

Colloque sur les plantes fourragères

«L'ensilage : du champ à l'animal»

Mardi le 17 novembre 1998
Hôtel Universel, Alma

Mercredi le 18 novembre 1998
Hôtel Delta, Sherbrooke

Ce cahier des
conférences appartient à: _____

Téléphone: _____

Avertissement

Il est interdit de reproduire cet ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, incluant la photocopie, en totalité ou en partie, sans l'autorisation écrite du Conseil des productions végétales du Québec inc.

Pour information et commentaires

Conseil des productions végétales du Québec inc.
200, chemin Sainte-Foy, 1er étage
Québec (Québec) G1R 4X6

Téléphone: (418) 646-5766
Télécopieur: (418) 644-5944 ou 646-1830
Courrier électronique: cpvq@cpvq.qc.ca

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec, 1998
Bibliothèque nationale du Canada, 1998

ISBN 2-89457-168-2

Table des matières

| | |
|---|--------|
| Mot du Comité organisateur | 1 |
| <i>Raynald DRAPEAU</i> <i>Michel PERRON</i> | |
| Les partenaires du Conseil des productions végétales du Québec inc. | 2 |
| Comité organisateur | 3 |
| <ul style="list-style-type: none">• Gérer son chantier de récolte de fourrages <i>Mario QUEVILLON</i> | 7 |
| <ul style="list-style-type: none">• Entreposage des ensilages <i>Philippe SAVOIE</i> | 21 |
| <ul style="list-style-type: none">• Comment conserver une bonne récolte sous forme d'ensilage <i>Carole LAFRENIÈRE</i> | 59 |
| <ul style="list-style-type: none">• L'ensilage dans l'alimentation des ruminants <i>Alain FOURNIER</i> ALMA <i>Régent LEDUC</i> SHERBROOKE | 111 |
| <ul style="list-style-type: none">• L'ensilage, un nouveau marché à exploiter <i>Daniel CARLE</i> | 167 |
| <ul style="list-style-type: none">• La route vers l'ensilage <i>Colette VAILLANCOURT</i> ALMA | 175 |
| <ul style="list-style-type: none">• Ensilage de balles rondes à la ferme de M. Grenier et Fils inc. <i>Anita GRENIER</i> SHERBROOKE | 181 |
| Commanditaires | Annexe |
| Bon de commande pour les publications du CPVQ reliées aux plantes fourragères | Annexe |

*Les textes des conférences contenus dans ce cahier
ont été révisés par un comité de lecture.*

Mot du Comité organisateur

Chers participants et chères participantes,

«L'ensilage : du champ à l'animal »

Au Québec, nous possédons les conditions idéales pour la production de fourrages en quantité et de haute qualité. Ces conditions particulières à une bonne production ne sont malheureusement pas toujours propices à la récolte et à une bonne conservation de ce matériel à haute valeur nutritive.

Pour ces raisons, la récolte et l'entreposage des fourrages sous forme d'ensilage s'avèrent une alternative intéressante. Le succès de ce mode de conservation repose toutefois sur une foule de petits principes élémentaires qu'il faut connaître et maîtriser à partir du champ jusqu'à l'animal.

Comme le thème l'indique, ce colloque se veut un survol de tous les aspects : systèmes de récolte, systèmes d'entreposage et reprise, principes régissant la fabrication d'un bon ensilage, la place de l'ensilage dans l'alimentation des ruminants, la commercialisation de l'ensilage et le point de vue du producteur et de la productrice sur leur système d'ensilage et l'utilisation de l'ensilage dans leurs rations.

Chaque sujet est traité par des spécialistes et renferme de l'information récente qui contribuera certainement à renseigner et à parfaire les connaissances des participants et des participantes.

Nous souhaitons que la tenue du colloque en région, tout comme celui de 1996, incitera les producteurs et productrices à y assister en grand nombre et que les connaissances acquises contribueront à améliorer l'efficacité de nos entreprises agricoles.

L'ensilage, le mode de conservation de nos fourrages de demain!

Bon colloque à tous et à toutes!

Raynald Drapeau, agr.
Saguenay-Lac-Saint-Jean
Co-président du Colloque

Michel Perron, agr.
Estrie
Co-président du Colloque

Les partenaires du Conseil des productions végétales du Québec inc.

Nous tenons à remercier tous les partenaires du CPVQ pour leur précieuse collaboration. Nous adressons un remerciement tout spécial au MAPAQ pour son appui financier.

- **Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec**
- Agriculture et Agroalimentaire Canada
- Association des marchands de semences
- Association des technologistes agro-alimentaires du Québec
- Conseil québécois de l'horticulture
- Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec
- Institut pour la protection des cultures
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
- Mouvement coopératif
- Ordre des agronomes du Québec
- Régie des assurances agricoles du Québec
- Union des producteurs agricoles
- Université Laval
- Université McGill

Comité organisateur

- **COUTURE, Luc**, agronome, chercheur scientifique
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **DENIS, Sylvie**, agronome
Direction régionale Saguenay-Lac-Saint-Jean-Côte-Nord
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- **DRAPEAU, Raynald**, agronome, chercheur
Ferme de recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **JOBIN, Dominique**, agronome
Semico inc.
- **LAFRENIÈRE, Carole**, agronome, chercheuse
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **LEFEBVRE, Germain**, agronome
Agro-Bio Contrôle inc.
- **MICHAUD, Réal**, agronome
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **PERRON, Michel**, agronome
Direction régionale de l'Estrie
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- **ROGER, Claude**, agronome
Coopérative fédérée de Québec
- **SAVOIE, Philippe**, agronome et ingénieur, chercheur
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **TREMBLAY, Gaëtan**, chercheur
Direction de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
- **BOUCHER, Caroline-Joan**, agronome
Conseil des productions végétales du Québec inc.

Entreposage des ensilages

Philippe SAVOIE, agronome et ingénieur, Ph. D.
Chercheur

Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Département des sols et de génie agroalimentaire
Université Laval
Québec (Québec)
G1K 7P4

Conférence préparée avec la collaboration de
Jan C. Jofriet, P. Eng., Ph. D., Professeur émérite
School of Engineering, University of Guelph

ENTREPOSAGE DES ENSILAGES

INTRODUCTION

Les ensilages peuvent être entreposés dans des structures avec des parois de béton ou d'acier (silos tours, silos horizontaux) ou dans des contenants flexibles sans structure (meules, boudins, balles rondes et balles rectangulaires). Dans tous les cas, il faut une bonne étanchéité afin d'éviter l'infiltration d'air. Chaque méthode d'entreposage a ses particularités et ses exigences propres.

La méthode d'entreposage idéale doit être sécuritaire, économique, propice à une bonne fermentation et capable de conserver les aliments humides pendant une période pouvant s'échelonner jusqu'à une année, avec un minimum de pertes. Il n'existe pas une seule méthode adaptée à tous les besoins. Il s'agit d'identifier la méthode ou les méthodes d'entreposage qui conviennent le mieux à une entreprise et à un environnement donnés.

Le guide des plantes fourragères (CPVQ, 1989) illustre les méthodes d'entreposage qui étaient pratiquées au Québec vers 1985, il y a donc près de 15 ans. Les techniques ont beaucoup évolué depuis ce temps, avec l'utilisation croissante des films plastiques et l'amélioration de la régie de toutes les méthodes d'entreposage. Le but de cette présentation est de faire une mise à jour des méthodes d'entreposage des ensilages couramment utilisées en 1998 et d'examiner quelques perspectives d'avenir.

SILOS VERTICAUX

Les silos verticaux ou silos tours sont des structures cylindriques où la hauteur est généralement trois à quatre fois plus grande que le diamètre. On remplit les silos tours en soufflant un fourrage préalablement haché jusqu'au sommet de la structure. Le tassement se fait par compactage naturel. À la reprise, l'ensilage est récupéré à l'aide d'un videur installé soit dans le haut du silo, soit dans le bas. Les silos avec vidange par le haut sont munis d'une série de portes qu'on ouvre du sommet jusqu'à la base au fur et à mesure que le niveau d'ensilage baisse. Les silos avec vidange par le bas sont généralement plus étanches que ceux avec vidange par le haut, c'est pourquoi on les appelle parfois silos hermétiques ou à atmosphère contrôlée. Ils n'ont pas besoin de portes sur le côté puisque tout l'ensilage sort à la base du silo.

Les silos tours sont généralement construits juste à côté de l'étable ou du bâtiment où l'on garde les animaux l'hiver. On peut ainsi effectuer la vidange du silo et le mélange des aliments sans avoir à sortir du bâtiment. Certains inconvénients avec les silos tours incluent le coût relativement élevé de la structure, le besoin d'une bonne fondation, en particulier sur les sols argileux, l'écoulement de jus, le gel des ensilages trop humides et l'accumulation de gaz toxiques dans le haut du silo et dans les aires d'alimentation. De plus, il faut être prudent lorsque l'entretien et les réparations exigent de monter et de descendre le long de ces silos dont la hauteur dépasse parfois 30 m. Une bonne régie et l'application de règles de sécurité permettent de surmonter la plupart des difficultés techniques reliées aux silos tours.

Principaux types de silos tours

Les deux principaux types de silos tours sont ceux avec la vidange par le haut et ceux avec la vidange par le bas. Dans les deux cas, le fourrage est soufflé jusqu'au sommet lors du remplissage (figure 1).

Silo tour à vidange par le haut

Dans le silo tour à vidange par le haut, la paroi du silo est habituellement perforée d'une série de portes formant une colonne verticale (figure 2). Chaque porte, d'une dimension d'environ 600 mm de largeur, 750 mm de hauteur et à 1 000 mm centre à centre, est fermée lors du remplissage du silo. La colonne de portes est recouverte d'une chute semi-cylindrique, en acier ou en béton, pour orienter le fourrage directement en bas lors de la vidange, soit dans un chariot, soit sur un convoyeur. La chute inclut une échelle par laquelle on aura accès au sommet du silo. Chacune des portes sera ouverte du haut vers le bas, au fur et à mesure que le silo sera vidé. Pour minimiser la détérioration aérobie de la couche supérieure d'ensilage, on recommande de désiler une épaisseur minimale de 50 mm l'hiver et de 75 mm l'été.

Une variation du silo tour à vidange par le haut consiste à désiler par un trou central (figure 3). Lors du remplissage, il faut utiliser un coffrage cylindrique pour former le trou. Lors de la vidange, le fourrage est poussé par le désileur vers le centre; il tombe dans un chariot ou sur un convoyeur placé sous le silo pour la distribution.

