conditionnement suivie du ramassage avec une presse à grosses balles ou avec une fourragère (Descôteaux et Savoie, 2005b). Les pertes directement imputables au ramassage de l'herbe humide sont généralement faibles et inférieures à 1 % (Kaiser *et al.*, 2004). Ces derniers notent qu'il peut y avoir des pertes supplémentaires, de l'ordre de 1 à 3 %, par dérive lorsque l'ensilage haché est soufflé dans un wagon par temps venteux.

Ainsi, les pertes mécaniques de récolte de l'ensilage d'herbe hachée seront d'environ 1 à 3 % à la fauche plus 1 à 4 % au ramassage, soit 2 à 7 % globalement. Les pertes invisibles au champ dues à la respiration cellulaire et à la dégradation enzymatique seront moindres que celles du foin à cause du temps restreint de fanage; elles seront d'environ 2 à 4 % pour un fanage court entre 4 et 24 heures. Quant au maïs-ensilage, les pertes de récolte seront encore moindres que pour l'herbe ensilée puisqu'il n'y a aucun fanage. On peut estimer les pertes de récolte du maïs ensilage entre 1 et 4 %, essentiellement en fonction du vent lors du ramassage.

Durant l'entreposage et la reprise

Les systèmes d'ensilage subissent des pertes par respiration cellulaire, dégradation enzymatique, fermentation microbienne et dégradation par les bactéries aérobies, les moisissures et les levures. Des pertes sont observées à toutes les étapes de la conservation : 1) au remplissage en fonction du temps avant le scellement du silo; 2) durant l'entreposage, car il y a toujours une faible infiltration d'air; 3) à la reprise lorsque l'ensilage est exposé directement à l'air avant d'être consommé par les animaux. Le tableau 4 illustre les taux moyens de perte par oxydation. Les pertes totales dans ce tableau sont basées sur un temps de remplissage des silos de 5 jours (2 jours pour les balles enrubannées), une durée d'entreposage moyenne de six mois et une exposition à la reprise moyenne de 48 heures.

Tableau 4. Pertes durant l'entreposage et la reprise des ensilages en pourcentage de la matière sèche originale (données adaptées de Savoie et Jofriet, 2002).

Type de perte	Silos tour		Silo couloir	Silo meule	Balles rondes enrubannées
	Désilage par le haut	Désilage par le bas			
Pertes par détérioration aérobie					
Au remplissage (%/jour)	0,1	0,05	0,3	0,6	1,6
Durant l'entreposage (%/mois)	0,8	0,5	1,0	1,2	1,5
À la reprise (%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fermentation (%)	2	1	3	3	2
Écoulement (%)	0,2	0,0	0,5	0,5	0,0
Total (%)	9	6	13	15	16

Les pertes de fermentation varient entre 1 et 3 %. Elles sont plus élevées pour les ensilages humides, car l'activité microbiologique y est plus intense. Une quantité plus grande de sucres est convertie en acides gras volatils et en gaz carbonique quand il y a plus d'eau dans le substrat. Les pertes par écoulement d'effluent, ou lixiviat, sont également plus élevées dans les ensilages humides. Globalement, les pertes en silo varient entre 6 et 16 %. Elles sont plus faibles dans les silos bien étanches (silos tours avec désilage par le bas) et à plus faible teneur en eau. Elles sont plus élevées dans les silos où les ensilages sont moins compactés comme les silos meules.

Les pertes totales d'entreposage des ensilages estimées au tableau 4 supposent que les silos sont remplis et scellés en moins de cinq jours (deux jours dans le cas des balles enrubannées). On y suppose aussi que les ensilages sont entreposés pendant six mois en moyenne et qu'ils sont exposés au maximum pendant 48 heures entre la reprise et la consommation par les animaux. Une excellente gestion peut réduire ces pertes totales. Le choix du système d'entreposage aura un impact important sur les pertes. On note que les systèmes de silos meules, de balles rondes enrubannées et de silos couloirs offrent le plus grand potentiel de réduction des pertes. Les principaux moyens pour réduire les pertes sont d'augmenter la masse volumique (densité) à la mise en silo, d'effectuer le scellement du silo rapidement, de maintenir une bonne étanchéité durant l'entreposage et d'alimenter sans délai les ensilages après leur reprise.