Les silos tours à vidange par le haut sont construits en différents matériaux: douves de béton, béton monolithique, acier, bois. Les structures les plus courantes sont en béton. Les douves de béton ont des dimensions de 250 à 300 mm de largeur, 750 mm de hauteur et 65 à 75 mm d'épaisseur. Les douves sont emboutées et généralement placées en quinconce. Des cerceaux d'acier galvanisé, de 16 à 19 mm de diamètre, sont nécessaires pour donner une résistance en tension au silo. Les cerceaux sont placés à tous les 750 mm de hauteur, ou plus souvent selon les dimensions du silo et les charges (Jofriet et Kleywegt, 1980). La tension des cerceaux est maintenue à l'aide d'un boulon d'ajustage, appelé aussi tasseau (figure 4). Puisque la tension peut diminuer avec le temps, il est important de vérifier et de corriger, au besoin, la tension des cerceaux.

Les silos tours à vidange par le haut sont aussi couramment construits en béton monolithique en coulant le béton dans des coffrages annulaires. L'épaisseur des parois varie entre 125 mm pour les silos courts, jusqu'à 18 m de hauteur, et 165 mm pour les silos jusqu'à 36 m de hauteur. La paroi est armée de tiges d'acier, principalement dans le sens de la circonférence mais aussi dans le sens vertical.

Les silos en béton monolithique ont certains avantages par rapport aux silos en douves: 1) les pertes d'ensilage sont moindres à cause de l'absence de joints dans la paroi; 2) la paroi est plus épaisse et la corrosion due aux acides d'ensilage a moins d'impact; 3) la résistance structurale aux vents et aux tremblements de terre est meilleure, surtout lorsque les cerceaux ne sont pas resserrés régulièrement sur les silos en douves.

Le silo en douves de béton a certains avantages par rapport au silo monolithique: 1) l'investissement initial est habituellement moindre; 2) on peut le démonter et l'ériger ailleurs; 3) la construction peut être faite n'importe quand durant l'année et rapidement, en une ou deux journées.

Les silos tours à vidange par le bas

Dans ces silos, un désileur installé à la base retire l'ensilage des couches inférieures. L'écoulement des fourrages hachés a tendance à créer un dôme (figure 5); le désileur fait descendre le fourrage surtout par la périphérie. L'écoulement des grains humides a plutôt tendance à se faire par le centre (figure 6). La couche supérieure peut être exposée longtemps aux gaz dans le haut du silo. C'est pourquoi on essaie de restreindre l'entrée d'air autant que possible. La base du silo est également étanche. Une porte scellée s'ouvre lors du déchargement de l'ensilage. Aussitôt que la vidange est terminée, la porte devrait être refermée.

Le toit du silo est généralement étanche, avec un regard scellé et une soupape contrôlée par la pression des gaz. La température des gaz dans le haut du silo peut augmenter considérablement les journées chaudes; Jiang *et al.* (1988) ont estimé des températures de 52°C. La nuit, la température des gaz baisse. À cause de ces fluctuations de température, la haute pression diurne a tendance à pousser les gaz à l'extérieur et la basse pression nocturne a tendance à aspirer de l'oxygène à l'intérieur. Pour minimiser les échanges gazeux avec l'extérieur, on utilise des sacs de régularisation de la pression ou « poumons » (figure 7). Le jour, ces sacs sont écrasés par la pression des gaz dans le silo. La nuit, ils prennent de l'expansion pour combler la basse pression associée aux températures froides. Les sacs peuvent être placés dans le haut ou le bas du silo (figure 8). La dimension des sacs dépend des dimensions du silo, du type de paroi (béton ou acier) et des fluctuations de températures selon la zone climatique. Si les sacs sont trop petits, une fois les sacs écrasés ou gonflés au maximum, la soupape de pression s'ouvrira pour un échange gazeux avec l'extérieur. On ne peut pas dimensionner de façon pratique des sacs assez grands pour qu'il n'y ait jamais d'échange avec l'extérieur. Cependant, Jiang *et al.* (1989) ont fait des recommandations basées sur les fluctuations climatiques de 25 ans en Ontario; les fabricants locaux devraient être capables de faire des recommandations sur la dimension appropriée des sacs.

Critères de conception des silos tours

Emplacement du silo

Les silos tours sont des structures pratiquement permanentes et inamovibles. C'est pourquoi une bonne planification de leur emplacement est nécessaire. Il faut aussi tenir compte de l'expansion future, au cas où d'autres silos tours seraient érigés par la suite.

La topographie autour du silo devrait permettre l'écoulement facile de l'eau de pluie. Le drainage sera d'autant plus facile si le silo est à un point élevé. L'emplacement devrait permettre l'accès facile pour des wagons ou des camions lors du remplissage. S'il y a plusieurs silos, on devrait prévoir un accès facile pour chacun.

En général, les silos tours sont situés près de l'étable ou de l'endroit où les animaux sont alimentés. On devrait prévoir une distance de 3 à 5 m entre le silo et l'étable pour une salle de préparation des aliments. Cet espace abrite les équipements et les systèmes électriques pour le mélange et la distribution des aliments. Une bonne ventilation est importante pour l'évacuation des gaz toxiques qui peuvent parfois s'échapper du silo. Lorsqu'il y a plusieurs silos, une disposition en ligne des cylindres de chute et un seul convoyeur en bas, permettent de faire des mélanges d'aliments facilement. Les chutes peuvent aussi être face à face, avec déchargement sur un convoyeur central.

Capacité des silos

La capacité des silos doit d'abord être basée sur les besoins annuels des animaux et la sorte de fourrage. On doit aussi déterminer si on préfère un grand silo ou deux petits silos pour la même capacité. Deux silos offriront plus de flexibilité mais représenteront un investissement et des coûts d'entretien plus élevés.

Les tableaux 1 et 2 présentent la capacité de fourrages dans les silos tours en béton et en acier, respectivement. Les capacités sont exprimées en tonnes humides, pour deux fourrages : la luzerne et le maïs fourrager. Pour d'autres ensilages d'herbe comme la fléole, le trèfle ou les mélanges, on peut considérer que les capacités sont pratiquement semblables à celles de la luzerne.

Les besoins d'un troupeau sont souvent estimés en tonnes sèches, qu'il faut ensuite convertir en tonnes humides pour trouver les dimensions voulues. Par exemple, si on sert en moyenne par vache 2,5 tonnes de matière sèche d'ensilage d'herbe par année à un troupeau de 100 vaches, on aura besoin de 250 tonnes de MS. Si l'herbe est préfanée à une teneur en eau moyenne de 60 %, on récoltera 625 tonnes de matière humide. La relation entre matière humide et matière sèche est :

$$\text{Matière humide} = \text{Matière sèche} \times \frac{100 \%}{(100 \% - \text{teneur en eau})}$$

Pour une capacité de 625 t MH à 60 % de teneur en eau dans un silo de béton, on consulte le tableau 1 sous la colonne luzerne à 60 %. Il faudrait un silo situé entre un 24 x 60 (559 t MH) et 24 x 70 (674 t MH). On peut interpoler linéairement pour la hauteur exacte comme suit :

$$\text{Hauteur} = 60 + (70 - 60) \times \frac{(625 - 559)}{(674 - 559)}$$

La réponse exacte est 65,7 pi de hauteur. On choisirait possiblement un silo 24 x 70. Certaines personnes préfèrent avoir un silo de plus petit diamètre et plus haut pour augmenter l'épaisseur de la couche de reprise quotidienne. En extrapolant pour les silos 20 x 70 et 20 x 80, on peut estimer qu'un 20 x 94 aurait aussi la capacité voulue de 625 t MH. Il s'agit de voir avec le constructeur si un rapport aussi élevé hauteur:diamètre (4,7:1) permet d'avoir une structure résistante au vent et aux tremblements de terre.

On peut généraliser l'interpolation de la hauteur par la formule suivante:

$$\text{Hauteur} = H_1 + (H_2 - H_1) \times \frac{(\text{Capacité} - C_1)}{(C_2 - C_1)}$$

Dans cette dernière équation, C_1 et C_2 sont les capacités du tableau, juste en dessous et au-dessus de la « Capacité » recherchée ». H_1 et H_2 sont les hauteurs correspondantes. La « Hauteur » calculée est la valeur recherchée comprise entre H_1 et H_2 .

Avec le même exemple, une autre possibilité est de choisir deux plus petits silos de capacité de 312,5 t MH chacun. À l'aide du tableau 1 et suite à l'interpolation, on trouve que deux silos de 18 x 65 pourraient convenir.

On peut utiliser les tableaux 1 et 2 pour estimer la quantité résiduelle d'ensilage dans un silo déjà ouvert. Par exemple, combien de maïs fourrager à 65 % de teneur en eau reste-t-il dans un silo en acier 20 x 80 vidé aux trois quarts? Au tableau 2, sous la colonne maïs fourrager à 65 %, on observe que la capacité pleine est de 547 t MH. La portion enlevée correspond en fait à 60 pi de hauteur, ou l'équivalent d'un silo 20 x 60, c'est-à-dire 396 t MH au tableau 2. Le résidu est donc la différence, soit 151 t MH. Il va de soi que la partie du fond sera plus dense que la partie du haut. Les tableaux 1 et 2 ne contiennent pas toutes les combinaisons pour faire un tel calcul. On peut quand même utiliser ces tableaux pour obtenir une approximation des densités à diverses hauteurs.

Pour des fins de comparaison, le tableau 3 fournit la capacité du maïs-grain humide, du maïs-grain broyé et du maïs-épi broyé.

Autres critères de conception

Plusieurs critères de conception pour les silos tours relèvent du travail de l'ingénieur. La fondation doit être construite de façon à supporter le silo et son contenu. Une étude de la résistance des sols à la consolidation devrait être faite. Les sols argileux sont particulièrement sensibles à la consolidation (ou tassement). Une mauvaise fondation peut être la source de problèmes comme un tassement inégal, un silo tour penché et même l'écroulement.

Des charges comme le vent et les risques de tremblement de terre devraient être pris en compte dans la conception des silos tours. Le type de produit ensilé et la teneur en eau peuvent influencer les charges latérales, l'épaisseur des parois et l'armature nécessaire dans le béton. La construction de la fondation et du silo tour devrait donc être confiée à des personnes compétentes.

Remplissage et vidange des silos tours

Remplissage des silos tours

Lors du remplissage, le fourrage haché ou les grains humides sont généralement soufflés au centre du silo. S'il n'y a pas de distributeur, le matériel formera un cône. Les particules fines auront alors tendance à s'accumuler au centre tandis que les particules grossières rouleront sur la périphérie. Pour obtenir un mélange plus homogène des particules, on utilise un distributeur dont la fonction est d'éparpiller le fourrage dans toutes les directions (figure 9).

Désileurs

Le principal mécanisme de désilage est la vis-sans-fin. En tournant à partir d'un pivot central, la vis arrache une mince couche de fourrages et l'oriente vers la sortie. Certains désileurs sont suspendus par un système de câbles (figure 10). Un treuil permet de lever ou de descendre le désilleur suspendu et d'ajuster la profondeur de désilage. D'autres désileurs reposent directement à la surface du fourrage (figure 3); ces désileurs de surface sont supportés par un mécanisme de roues. On ajuste la profondeur de désilage par la hauteur relative des roues.

Pour augmenter l'effet tranchant de la vis, on peut ajouter des dents ou des lames à la périphérie. On utilise aussi des chaînes dentelées au lieu de la vis-sans-fin. Ces chaînes ont un effet coupant

semblable à celui d'une scie à chaîne.

Entretien des silos tours

Corrosion

Un bon ensilage produit des acides organiques, notamment l'acide lactique et l'acide acétique. Un ensilage mal conservé pourra aussi produire de l'acide butyrique. Bien que les acides organiques soient moins corrosifs que les acides minéraux comme l'acide sulfurique, de fortes concentrations peuvent détériorer le béton (Bellman, 1990). Les ensilages plus humides produiront plus de jus, plus d'acides organiques et seront généralement plus corrosifs que les ensilages préfanés ou demi-secs.

Dans les silos en douves de béton, les jus d'ensilage peuvent s'écouler par les joints et entrer en contact avec les cerceaux, l'échelle et les autres accessoires en métal. Il est donc important que toutes les pièces métalliques soient galvanisées (c'est-à-dire recouvertes de zinc) ou peintes avec un enduit protecteur contre l'acide. Il va de soi que les silos en acier doivent être complètement recouverts d'une couche de protection.

Le béton est plus résistant à l'acide lorsqu'il est préparé avec une faible quantité d'eau. On suggère un ratio eau/ciment inférieur à 0,45 pour obtenir un béton dense, à faible porosité. Certains enduits à base d'huiles minérales sont parfois appliqués sur la paroi intérieure des silos tours. L'application dans le tiers inférieur est généralement suffisante, là où se concentrent les jus d'ensilage. Il faut s'assurer de l'innocuité d'un enduit avant son utilisation, puisqu'il sera en contact avec le fourrage.

Jus d'ensilage

Pour éviter des jus d'ensilage dans des silos tours, il faut entreposer les fourrages à une teneur en eau inférieure à 65 % ou même 60 % dans les silos de 30 m de hauteur et plus (Pitt et Parlange, 1987; Yao et Jofriet, 1991). Certaines années, il est difficile de récolter le fourrage à la teneur en eau désirée. S'il est trop humide, il y aura un écoulement de jus à travers la paroi ou à la base du silo.

Ces jus d'ensilage sont très riches en matière organique et très polluants s'ils se déversent dans des cours d'eau (McDonald *et al.*, 1991). Dans les régions humides où les ensilages sont parfois faits à des teneurs en eau élevées, on devrait installer un drain de captage, possiblement de forme annulaire à l'extérieur de la base du silo. Le jus devrait être acheminé vers un réservoir et traité de la même façon que le lisier.

Sécurité dans les silos tours

L'utilisation des silos tours présente un certain nombre de risques pour la santé. On peut mentionner: 1) la chute en montant l'échelle; 2) l'intoxication par les gaz d'ensilage; 3) une blessure en dégageant de l'ensilage dans les silos à déchargement par le bas; 4) une blessure lors de l'entretien des équipements de remplissage ou de vidange; 5) une affection pulmonaire reliée aux particules fines ou aux moisissures parfois présentes dans les ensilages.

Pour minimiser le risque de chute, on recommande d'installer une cage semi-circulaire par-dessus l'échelle quand il n'y a pas de chute, comme c'est souvent le cas des silos à vidange par le bas. Pour s'assurer d'une plus grande sécurité, la personne escaladant un silo devrait porter un harnais avec des chaînes de rétention fixées aux barres de l'échelle.

De nombreux gaz sont formés durant la fermentation (Jiang *et al.*, 1991). Le plus abondant est le gaz carbonique (CO_2) qui n'est pas toxique à de faibles concentrations. Cependant dans un environnement fermé comme le haut d'un silo, il peut remplacer l'oxygène et causer l'asphyxie. Les oxydes d'azote (N_2O et NO_2) peuvent être formés durant les trois semaines qui suivent la mise en silo. Le bioxyde d'azote (NO_2) est particulièrement dangereux et cause la mort en quelques minutes s'il est respiré. Étant plus denses que l'air, ces gaz descendront par la chute des aliments et occuperont la salle d'alimentation. C'est pourquoi la salle d'alimentation devrait être séparée de l'étable et bien ventilée.

Il arrive que l'ensilage dans un silo à vidange par le bas forme un dôme très cohésif. Le désileur n'arrive plus à dégager le fourrage. Il faut alors secouer et briser la croûte de l'ensilage à l'aide d'un fléau rotatif ou d'un autre outil sans pénétrer dans le silo. En effet, lorsque l'outil aura brisé le dôme, plusieurs tonnes d'ensilage tomberont subitement et pourraient causer des blessures graves si quelqu'un se trouve en dessous. De même, l'entretien des désileurs et d'autres équipements de silos devrait être fait en prenant des précautions élémentaires comme l'arrêt de l'alimentation électrique et le port de gants pour la manipulation de pièces coupantes.

Les ensilages plus secs (teneurs en eau inférieure à 50 %) peuvent être une source de poussière et de moisissures. Dans ce cas, il est recommandé de porter un masque filtrant chaque fois qu'on travaille autour du silo et qu'on prépare les aliments. Si le problème se répète, il vaut mieux envisager faire un ensilage plus humide. Les ensilages très secs, généralement contenant moins de 40 % d'eau et exposés à une infiltration d'air continue, peuvent aussi causer des feux de silos. Murphy (1982) a décrit diverses procédures à prendre pour régler ce problème plutôt rare.

Lorsqu'on doit entrer dans un espace fermé où la présence de gaz toxiques est possible, il faut porter un appareil respiratoire autonome avec une bonbonne d'air comprimé. On trouvera dans le guide du CPVQ (1989) d'autres détails concernant la sécurité dans les silos.

SILOS HORIZONTAUX

Les silos horizontaux sont constitués d'un plancher, de deux murets parallèles et d'un muret de fond. La hauteur des murets varie normalement entre 2 et 6 m; la largeur entre les murets parallèles varie entre 5 et 15 m. Le dessus est recouvert d'une toile de polyéthylène retenue par des pneus ou d'autres objets lourds non coupants. On doit dimensionner les silos horizontaux en fonction du nombre d'animaux à nourrir afin de reprendre une tranche verticale d'au moins 150 mm d'épaisseur par jour.

Les silos horizontaux coûtent généralement moins cher à la construction, pour une même capacité d'entreposage, que les silos tours. Durant le remplissage, on compacte le fourrage avec un tracteur; il faut être prudent pour éviter le renversement en montant et en descendant les pentes accentuées du tas de fourrage. Si l'on retarde la pose de la toile de polyéthylène, notamment lorsque le remplissage est interrompu par la pluie ou que le silo est surdimensionné, l'infiltration prolongée d'air causera des pertes de qualité. Un autre inconvénient est l'obligation de déneiger et de maintenir un accès dégagé pour la reprise durant l'hiver. Il faut aussi envisager le recyclage des films de couverture sur ces silos.

Une solution éventuelle serait le développement de mousses comestibles et imperméabilisantes

appliquées à la surface du silo (Brusewitz *et al.*, 1991; Bolsen, 1997). Les silos horizontaux deviennent de plus en plus la norme, en particulier aux États-Unis, pour la conservation d'ensilage en grande quantité (NRAES, 1993; 1997).

Principaux types de silos horizontaux

Silo couloir

Le silo couloir à trois murets est le silo horizontal le plus courant (figure 11). Le silo est rempli en déchargeant les wagons devant l'ouverture; les aliments sont poussés et compactés à l'intérieur. La reprise est habituellement effectuée à l'aide d'un chargeur frontal. Certains silos couloirs sont aménagés pour l'alimentation en libre-service par les animaux (figure 12). Dans ce cas, la hauteur des murets est limitée à environ 2 m pour éviter les affaissements d'ensilage sur les animaux.

Les murets du silo couloir peuvent être faits en panneaux de béton précontraint ou peuvent être coulés sur place. Les panneaux de béton sont pratiques parce qu'ils peuvent être montés rapidement et déplacés au besoin. Les panneaux plats doivent être appuyés sur des contreforts triangulaires (figure 11). Il existe d'autres types de panneaux en forme de L ou de T inversé. La base horizontale de ces panneaux est tournée vers l'intérieur et le plancher est coulé sur place par-dessus cette base.

On suggère de donner aux murets une pente de 10° vers l'extérieur par rapport à la verticale. Cette pente assure un meilleur contact entre le fourrage et les murets au moment du remplissage. Le plancher est généralement en béton avec des joints d'expansion pour minimiser le craquement sous l'effet du poids des tracteurs, des changements de température et du gel. Il faut éviter de faire des planchers avec certains matériaux comme l'asphalte qui sont nocifs pour les aliments destinés au bétail.

Silo fosse

Un autre type de silo horizontal est le silo fosse où l'ensilage est entouré par des murets en terre (Agriculture Canada, 1989). Le plancher est fait en béton. Pour réduire l'érosion, les murets sont engazonnés à l'extérieur et recouverts de paille ou de tiges de maïs à l'intérieur. Le fourrage est empilé et compacté de façon à former une pente de 25 % du centre vers les murets. Ce type de silo est très économique mais il ne permet pas d'obtenir un ensilage d'aussi bonne qualité qu'avec un silo couloir. La présence de particules de terre dans un silo fosse est presque inévitable. Les murets de terre nécessitent un entretien régulier, notamment le resurfaçage du côté intérieur et la coupe de l'herbe du côté extérieur.

Critères de conception des silos horizontaux

Emplacement

Comme pour les silos tours, l'emplacement des silos couloirs mérite une bonne planification. Plusieurs véhicules lourds devront circuler autour et sur l'aire d'entreposage, en particulier lors du remplissage. Idéalement, les camions et les wagons devraient arriver, décharger et repartir en se déplaçant toujours dans la même direction.