CONCLUSION

Les systèmes de fenaison sont sujets à des pertes importantes surtout au champ et, dans une moindre mesure, en entrepôt. Les pertes mécaniques au champ sont de l'ordre de 1 à 4 % pour les opérations de fauche et conditionnement, de 4 à 14 % lors de la manutention des andains et de 1 à 11 % lors du pressage. Ainsi, les pertes dues aux traitements mécaniques pendant la récolte du foin se situent entre 6 et 29 %. Des pertes invisibles supplémentaires, attribuables à la respiration cellulaire et à la dégradation enzymatique des sucres et des protéines, sont de l'ordre de 5 à 7 % durant 2 à 4 jours de fanage par beau temps. Si la pluie lessive les andains, ces pertes invisibles peuvent doubler.

Les pertes au champ seront plus faibles par beau temps et lorsque l'application des traitements mécaniques se fait délicatement sur l'herbe encore humide et souple. Si des pluies abondantes sont prévues, il est préférable de retarder la fauche et de récolter une herbe légèrement plus mature et fibreuse qu'un fourrage jeune et lessivé.

Une fois entreposé, le foin peut continuer à avoir des pertes invisibles dues à la respiration et au développement de moisissures. Si le foin a une TEE inférieure à 15 %, il sera très stable. Les pertes d'entreposage varient de 2 à 5 % quand le foin est à l'abri. Elles augmentent d'environ 0,7 % par point d'humidité jusqu'à 20 % de TEE. Il est souhaitable de traiter le foin humide ($\text{TEE} > 15\%$) soit par ventilation à l'air ambiant forcé, soit par séchage artificiel avec de l'air chauffé, soit par application d'un agent de conservation, soit par l'enrubannage qui assure une protection contre l'oxydation. Au Québec, on ne devrait pas entreposer des balles non enrobées à l'extérieur en raison de la dégradation importante.

Quant aux ensilages, les pertes de récolte seront faibles : 2 à 7 % pour l'herbe hachée et 1 à 4 % pour le maïs ensilage. Par contre, les pertes d'entreposage seront plus élevées que pour le foin : entre 9 et 16 % selon le type de silo. On peut réduire les pertes d'entreposage des ensilages en scellant rapidement le silo, en maintenant une excellente étanchéité et en alimentant sans délai les fourrages après leur reprise.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Les Producteurs laitiers du Canada pour leur soutien financier dans le cadre du programme la Grappe de recherche laitière d'Agriculture et Agroalimentaire Canada au cours des trois dernières années (2010-2013). Ils remercient les organisateurs du Symposium sur les bovins laitiers pour l'occasion de diffuser ces informations afin de servir de guide pour améliorer la qualité et l'utilisation des fourrages sur les fermes laitières.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS

- Amyot, A. 2005. *L'utilisation des agents de conservation du foin et de l'ensilage*. Pages 157-166. Guide des plantes fourragères. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec.
- Belesky, D.P. and J.M. Fedders. 1997. *Residue height influences stand dynamics of alfalfa grown on a shallow soil*. Agron. J., 89:975-980.
- Buckmaster, D.R. and A.J. Heinrichs. 1993. *Losses and quality changes during harvest and storage of preservative-treated alfalfa hay of varying moisture content*. Trans. ASAE., 36(2):349-353.
- Collins, M., W.H. Paulson, M.F. Finner, N.A. Jorgensen, and C.R. Keuler. 1987. *Moisture and storage effects on dry matter and quality losses of alfalfa in round bales*. Trans. ASAE., 30(4):913-917.
- Couture, L., B. P. Hua et P. Savoie. 2002. *Seuils d'émergence des moisissures dans le foin en fonction de l'humidité*. Pages 30-35. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, Victoriaville, le 7 février. Conseil québécois des plantes fourragères, Québec.
- De Ondarza, M.B. 2011. *La digestibilité des fourrages*. Pages 33-37. Colloque sur les plantes fourragères « Maximiser nos plantes fourragères », le 29 novembre. Drummondville. CRAAQ, Québec.
- Dernedde, W. and R. Wilmschen. 1969. *Heuwerbungsverluste durch Niederschläge bei gequetschten Gras. (Haymaking losses due to rain on lacerated grass)*. Landbauforschung Vrlkenrode, 19(1):39 42.
- Descôteaux, S. et P. Savoie. 2005a. *Le matériel mécanique de récolte pour le foin*. Pages 140-149. Guide des plantes fourragères. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec.
- Descôteaux, S. et P. Savoie. 2005b. *Le matériel mécanique de récolte pour l'ensilage*. Pages 150-156. Guide des plantes fourragères. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec.