Le système de drainage devrait séparer les jus d'ensilage des eaux de pluie ou de fonte des neiges. Les jus d'ensilage s'écouleront le long du plancher qui devrait être en pente, de préférence vers l'avant du silo. Un canal recouvert d'une grille captera ces jus et les dirigera vers une citerne pour être traités comme du lisier. Les eaux de pluie ou de fonte des neiges qui sont beaucoup plus propres devraient être déviées vers des bandes engazonnées. Graves et Vanderstappen (1993) ont d'ailleurs suggéré diverses méthodes de captage des jus et des eaux de pluie.

L'orientation du silo couloir est importante pour minimiser les effets nuisibles de la pluie, de la neige et des vents dominants. En observant les bâtiments et les accumulations de neige aux alentours, on peut identifier une orientation favorable. De plus, l'emplacement devrait être choisi pour faciliter une expansion future de l'aire d'entreposage.

Capacité des silos couloirs

Le dimensionnement des silos couloirs est moins précis que celui des silos tours à cause des grandes variations dans la capacité. La méthode de compactage semble être le facteur le plus important pour prédire la capacité. On obtient les plus hautes densités lorsque le fourrage est étalé en couches minces, inférieures à 200 mm, puis compacté avec un tracteur massif comme un bélier mécanique à chenilles.

Zhao et Jofriet (1992) ont mesuré des densités de 250 à 280 kg MS/m³ pour du maïs fourrager bien compacté dans un silo couloir avec des murets de 5 m de hauteur. Darby et Jofriet (1993) ont rapporté des densités moyennes de 230 kg MS/m³ pour de l'ensilage d'orge et de 260 kg MS/m³ pour de l'ensilage d'herbe à base de graminées. Le principal facteur de variation n'était ni la teneur en eau, ni la hauteur du silo mais plutôt le tracteur de compaction. Zhao et Jofriet (1992) ont d'ailleurs suggéré un modèle simple pour estimer la densité dans un silo couloir:

$$\text{Densité (kg MS/m}^3\text{)} = 200 + 4 W$$

La variable W représente la masse du tracteur de compaction en tonnes métriques. Par exemple, si on utilise un tracteur de 5 tonnes, on peut s'attendre à une densité moyenne de 220 kg MS/m³.

La hauteur d'un silo couloir devrait être d'au moins 3 à 4 m, avec l'exception du silo en libre-service à 2 m environ. La hauteur au centre du silo après tassement devrait être plus élevée que la hauteur des murets pour faciliter le ruissellement de l'eau de pluie. On suggère une pente de 10 % (1:10). Par exemple, si la largeur du silo est de 10 m, le centre devrait être à 50 cm au-dessus du sommet des murets.

Pour un volume donné, il existe une infinité de combinaisons de longueurs et de largeurs. Cependant en dimensionnant la longueur, on doit s'assurer d'enlever une tranche minimale à chaque jour pour éviter la détérioration aérobie. Si le silo couloir doit servir 300 jours par an et qu'on retranche 150 mm de la face verticale par jour, le silo devra mesurer au moins 45 m de longueur. Un silo plus long ne posera pas de problème de reprise, pour un volume donné, car il sera plus étroit et le prélèvement quotidien sera alors de plus de 150 mm.

Pour dimensionner un silo couloir, on doit établir la consommation annuelle du troupeau, c'est-à-dire la capacité du silo. On peut alors calculer le volume à entreposer comme suit:

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \frac{\text{Capacité (kg MS)}}{\text{Densité (kg MS/m}^3\text{)}}$$

Par exemple, pour une ferme utilisant 400 t MS de maïs fourrager (400 000 kg MS), une densité de 220 kg MS/m³ implique un volume d'entreposage de 1 820 m³. Si on choisit une hauteur moyenne de 4,0 m et une longueur de 45 m, la largeur sera de 10,1 m. Pour respecter la pente de drainage (1:10) entre le centre et les murets, le centre devra être à environ 50 cm de plus haut que les murets. Pour maintenir une hauteur moyenne de 4,0 m, les murets seraient à 3,75 m et le centre à 4,25 m. En pratique, les murets sont probablement de hauteur fixe. Il faut alors jouer sur la largeur ou la longueur du silo.

Autres critères de design

Jofriet *et al.* (1992) indiquent que certains silos couloirs avec des murets de 6 m de hauteur se sont effondrés dans les années 80 à 90 bien qu'ils avaient été construits selon le code du bâtiment de 1983. De nouvelles équations pour le calcul des charges d'ensilage sur les murets ont été proposées; elles sont maintenant incorporées dans la norme S538 de l'ASAE (1997).

La conception des murets et des contreforts doit aussi tenir compte des charges ponctuelles exercées par les tracteurs ou béliers mécaniques lors du remplissage et du compactage. Bien que le silo horizontal soit plus facile à construire que le silo tour, on devrait recourir à des personnes expertes pour tout ce qui concerne le devis technique et le suivi des travaux de construction.

Le remplissage et la vidange des silos horizontaux sont des activités relativement simples. Au remplissage, on empile et on compacte le fourrage pour remplir le volume entre les trois murets. À la vidange, on utilise un chargeur frontal ou un désileur spécialisé (coupe-bloc ou désileur à coupe verticale). Les principales consignes de sécurité sont d'être prudent en montant et en descendant les pentes lors du remplissage et d'éviter les chutes d'ensilage à la reprise. L'entretien des silos horizontaux est également relativement simple. Il faut nettoyer le plancher et les murets avant chaque remplissage et réparer au besoin les sections de béton abîmées par les acides ou les déplacements de véhicules.

ENSILAGES SANS STRUCTURE

On utilise les films plastiques (de polyéthylène) pour sceller l'ensilage depuis plusieurs décennies (Dubois, 1978; McLaughlin *et al.*, 1978). La première utilisation importante des films plastiques pour

l'ensilage consistait à recouvrir la face supérieure des silos couloirs. Dans ce cas, on continuait à utiliser une structure (3 murets) pour protéger l'ensilage sur trois côtés. Dans les années 70 et 80, on a vu apparaître plusieurs nouvelles méthodes d'ensilage sans aucune structure: le silo boudin, le silo-meule et l'ensilage de grosses balles rondes, notamment. Toutes ces méthodes utilisaient principalement le film plastique pour assurer un bon scellement.

À l'origine, ces ensilages sans structure étaient souvent considérés comme des systèmes d'appoint. On entreposait en meules des surplus lorsque les silos tours ou les silos couloirs étaient pleins. On ensilait les grosses balles rondes lorsque le climat était trop humide pour la récolte d'un foin de bonne qualité. Avec l'amélioration des films et de la régie, ces systèmes d'entreposage sans structure sont devenus le système principal pour plusieurs fermes.

Un avantage majeur des ensilages sans structure est le coût d'investissement minimal, à l'exception du silo boudin qui requiert un conformateur assez coûteux. L'adoption d'un système d'entreposage avec un investissement minime peut être graduelle, contrairement aux silos tours ou couloirs qui exigent un investissement important et une décision irrévocable pour plusieurs années.

Des équipements spécialisés pour l'enrobage et la distribution des ensilages sans structure ont été développés au cours des 20 dernières années. Dans la plupart des cas, il a été possible d'acquérir ces équipements graduellement en passant de méthodes artisanales et manuelles (par exemple en enfilant et en attachant manuellement un sac sur une grosse balle ronde humide) à des méthodes complètement automatisées (enrubannage avec contrôle de toutes les opérations de la cabine du tracteur). Les deux principaux inconvénients des ensilages sans structure sont la forte dépendance sur le film plastique, un matériau difficilement recyclable, et la vulnérabilité du film et de l'ensilage à des facteurs incontrôlés (rongeurs, oiseaux, grêle, climat).

Silos boudins

Un conformateur spécialisé (« boudineuse ») reçoit le fourrage haché, le comprime à l'aide d'un foulon ou d'un rotor et le pousse dans un sac tubulaire. Le sac est déposé au sol et le conformateur s'avance lentement durant le remplissage. Les dimensions des sacs varient dans les plages suivantes: diamètre de 1,2 à 3,0 m; longueur de 30 à 60 m; épaisseur de 125 à 250 µm (microns). La densité du fourrage varie selon l'espèce, la maturité, la teneur en eau et la pression transmise par le foulon ou le rotor; elle est généralement comprise entre 150 et 250 kg MS/m³. Ces tubes qu'on appelle silos boudins (ou parfois silos presse) permettent de conserver des ensilages à des teneurs en eau variées, entre 40 et 70 %.

Le silo boudin est flexible tant pour le site d'entreposage que pour les volumes conservés. Il est généralement assez étanche puisqu'il est fait d'un seul tube sans joint sur les côtés. Pour une même capacité d'entreposage, le silo boudin requiert considérablement plus de surface de terrain que le silo couloir. Les sacs ne peuvent pas être empilés. De plus, il faut prévoir un espacement minimal entre les sacs pour déplacer le conformateur d'une rangée à l'autre sans déchirer le tube précédent. Pour éviter la détérioration aérobie lors de la reprise, on recommande de prélever au moins 200 mm d'épaisseur par jour, en particulier durant la saison chaude.

Le conformateur pour fabriquer les silos boudins représente un investissement important. Il devrait donc être considéré seulement si on prévoit conserver des volumes importants de fourrages en boudins (grandes fermes, utilisation de la machine en commun, travail à forfait).

Silos-meules

Les silos-meules sont formés d'un tas de fourrage haché, déposé en demi-cylindre et recouvert d'une toile de polyéthylène (figures 13 et 14). Le fourrage est élevé jusqu'à 5 m de hauteur à l'aide d'un convoyeur ou d'un chargeur frontal. Le plancher devrait être en béton pour permettre un accès facile en toutes saisons. On peut parfois considérer un espace engazonné comme plancher pour le silo-meule à la condition de limiter la période de reprise à l'hiver par temps très froid (températures inférieures à -10°C) ou dans des conditions très sèches. Il s'agit d'éviter que les roues de tracteur n'entraînent des mottes de terre et ne contaminent ainsi l'ensilage. On utilise parfois de vieilles toiles de plastique pour couvrir le plancher mais cette pratique n'est pas recommandée. Il est plus important d'avoir un bon scellement à la périphérie de la meule. De plus, il est difficile de bien nettoyer les vieilles toiles qui représentent alors une source possible de contamination.

À la figure 15, on illustre deux techniques pour obtenir un bon scellement à la périphérie. La première consiste à pousser le film plastique à environ 0,5 m sous la meule. La deuxième requiert le dépôt de sable à la périphérie en tirant la toile vers l'extérieur. Durant les jours qui suivent la formation de la meule, celle-ci continue à se tasser naturellement. Il faut donc resserrer le plastique en le poussant à nouveau sous la meule ou en le tirant vers l'extérieur, selon la technique de scellement utilisée. En plus de maintenir une bonne tension du film contre la meule, une série de paires de pneus ou de sacs de sable attachés avec une corde devrait être placés sur la meule. Cette masse protégera le film contre l'effet du vent. Les pneus ou les sacs de sable doivent être maintenus à une hauteur légèrement au-dessus du sol. On peut être obligé de les relever, en raccourcissant la corde, si la meule s'est tassée plus que prévue.

Les largeurs types de plancher sont de 5 à 9 m. La largeur de la meule (c'est-à-dire le diamètre du demi-cylindre) devrait être environ 1 m de moins que la largeur du plancher pour laisser une bande propre de 0,5 m de chaque côté. Les largeurs de films commerciaux généralement disponibles sont de 7,3 m (24 pi), 10 m (32 pi) et 12 m (40 pi). Le tableau 4 indique certaines dimensions suggérées pour obtenir une bonne couverture de la meule avec une toile de plastique commerciale. Celle-ci mesure habituellement 30 m de longueur, ce qui est suffisant pour couvrir de 30 à 40 tonnes de matière sèche (Savoie *et al.*, 1986). Lorsque la meule est formée avec un convoyeur sans compactage mécanique, le tassement naturel est de l'ordre de 1m. La densité moyenne sous la toile est alors d'environ 60 kg MS/m³. Toutefois, il est courant de compacter partiellement la meule par les déplacements de tracteurs sur le plancher, notamment lorsqu'on utilise un wagon autochargeur (Savoie *et al.*, 1992b). La densité d'un silo-meule est alors de l'ordre de 100 kg MS/m³. La densité moyenne sera encore plus élevée de 10 à 20 % si on construit des meules contiguës de deux ou trois longueurs de 30 m. On recommande une teneur en eau relativement élevée pour assurer un bon tassement des ensilages en meules, de 65 % pour les légumineuses et de 70 % pour les graminées.

La longueur de hachage a peu d'influence sur la densité de l'ensilage en meule lorsque les brins sont plus courts que 40 mm. En climat nordique, la qualité de l'ensilage et la production animale ont été assez homogènes à des longueurs de hachage de 6, 13, 25 ou 38 mm (Savoie *et al.*, 1992a). Toutefois, lorsque les brins sont hachés plus grossièrement comme avec une remorque autochargeuse (60 à 150 mm), un compactage mécanique est recommandé (Savoie *et al.*, 1992b). C'est d'ailleurs une pratique courante en Europe (De Brabander *et al.*, 1983). Peu importe la longueur de hachage, on devrait couvrir la meule le plus rapidement possible, de préférence moins de 12 heures après le début du remplissage. Lors de la reprise, on devrait enlever une épaisseur minimale de 300 mm par jour pour minimiser la détérioration aérobie.

Les toiles commerciales utilisées pour couvrir des silos-meules ont une épaisseur qui varie normalement entre 100 et 200 μm . À partir de mesures de pertes et de calculs d'optimisation, Savoie (1988) a estimé qu'une épaisseur de 100 μm pouvait convenir à un entreposage de courte durée (0 à 3 mois), qu'un film de 150 μm était préférable pour un entreposage de 3 à 7 mois et qu'un film épais de 200 μm était le plus avantageux pour un entreposage de 7 à 12 mois. Ces épaisseurs optimales tiennent compte des conditions locales (prix du plastique, valeur des fourrages et des pertes par oxydation). Elles peuvent donc varier dans le temps et d'un endroit à l'autre.

Les silos-meules peuvent fournir un bon ensilage, notamment dans un climat nordique où la température externe est sous le point de congélation pendant six mois par année. Savoie *et al.* (1986) ont observé une meilleure production laitière avec de la fléole légèrement préfanée et entreposée en silo-meule qu'avec du foin conservé à Normandin, au Lac-Saint-Jean. Toutefois, la régie des meules est importante pour minimiser les pertes d'oxydation. McIsaac et Lovering (1980) avaient estimé que les pertes en silos-meules pouvaient varier entre 15 et 40 %. À cause de sa faible densité, l'ensilage en meule doit être scellé rapidement pour stopper l'infiltration d'air. Dans des régions au climat chaud ou tempéré, le silo-meule risque de subir plus de pertes à cause de l'activité accrue des microorganismes et convient moins bien que des silos plus étanches.

Le silo-meule a connu une période de développement et de croissance dans les années 80 et 90. Il a l'avantage d'être peu coûteux en investissement et d'être flexible au niveau des volumes entreposés chaque année. Il est encore utilisé comme système d'entreposage principal sur un certain nombre de fermes, surtout en régions nordiques. On l'utilise aussi comme entreposage d'appoint en régions tempérées lorsqu'il y a des surplus et que les silos permanents sont remplis. Cependant sa sensibilité aux pertes ne permet pas d'envisager un développement important de cette méthode d'entreposage des ensilages.

Ensilage de grosses balles

Les premiers essais de conservation de grosses balles ensilées remontent à la fin des années 1970 et les premières publications au début des années 80 (Kjelgaard *et al.*, 1981; Ganneau, 1981; Gaillard, 1982; Harrison, 1983). La plupart des observateurs à l'époque considéraient qu'il s'agissait d'une technique marginale à cause de problèmes concernant la manipulation des grosses balles, la qualité des films plastiques, les pertes et la distribution des aliments humides non hachés. La plupart de ces problèmes ont été résolus, notamment par une mécanisation presque complète des opérations et une meilleure qualité des films d'enrobage. L'ensilage de grosses balles est d'ailleurs devenue une pratique fort répandue (Eyers, 1989; Genest *et al.*, 1990; Vough et Glick, 1993; Haigh *et al.*, 1996). Un problème persistant est la difficulté, voire l'impossibilité de recycler les films de polyéthylène (Negra et Rogers, 1997). Le coût du plastique et le problème du recyclage sont probablement les deux principaux éléments limitant le développement futur de l'ensilage de grosses balles.

L'ensilage de grosses balles a permis à plusieurs petites entreprises de passer du foin à l'ensilage et d'améliorer la qualité des fourrages dans les régions à climat pluvieux. Pour certaines fermes, l'ensilage de grosses balles a réduit les charges de machinerie puisqu'une seule machine de récolte, la presse, peut servir à ramasser du foin ou de l'ensilage. Les grosses balles sont généralement de forme cylindrique (« balles rondes ») mais on voit de plus en plus de systèmes d'ensilage de grosses balles parallélépipédiques (« balles carrées » ou « rectangulaires »).

L'ensilage en grosses balles est différent des autres ensilages parce que l'herbe est récoltée en longues tiges, normalement non hachées. Pour une quantité de fourrages donnée, la surface sur laquelle les bactéries peuvent se multiplier est moins grande que dans les ensilages hachés. De plus, les sucres solubles sont disponibles plus lentement, ce qui peut ralentir la fermentation et la stabilisation de l'ensilage. Certains fabricants offrent en option des mécanismes de hachage sur les presses à grosses balles pour améliorer la fermentation et faciliter la distribution des aliments. Certains traitements de broyage au champ comme le surconditionnement peuvent aussi améliorer les conditions de fermentation des grosses balles (Savoie *et al.*, 1996).

À l'origine, les grosses balles étaient placées dans des sacs individuels ou en forme de pyramide recouverte d'une toile de plastique (CPVQ, 1989). Aujourd'hui, la plupart des grosses balles sont enrobées avec un film étirable.

Enrobage mécanique des grosses balles

La machine la plus courante est l'enrubanneuse de balles individuelles (figure 16). On utilise un film très fin (25 μm) qui s'étire et qui adhère à la balle. Le film est placé avec un chevauchement moyen de 50 %. La balle fait deux rotations complètes pour un recouvrement de quatre épaisseurs.

Le film s'étire d'environ 50 % lors de la pose, c'est-à-dire qu'une longueur originale de 300 mm s'étendra sur 450 mm. Un étirement plus grand n'est pas souhaitable car cela pourrait causer une déchirure avant d'avoir complété les deux rotations. Un rouleau commercial mesure normalement 1 500 m de longueur par 0,5 m de largeur, pèse 17 kg et peut couvrir 40 balles rondes de 1,2 m de diamètre par 1,2 m de longueur. Le côté du film appliqué contre la balle est traité à l'usine avec une colle légère pour améliorer l'adhérence entre les quatre épaisseurs de plastique.

Un autre système pour couvrir les grosses balles est l'enrobeuse tubulaire (figure 17). Un foulon pousse les balles dans un tube qui se déroule graduellement. Le tube de plastique a une épaisseur de 100 μm et est légèrement étirable (5 à 10 %). Par exemple, un tube de 46 m de longueur par 1,22 m de diamètre pèse 16 kg et peut contenir environ 35 balles rondes de 1,2 m de diamètre par 1,2 m de longueur. On scelle les extrémités en aplatissement le tube sur 2 m à chaque bout ou en tordant et en fermant chaque bout avec une double attache.

Un autre système pour couvrir les grosses balles est l'enrubanneuse en ligne (figure 18). Cette machine utilise la même sorte de film étirable que l'enrubanneuse de balles individuelles (0,5 m de largeur par 25 μm d'épaisseur et légèrement collant sur la face intérieure). Les balles sont placées bout à bout sur la machine qui les pousse au sol après l'enrubannage. Le chevauchement du film plastique est de 75 % pour avoir quatre épaisseurs. Les balles à chaque extrémité sont recouvertes d'un sac pour l'amorce et la fin d'une rangée. Considérant un étirement de 50 %, un rouleau de 1 500 m par 0,5 m peut couvrir environ 60 balles rondes de 1,2 m de diamètre par 1,2 m de longueur. L'enrubanneuse en ligne requiert moins de plastique que l'enrubanneuse de balles individuelles à cause de l'économie de film sur les faces planes, cachées l'une contre l'autre dans le système en ligne.

Les trois machines décrites ci-haut ont été développées d'abord pour les balles rondes (diamètre de 1,2 à 1,5 m). Chacune peut s'adapter aux grosses balles rectangulaires mais on aura une meilleure adhérence du plastique avec les enrubanneuses à film étirable qu'avec l'enrobeuse tubulaire.

Régie de l'ensilage de grosses balles

On peut enrober les grosses balles soit au champ, soit au site d'entreposage. Pour manipuler les balles enrubannées individuellement sans déchirer le plastique, on utilise un grappin muni de pinces lisses et arrondies. On peut alors empiler les balles rondes pour économiser l'espace d'entreposage (figure 19). Si les rongeurs sont nuisibles, on peut ériger une clôture de protection.