- Fonnesbeck, P.V., M.M. Garcia, J.M. Kaykay and M.Y. Saiady. 1986. *Estimating yield and nutrient losses due to rainfall on field-drying alfalfa hay*. Anim. Feed Sci. Technol., 16:7-15.
- Hart, R.H. and Burton, G.W. 1967. Curing coastal bermudagrass hay: Effects of weather, yield, and quality of fresh herbage on drying rate, yield and quality of cured hay. Agron. J., 59:367-371.
- Honig, H. 1980. Mechanical and respiration losses during pre-wilting of grass. Occasional Symp. No. 11: 201-204. Hurley, Maidenhead, Berkshire, British Grassland Society.
- House, H.K. and R.P. Stone. 1988. *Barn hay drying*. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Factsheet 11.023 (remplaces OMAFRA Factsheet 88-110)
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-023.htm>
- Kaiser, A. G., J. W. Piltz, H. N. Burns and N. W. Griffiths (Éditeurs). 2004. *Top Fodder Successful Silage*. Second Edition. Dairy Australia and New South Wales Department of Primary Industries. 468 pages. Orange, NSW, Australia.
- Klinner, W.E., G.M. Wood, G.W. Biggar and F.R. Brown. 1971. *A performance analysis of mowing and crop conditioning systems*. Dept. Note DN/49/1355. Natn. Inst. Agric. Engn. Unpub.
- Koegel, R.G., R.J. Straub and R.P. Walgenbach. 1985. *Quantification of mechanical losses in forage harvesting*. Trans. ASAE., 28(4)1047:1051.
- Kung, L. Jr, E. C. Stough, E. E. McDonell, R. J. Schmidt, M. W. Hofherr, L. J. Reich, and C. M. Klingeran. 2010. *The effect of wide swathing on wilting times and nutritive value of alfalfa haylage*. J. Dairy Sci. 93: 1770-1773.
- McCormick, M. E., K. J. Han, V. R. Moreira, D. C. Blouin and S. Forbes. 2011. *Forage conservation efficiency and lactation response to bahiagrass conserved as barn-stored hay, outdoor-stored hay, or baleage*. J. Dairy Sci. 94:2500–2507.
- McGechan, M.B. 1989. *A review of losses arising during conservation of grass forage: Part 1, Field losses*. J. Agric. Eng. Res., 44:1-21.
- McGechan, M.B. 1990. *A review of losses arising during conservation of grass forage: Part 2: Storage Losses*. J. Agric. Eng Res., 45: 1-30.
- Morin, C., G.F. Tremblay, G. Bélanger, A. Bertrand, Y. Castonguay, R. Drapeau, R. Michaud, R. Berthiaume et G. Allard. 2012. *Nonstructural carbohydrate concentration during field wilting of PM- and AM-cut alfalfa*. Agron. J. 104: 649-660.
- Morissette, R. et P. Savoie. 2012. *Effet du macérateur, de la faneuse et de la séquence des passages sur le séchage du foin au champ*. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, Victoriaville, le 21 février. Pages 9 à 17. CQPF-CRAAQ. Disponible sur le site :
<http://www.agrireseau.qc.ca/>
- Pelletier, S., G. F Tremblay, G. Bélanger, P. Seguin, R. Drapeau et G. Allard. 2008. *Delayed harvest affects mineral and NDF concentrations, and digestibility of timothy*. Can. J. Anim. Sci. 88: 325-329.
- Petit, H.V. et G.F. Tremblay. 1992. *In situ degradability of fresh grass and grass conserved under different harvesting methods*. J. Dairy Sci. 75:774-781.