Les balles enrubannées en ligne ou enrobées en sac tubulaire ne peuvent pas être déplacées durant l'entreposage sans déchirer l'emballage. Il faut donc choisir un emplacement propre, bien drainé, sans roche ou autre objet de surface qui pourrait déchirer le plastique.

Les grosses balles humides doivent être recouvertes rapidement pour minimiser l'échauffement. Après seulement 24 heures de délai, Genest *et al.* (1990) ont observé des températures de 55°C dans des balles rondes de fléole à Deschambault. Un délai de 48 heures en Floride a réchauffé des balles rondes de graminées tropicales (*Cynodon dactylon*) à 62°C (Yépez *et al.*, 1993). En Italie, Ciotti *et al.* (1989) ont observé un chauffage de la luzerne en balles rondes jusqu'à 50°C après 24 heures.

Les grosses balles peuvent être ensilées à des teneurs en eau variables, entre 40 et 70 %. Au-dessus de 70 %, il y aura des pertes par écoulement de jus et un risque élevé de fermentation clostridienne. Au-dessous de 40 % d'eau, les microorganismes de fermentation seront inactifs. Les sucres solubles resteront intacts, il n'y aura pas de production d'acide et le pH demeurera élevé (entre 5,5 et 6). Ce n'est pas un problème tant et aussi longtemps que le scellement sera parfait. Toutefois, aussitôt que l'air pourra s'infiltrer dans les grosses balles, les levures et les moisissures auront accès à une quantité importante de sucres solubles pour se développer rapidement. L'ensilage de grosses balles trop sèches est donc sujet à des pertes et à la production de toxines si le plastique n'est pas étanche durant l'entreposage ou s'il demeure dans les mangeoires plus de 6 à 12 heures. La teneur en eau idéale varie selon le fourrage et les animaux. Par exemple, Beaulieu *et al.* (1993) ont trouvé que des moutons avaient de meilleurs gains et taux de conversion avec des balles rondes à 48 % de teneur en eau, comparativement à 60 et 77 % d'eau. Vough et Glick (1993) ont suggéré des teneurs en eau entre 50 et 60 % pour l'ensilage de grosses balles servies aux bovins. Genest *et al.* (1990) ont déconseillé des teneurs en eau supérieures à 60 % à cause des fermentations clostridiennes.

Par ailleurs, on a intérêt à faire des balles plus denses pour l'ensilage que pour le foin. Les presses à chambre variable peuvent produire des balles de densité plus uniforme que les presses à chambre fixe qui forment des balles dont le centre est mou. Toutefois, Tremblay *et al.* (1997) n'ont pas trouvé de grandes différences au niveau de la densité des balles produites avec ces deux types de presses. La teneur en eau, l'espèce végétale et son stade de maturité avaient autant d'importance que le type de

presse et les ajustements de pression disponibles. Les densités moyennes de balles rondes ont varié entre 150 et 190 kg MS/m³.

En bref, l'ensilage de grosses balles requiert un souci pour le détail. C'est un système flexible qu'on peut essayer à petite échelle, surtout lorsque des machines en location ou le travail à forfait sont disponibles. Avec quelques dizaines de balles à la fois, on peut essayer diverses teneurs en eau, diverses durées d'entreposage, différents films plastiques ou différentes méthodes d'alimentation. Pour les petites et moyennes fermes, l'ensilage de grosses balles permet d'augmenter la proportion d'ensilage par rapport à celle du foin avec des investissements restreints. À cause de son utilisation importante de plastique et d'un aliment non haché, on ne s'attend pas à ce que l'ensilage de grosses balles remplace les silos tours ou les silos couloirs sur les grandes fermes d'élevage.

PERSPECTIVES D'AVENIR

Les systèmes d'entreposage des ensilages sont généralement conçus pour conserver des aliments de qualité à un coût minimal. En plus des considérations techniques et économiques, on doit tenir compte de l'environnement et des facteurs humains. La protection de l'eau, la gestion des déchets et la sécurité des animaux et des personnes sont quelques-unes des préoccupations à inclure dans le choix d'un système d'entreposage des ensilages. Dans cette section, on évoque quelques facteurs qui peuvent influencer les orientations futures.

Pertes d'ensilage

Il sera toujours utile de faire des budgets comparatifs entre les systèmes d'entreposage. Un élément important dans la comparaison est le niveau de pertes associé à chaque système. Bien que les systèmes d'ensilage aient beaucoup évolué depuis vingt ans, les principales synthèses sur les pertes d'entreposage datent de 10 à 30 ans ou plus, et ne tiennent pas compte de certains nouveaux systèmes d'ensilage. Une des synthèses de pertes d'ensilage les plus connues a été faite en 1964 et est illustrée dans le guide des plantes fourragères du CPVQ (1989). McDonald *et al.* (1991) ont proposé une synthèse pour les silos couloirs seulement où les pertes varient entre 5 et 20 % selon la teneur en eau.

Plusieurs études expérimentales et théoriques permettent de distinguer les pertes d'ensilage en trois groupes: aérobies, fermentaires et d'écoulement. Les pertes aérobies, elles-mêmes sont divisées en trois étapes: au remplissage, durant l'entreposage et à l'alimentation. Le tableau 5 présente une synthèse récente basée sur une bonne régie qui compare les principales méthodes d'entreposage. Les pertes varient entre 6 % pour les silos tours avec vidange par le bas et 15 à 16 % pour les silos-meules et les ensilages de grosses balles. Le tableau 5 ne présente pas d'estimation pour les silos boudins mais on peut présumer qu'elles seraient comparables aux pertes dans les silos tours avec vidange par le haut (9 à 10 %).

Facteurs environnementaux

Les ensilages peuvent avoir un impact sur l'environnement principalement à cause des écoulements de jus et des résidus de film plastique.

Les jus d'ensilage sont des contaminants aussi concentrés que les lisiers. Ils doivent être captés, entreposés et traités, normalement par épandage après dilution de l'ordre de 50 % dans l'eau. On doit diluer ces jus avant l'épandage parce que, à pleine concentration, ils peuvent causer le flétrissement des plantes.

Les silos destinés à contenir des aliments très humides (plus de 60 % de teneur en eau pour les silos tours; plus de 70 % pour les silos couloirs) devraient être conçus avec un système de captage des jus (Graves et Vanderstappen, 1993). On peut éviter l'écoulement de jus en récoltant les plantes plus sèches mais ce n'est pas toujours possible. On est parfois obligé de récolter l'ensilage de maïs à un stade de maturité hâtif, à la suite d'un gel, ou encore l'ensilage d'herbe après une période de fanage écourtée, à cause de la pluie. Dans les deux cas, l'ensilage sera très humide et sujet à des écoulements de jus importants, surtout lorsqu'il est entreposé dans les silos tours.

La quantité de résidus de plastique varie selon les méthodes d'entreposage (tableau 6). Les silos couloirs utilisent 5 à 7 fois moins de plastique que les ensilages sans structure (boudins, meules, grosses balles). Dans le passé, ces résidus pouvaient être enfouis ou brûlés. Déjà plusieurs états américains interdisent la combustion du plastique à la ferme. L'enfouissement deviendra plus coûteux et pourrait même être proscrit à l'avenir. Le recyclage a été envisagé (Flint, 1982; Clarke, 1993; Negra et Rogers, 1997). Toutefois les coûts de transport et de nettoyage du film rendent le recyclage peu viable présentement. Les manufacturiers de produits plastiques préfèrent utiliser une résine vierge à cause de sa pureté et de son coût relativement bas. L'obligation législative d'utiliser une proportion minimale de résine recyclée pourrait éventuellement faciliter la gestion des résidus. Ceci impliquerait une augmentation du prix du plastique à cause de l'incorporation du coût de recyclage dans le prix d'achat. Il reste que les systèmes d'entreposage utilisant peu ou pas de plastique seront avantagés par rapport aux systèmes plus « plastivores ».

Facteurs humains

La sécurité des employés à la ferme demeure une préoccupation constante. Comme on l'a vu précédemment, les silos tours et les silos verticaux comportent plusieurs dangers. Avec une bonne formation pour les employés et tous les membres de la famille sur les fermes familiales, il est possible de travailler de façon sécuritaire autour des silos.

Malgré toutes les précautions qu'on peut prendre, les silos tours présentent plus de risques d'accidents (chute, gaz toxiques, problèmes respiratoires) que les silos couloirs (renversement de tracteur). Les silos boudins et les balles enrubannées présentent encore moins de danger, excepté lors de la fabrication (exposition à des pièces mécaniques mobiles). Avec tous les ensilages, on doit circuler en tracteur, actionner des convoyeurs, mélanger et distribuer des aliments. Une prudence élémentaire doit toujours s'appliquer. De fait, les consignes de sécurité doivent faire partie de toutes les tâches, qu'elles soient routinières comme actionner un désileur ou occasionnelles comme monter

dans un silo.

CONCLUSIONS

1. Les silos verticaux permettent de bien conserver la plupart des plantes en ensilage, de préférence à des teneurs en eau entre 50 et 60 %. La reprise, le mélange des aliments et la distribution peuvent être complètement automatisés. Les silos tours exigent l'application de normes de sécurité rigoureuses pour éviter les accidents.
2. Les silos horizontaux sont adaptés à des ensilages humides dont la teneur en eau est entre 60 et 70 %. Ils permettent une reprise rapide pour l'alimentation à un grand nombre d'animaux. Ils sont plus économiques que les silos tours mais peuvent être la source de plus de pertes durant la conservation.
3. Les ensilages sans structure (boudins, meules, grosses balles) requièrent généralement moins d'investissement que les silos verticaux ou horizontaux. Ils sont flexibles et s'adaptent facilement à des petites et moyennes fermes d'élevage. Ils génèrent toutefois des quantités importantes d'un résidu plastique qui est présentement difficile à recycler.
4. Il n'existe pas un seul système d'entreposage des ensilages qui convient à toutes les fermes. Chaque entreprise doit identifier le système qui semble le mieux répondre à ses propres critères économiques et humains, ainsi qu'aux critères environnementaux et de sécurité imposés par la société.

RÉFÉRENCES

- Agriculture Canada. 1989. Silo horizontal avec murets et berges en terre : plan M-7437. Service de plans. Agriculture Canada, Ottawa.
- ASAE. 1997. Design loads for bunker (horizontal) silos. ASAE Standard S538. American Society of Agricultural Engineers, St-Joseph, MI.
- Audet, L. et M. Fortier. 1977. Comparaison et évaluation de videurs de silos verticaux. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec.
- Beaulieu, R., J.R. Seoane, P. Savoie, D.Tremblay, G.F. Tremblay et R. Thériault. 1993. Effects of dry-matter content on the nutritive value of individually wrapped round-bale timothy silage fed to sheep. *Canadian Journal of Animal Science* 73: 343-354.
- Bellman, H.E. 1990. Deterioration of concrete tower silos. OMAFRA Factsheet, order n° 90-235, Décembre 1990. Guelph, Ontario.
- Bellman, H.E. 1982. Choix et utilisation des silos hermétiques. Publication 1782F. Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa.
- Bolsen. 1997. Issues of top spoilage losses in horizontal silos. Proceedings from the North American Silage Conference. NRAES Publication 99, Cooperative Extension, Ithaca, New-York. p. 137-150.
- Brusewitz, G.H., R.L. Huhnke et E.M. Barnes. 1991. Performance of Nutri-Shield in protecting bunker-stored silage. *Applied Engineering in Agriculture* 7(5): 515.
- Ciotti, A., A. Canale, M.E. Valente et P.G. Peiretti. 1989. Direct and delayed sealing of round bales of lucerne at low degrees of wilting. Proceedings of the XVI International Grassland Congress: 971-972. Nice, France.
- Clarke, S.P. 1993. Prospects and problems with plastics in agriculture. *NRAES Publication* 67: 144-156. Ithaca, New-York.
- CPVQ. 1989. Plantes fourragères : Culture. Deuxième édition. Conseil des productions végétales du Québec, Québec. 249 p.

- Darby, D.E. et J.C. Jofriet. 1993. Density of silage in horizontal silos. *Canadian Agricultural Engineering* 35(4): 275-280.
- De Brabander, D.L., J.V. Aerts, C.V. Boucqué et F.X. Buysse. 1983. Influence de la longueur de hachage sur la consommation d'ensilage d'herbe préfanée et la production laitière. *Revue de l'Agriculture* (Belgique) 36(1): 107-122.
- Dubois, P. 1978. *Plastics in agriculture*. Applied Science Publishers, Londres.
- Eyers, B. 1989. The place for big bales in the current silage scene. Proceedings of the Big Bale Silage Conference. British Grassland Society, Reading, UK. p. 1.1-1.7
- Flint, R. 1982. La récupération des déchets de polyéthylène de basse densité et leur transformation en film. *Plasticulture* 53: 3-12.
- Gaillard, F. 1982. L'ensilage en balles rondes. *Fourrages* 91: 36-55.
- Ganneau, M. 1981. L'ensilage d'herbe en balles rondes: l'expérience française. Bulletin du C.E.M.A.G.R.E.F. n° 280: 19-21.
- Genest, J., A. Amyot, R. Caron, J.-N. Couture, J. Lachance, S. Poussier, M. Quevillon, D.D. Rony et P. Savoie. 1990. L'ensilage de balles rondes. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec. 107 p.
- Graves, R.E. et P.J. Vanderstappen. 1993. Environmental problems with silage effluent. *NRAES Publication* 67: 291-299. Ithaca, New-York.
- Haigh, P.M., D.G. Chapple et T.L. Powell. 1996. Effect of silage additives on big-bale grass silage. *Grass and Forage Science* 51(3): 318-323.
- Harrison, H.P. 1983. Preservation of large round bales at high moisture. ASAE Paper 83-1532. ASAE, St-Joseph, MI. (Publié aussi dans *Transactions of the ASAE*, 1985, 28(3): 675-686).
- Jiang, S., E.M. Barber, A.G. Meiering et J.C. Jofriet. 1991. Toxic gas production and silo ventilation. *Canadian Agricultural Engineering* 33(1): 151-159.

- Jiang, S., J.C. Jofriet et J. Buchanan-Smith. 1988. Temperature observations in a bottom-unloading silo. *Canadian Agricultural Engineering* 30(2): 249-255.
- Jiang, S., J.C. Jofriet et A.G. Meiering. 1989. Breathing of oxygen-limiting tower silos. *Transactions of the ASAE* 31(1): 228-231.
- Jofriet, J.C. et T.B. Daynard. 1982. Tower silo capacities. OMAFRA Factsheet, order n° 82-076, Août 1982. Guelph, Ontario.
- Jofriet, J.C. et H.S. Kleywegt. 1980. Design criteria for hoops of concrete stave silos. *Canadian Agricultural Engineering* 22(1): 9-13.
- Jofriet, J.C., Q. Zhao et S.C. Negi. 1992. Design recommendations for structural loads on horizontal silo walls. *Canadian Agricultural Engineering* 34(1): 95-104.
- Kjelgaard, W.L., P.M. Anderson, L.L. Wilson, H.W. Harpster, P.J. Levan et R.F. Todd. 1981. Round bale silage. ASAE Paper 81-1520. ASAE, St-Joseph, MI.
- McDonald, P., A.R. Henderson et S.J.E. Heron. 1991. *The Biochemistry of Silage*. Deuxième édition. Chalcombe Publications, Marlow, Buckinghamshire. 340 p.
- Mclsaac, J.A. et J. Lovering. 1980. A model for estimating silo losses and costs. *Canadian Farm Economics* 15(5): 10-16.
- McLaughlin, N.B., D.B. Wilson et D.M. Bowden. 1978. Effect of a plastic cover on dry matter loss from a horizontal silo. *Canadian Agricultural Engineering* 20(1): 1-4.
- Murphy, D.J. 1982. Silo fire extinguishment. *Transactions of the ASAE* 25: 1015-1018.
- Negra, C. et G.F. Rogers. 1997. Agricultural film disposal: issues and options. Proceedings from the North American Silage Conference. *NRAES Publication* 99: 162-172. Ithaca, New-York.
- NRAES. 1993. Silage production - from seed to animal. Proceedings from the National Silage Conference. Publication n° 67. Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca, New-York.

- NRAES. 1997. Silage: field to feedbunk. Proceedings from the North American Silage Conference. Publication n° 99. Northeast Regional Agricultural Engineering Services, Ithaca, New-York.
- Pitt, R.E. et J.-Y. Parlange. 1987. Effluent production from silage with application to tower silos. *Transactions of the ASAE* 30(4): 1198-1204, 1208.
- Quevillon, M. et D. Massé. 1989. Silos-meules: plan M-7651. Service de plans. Agriculture Canada, Ottawa.
- Savoie, P. 1988. Optimization of plastic covers for stack silos. *Journal of Agricultural Engineering Research* 41(2): 65-73.
- Savoie, P., J.M. Fortin et J.M. Wauthy. 1986. Conservation of grass silage in stack silos and utilization by sheep and dairy cows. *Transactions of the ASAE* 29(6): 1784-1789.
- Savoie, P. et J.C. Jofriet. 1998. Silage storage. Chapitre 9 in « Silage Science and Technology ». D.R. Buxton, R.E. Muck et J.H. Harrison (édit.). American Society of Agronomy (document en révision).
- Savoie, P., D. Tremblay, G.F. Tremblay, J.-M. Wauthy, P.M. Flipot et R. Thériault. 1992a. Effect of length of cut on conservation of stack silage and milk production. *Canadian Journal of Animal Science* 72: 253-263.
- Savoie, P., D. Tremblay, G.F. Tremblay, J.-M. Wauthy, M. Quevillon et R. Thériault. 1992b. Silage harvest with a self-loading wagon on dairy farms. *Transactions of the ASAE* 35(5): 1385-1392.
- Savoie, P., D. Tremblay, E. Charmley et R. Thériault. 1996. Round bale ensilage of intensively conditioned forage. *Canadian Agricultural Engineering* 38(4): 257-263.
- Tremblay, D., P. Savoie et Q. LePhat. 1997. Power requirements and bale characteristics for a fixed and a variable chamber baler. *Canadian Agricultural Engineering* 39(1): 73-76.
- Tremblay, D. et P. Savoie. 1995. Comparaison de chantiers de transport et d'enrobage d'ensilage de balles rondes. Mars 1995. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Canada. 72 p.

Versa Corporation. 1995. Versa Bagger, Model ID 910. Versa Corp., Astoria, OR.

Vough, L.R. et I. Glick. 1993. Round bale silage. Proceedings of the National Silage Production Conference, *NRAES Publication 67*: 117-123. Ithaca, New-York.

Watts, K.C. et K.I. Wilkie. 1983. Theoretical and experimental analysis of a rotating table silo distributor. Paper 83-101. Canadian Society of Agricultural Engineering, Saskatoon.

Yao, Z. et J.C. Jofriet. 1991. Simulation of liquid pressures in farm tower silos. *Journal of Agricultural Engineering Research* 49: 35-50.

Yépez, P.G., R.P. Cromwell, W.E. Kunkle, D.B. Bates et C.G. Chambliss. 1993. Effect of delaying storage (wrapping) on the temperature, dry matter recovery and quality of bermudagrass ensiled in round bales wrapped with plastic. Paper 93-1585. American Society of Agricultural Engineers, St-Joseph, MI.

Zhao, Q. et J.C. Jofriet. 1992. Wall loads on bunker silos due to compactions. *Canadian Agricultural Engineering* 34(1): 83-94.