- Rotz, C.A. and D.J. Sprott. 1984. *Drying rates, losses and fuel requirements for mowing and conditioning alfalfa*. Trans. ASAE., 27(3):715-720.
- Rotz, C.A. and S.M. Abrams. 1988. *Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage*. Trans. ASAE., 31(2):350-355.
- Rotz, C.A., R.J. Davis and S.M. Abrams. 1991. *Influence of rain and crop characteristics on alfalfa damage*. Trans. ASAE., 34(4):1583-1591.
- Rotz, C.A. and R.E. Muck. 1994. *Changes in forage quality during harvest and storage*. Dans : Forage quality, evaluation and utilization, ed. G.C.Fahey. Madison, Wisconsin., Am, Soc. Agron.
- Savoie, P. 1988. *Hay tedding losses*. Canadian Agric.Eng., 30:39-42.
- Savoie, P., D. Tremblay, E. Charmley et R. Thériault. 1996. *Round bale ensilage of intensively conditioned forage*. Canadian Agricultural Engineering 38(4):257-263.
- Savoie, P. 2001. *Intensive mechanical conditioning of forages: a review*. Canadian Biosystems Engineering. 43:2.1-2.12.
- Savoie, P. and J.C. Jofriet. 2003. *Silage Storage*. Chapter 9 in Silage Science and Technology - Agronomy Monograph 42: 405-467. D.R. Buxton, R.E. Muck and J.H. Harrison, Editors. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Savoie, P., E. Caron et G.F. Tremblay. 2011. *Control of losses during the haymaking process*. Proceedings of the II International Symposium on Forage Quality and Conservation, Eds : J.L.P. Daniel, M. Zopollatto et L. G. Nussio. p. 143-164. Sao Pedro, Brésil, 16-19 novembre.
- Shinners, K. J. and M. E. Herzman. 2006. *Wide-swath drying and post cutting process to hasten alfalfa drying*. ASABE Annual International Meeting, Portland, OR. ASAE Paper No. 061049.
- Taylor, J. C. and J.E. Rudman. 1965. Proc. Int. Grassl. Congr., 9th, Sao Paulo, pp.1639-1644.
- Thomas, E.D. 2007. *Harvesting alfalfa and alfalfa-grass. How low should we mow?* Page 211, March 25, 2007, issue of Hoard's Dairyman. Accessed : <http://www.nnyagdev.org/PDF/How%20low%20should%20we%20mow.pdf>.
- Tremblay, G.F., R. Berthiaume, G. Bélanger, A. Bertrand, Y. Castonguay, R. Michaud, S. Pelletier, A. Brito, C. Lafrenière, R. Drapeau et G. Allard. 2011. *Non structural carbohydrates: How to increase their concentration in forages and how does it affect animal performance?* Proc. 47th Eastern Nutrition Conference, 11-12 Mai, Montréal, Québec, p. 219-243.
- Verbič, J., Ørskov, E.R., Žgajnar, J. Chen, X.B. and Žnidaršič-Pongrac, V. 1999. *The effect of method of forage preservation on the protein degradability and microbial protein synthesis in the rumen*. Anim. Feed Sci. Technol., 82:195-212.
- Wiersma, D. W. and R. Wiederholt. 2001. *Alfalfa Cutting Height to Maximize Forage Yield and Quality*. Wisconsin Forage Conference : http://www.uwex.edu/ces/forage/wfc/proceedings2001/alfalfa_cutting_height.htm.
- Wilkinson, J. M., J. Hill and J. D. Leaver. 1999. *Effect of swath treatment on water loss during field-wilting and on feeding value of perennial ryegrass silage*. Grass Forage Sci. 54: 227-236.