Tableau 1. Capacité estimée (tonnes de matière humide) de fourrage dans des silos-tours en béton. Source: Jofriet et Daynard (1982).

| Diamètre x Hauteur ¹ | | Teneur en eau, luzerne | | | | Teneur en eau, maïs fourrager | | | |
|---------------------------------|-----------|------------------------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|
| (m x m) | (pi x pi) | 40% | 50% | 60% | 70% | 55% | 60% | 65% | 70% |
| 3,7 x 9,1 | 12 x 30 | 32 | 40 | 52 | 75 | 43 | 49 | 56 | 67 |
| 3,7 x 12,2 | 12 x 40 | 45 | 56 | 73 | 105 | 60 | 68 | 79 | 93 |
| 3,7 x 15,2 | 12 x 50 | 57 | 71 | 94 | 136 | 77 | 88 | 101 | 120 |
| 4,3 x 12,2 | 14 x 40 | 63 | 78 | 103 | 148 | 84 | 96 | 110 | 130 |
| 4,3 x 15,2 | 14 x 50 | 81 | 101 | 134 | 193 | 110 | 124 | 143 | 168 |
| 4,3 x 16,8 | 14 x 55 | 90 | 113 | 149 | 215 | 122 | 139 | 159 | 187 |
| 4,9 x 15,2 | 16 x 50 | 109 | 137 | 181 | 261 | 148 | 167 | 191 | 224 |
| 4,9 x 18,3 | 16 x 60 | 135 | 169 | 224 | 323 | 182 | 206 | 235 | 275 |
| 4,9 x 19,8 | 16 x 65 | 147 | 185 | 245 | 354 | 200 | 225 | 258 | 300 |
| 5,5 x 15,2 | 18 x 50 | 142 | 178 | 236 | 339 | 191 | 216 | 247 | 288 |
| 5,5 x 18,3 | 18 x 60 | 176 | 221 | 293 | 421 | 237 | 266 | 304 | 353 |
| 5,5 x 21,3 | 18 x 70 | 211 | 264 | 351 | 504 | 283 | 317 | 361 | 419 |
| 6,1 x 18,3 | 20 x 60 | 224 | 281 | 372 | 533 | 298 | 335 | 381 | 442 |
| 6,1 x 21,3 | 20 x 70 | 268 | 337 | 446 | 639 | 357 | 399 | 453 | 524 |
| 6,1 x 24,4 | 20 x 80 | 314 | 394 | 522 | 746 | 415 | 464 | 526 | 607 |
| 7,3 x 18,3 | 24 x 60 | 338 | 423 | 559 | 796 | 442 | 494 | 560 | 647 |
| 7,3 x 21,3 | 24 x 70 | 407 | 511 | 674 | 956 | 529 | 590 | 667 | 767 |
| 7,3 x 24,4 | 24 x 80 | 479 | 600 | 790 | 1118 | 616 | 685 | 773 | 888 |
| 7,3 x 27,4 | 24 x 90 | 551 | 690 | 908 | 1281 | 704 | 782 | 880 | 1009 |
| 9,1 x 24,4 | 30 x 80 | 796 | 993 | 1297 | 1813 | 989 | 1164 | 1343 | 1480 |
| 9,1 x 27,4 | 30 x 90 | 920 | 1146 | 1494 | 2079 | 1129 | 1341 | 1547 | 1706 |
| 9,1 x 30,5 | 30 x 100 | 1046 | 1301 | 1692 | 2346 | 1270 | 1520 | 1754 | 1934 |
| 9,1 x 33,5 | 30 x 110 | 1173 | 1457 | 1891 | 2614 | 1411 | 1701 | 1962 | 2165 |

¹Il s'agit de la hauteur après tassement.

Tableau 2. Capacité estimée (tonnes de matière humide) de fourrage dans des silos-tours en acier. Source: Jofriet et Daynard (1982).

| Diamètre x Hauteur ¹ | | Teneur en eau, luzerne fourrager | | | | Teneur en eau, maïs | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------------------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|
| (m x m) | (pi x pi) | 40% | 50% | 60% | 70% | 55% | 60% | 65% | 70% |
| 3,7 x 9,1 | 12 x 30 | 34 | 43 | 56 | 81 | 46 | 52 | 60 | 70 |
| 3,7 x 12,2 | 12 x 40 | 49 | 61 | 80 | 115 | 65 | 74 | 84 | 99 |
| 3,7 x 15,2 | 12 x 50 | 63 | 79 | 105 | 151 | 85 | 96 | 110 | 128 |
| 4,3 x 12,2 | 14 x 40 | 68 | 85 | 112 | 161 | 91 | 102 | 117 | 137 |
| 4,3 x 15,2 | 14 x 50 | 89 | 112 | 148 | 212 | 119 | 134 | 152 | 177 |
| 4,3 x 16,8 | 14 x 55 | 100 | 125 | 166 | 238 | 133 | 149 | 170 | 197 |
| 4,9 x 15,2 | 16 x 50 | 120 | 150 | 198 | 283 | 158 | 177 | 202 | 234 |
| 4,9 x 18,3 | 16 x 60 | 150 | 188 | 248 | 354 | 196 | 220 | 249 | 287 |
| 4,9 x 19,8 | 16 x 65 | 166 | 207 | 274 | 389 | 216 | 241 | 273 | 314 |
| 5,5 x 15,2 | 18 x 50 | 155 | 195 | 256 | 365 | 203 | 227 | 258 | 299 |
| 5,5 x 18,3 | 18 x 60 | 195 | 245 | 322 | 456 | 252 | 281 | 318 | 367 |
| 5,5 x 21,3 | 18 x 70 | 236 | 296 | 389 | 549 | 302 | 336 | 379 | 435 |
| 6,1 x 18,3 | 20 x 60 | 247 | 308 | 405 | 572 | 315 | 351 | 396 | 456 |
| 6,1 x 21,3 | 20 x 70 | 300 | 374 | 490 | 688 | 377 | 419 | 471 | 540 |
| 6,1 x 24,4 | 20 x 80 | 354 | 441 | 576 | 806 | 439 | 487 | 547 | 625 |
| 7,3 x 18,3 | 24 x 60 | 368 | 459 | 600 | 842 | 461 | 512 | 577 | 662 |
| 7,3 x 21,3 | 24 x 70 | 449 | 558 | 727 | 1013 | 551 | 611 | 686 | 784 |
| 7,3 x 24,4 | 24 x 80 | 532 | 660 | 857 | 1187 | 642 | 710 | 795 | 907 |
| 7,3 x 27,4 | 24 x 90 | 616 | 764 | 988 | 1361 | 734 | 809 | 905 | 1031 |
| 9,1 x 24,4 | 30 x 80 | 867 | 1070 | 1379 | 1892 | 1033 | 1269 | 1459 | 1606 |
| 9,1 x 27,4 | 30 x 90 | 1007 | 1240 | 1590 | 2169 | 1202 | 1472 | 1690 | 1860 |
| 9,1 x 30,5 | 30 x 100 | 1150 | 1411 | 1803 | 2447 | 1374 | 1678 | 1923 | 2116 |
| 9,1 x 33,5 | 30 x 110 | 1294 | 1584 | 2017 | 2726 | 1549 | 1886 | 2159 | 2374 |

¹Il s'agit de la hauteur après tassement.

Tableau 3. Capacité estimée (tonnes de matière humide) de maïs-grain ou maïs-épi, à diverses teneurs en eau, dans des silos-tours en béton. Source: Jofriet et Daynard (1982).

| Diamètre x Hauteur ¹ (m x m) (pi x pi) | | | Maïs-grain entier | | | Maïs-grain moulu | | | Maïs-épi moulu | | |
|--|------|----------|-------------------|------|------|------------------|------|------|----------------|------|------|
| | | | 25% | 30% | 35% | 25% | 30% | 35% | 30% | 35% | 40% |
| 3,7 x | 9,1 | 12 x 30 | 74 | 81 | 89 | 77 | 86 | 96 | 66 | 75 | 86 |
| 3,7 x | 12,2 | 12 x 40 | 99 | 109 | 120 | 104 | 116 | 131 | 89 | 102 | 118 |
| 3,7 x | 15,2 | 12 x 50 | 125 | 137 | 152 | 131 | 146 | 165 | 113 | 129 | 150 |
| 4,3 x | 12,2 | 14 x 40 | 137 | 150 | 165 | 143 | 160 | 180 | 123 | 141 | 161 |
| 4,3 x | 15,2 | 14 x 50 | 172 | 189 | 209 | 180 | 202 | 228 | 155 | 179 | 208 |
| 4,3 x | 16,8 | 14 x 55 | 190 | 209 | 231 | 199 | 223 | 252 | 172 | 198 | 230 |
| 4,9 x | 15,2 | 16 x 50 | 227 | 249 | 275 | 238 | 267 | 301 | 205 | 237 | 276 |
| 4,9 x | 18,3 | 16 x 60 | 274 | 301 | 333 | 288 | 323 | 365 | 249 | 287 | 335 |
| 4,9 x | 19,8 | 16 x 65 | 298 | 327 | 362 | 313 | 351 | 397 | 271 | 313 | 365 |
| 5,5 x | 15,2 | 18 x 50 | 289 | 318 | 351 | 303 | 340 | 384 | 263 | 303 | 353 |
| 5,5 x | 18,3 | 18 x 60 | 350 | 384 | 425 | 367 | 412 | 466 | 318 | 368 | 429 |
| 5,5 x | 21,3 | 18 x 70 | 410 | 451 | 499 | 431 | 484 | 547 | 374 | 434 | 506 |
| 6,1 x | 18,3 | 20 x 60 | 434 | 477 | 528 | 456 | 512 | 579 | 396 | 459 | 535 |
| 6,1 x | 21,3 | 20 x 70 | 510 | 561 | 620 | 536 | 602 | 680 | 466 | 541 | 631 |
| 6,1 x | 24,4 | 20 x 80 | 585 | 644 | 713 | 616 | 692 | 782 | 536 | 622 | 727 |
| 7,3 x | 18,3 | 24 x 60 | 632 | 694 | 768 | 663 | 745 | 841 | 578 | 670 | 781 |
| 7,3 x | 21,3 | 24 x 70 | 742 | 816 | 902 | 780 | 876 | 989 | 681 | 770 | 992 |
| 7,3 x | 24,4 | 24 x 80 | 852 | 938 | 1037 | 896 | 1007 | 1132 | 784 | 910 | 1063 |
| 7,3 x | 27,4 | 24 x 90 | 963 | 1059 | 1172 | 1012 | 1138 | 1285 | 887 | 1030 | 1204 |
| 9,1 x | 24,4 | 30 x 80 | 1346 | 1480 | 1637 | 1413 | 1587 | 1791 | 1242 | 1442 | 1681 |
| 9,1 x | 27,4 | 30 x 90 | 1521 | 1673 | 1851 | 1597 | 1794 | 2025 | 1405 | 1633 | 1905 |
| 9,1 x | 30,5 | 30 x 100 | 1697 | 1867 | 2064 | 1781 | 2001 | 2258 | 1569 | 1824 | 2128 |
| 9,1 x | 33,5 | 30 x 110 | 1872 | 2060 | 2278 | 1965 | 2208 | 2492 | 1734 | 2016 | 2352 |

¹Il s'agit de la hauteur après tassement.

Tableau 4. Dimensions suggérées pour le film plastique, le plancher et la meule lors de la fabrication des silos meules. (Adaptation de: Quévillon et Massé, 1989).

| Largeur du film (m) | Largeur du plancher (m) | Largeur de la meule (m) | Hauteur initiale de la meule (m) |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 7,3 | 5,0 | 4,0 | 3,0 |
| 10,0 | 7,0 | 6,0 | 4,2 |
| 12,0 | 9,0 | 8,0 | 5,2 |

Tableau 5. Pertes estimées pour divers systèmes d'entreposage des ensilages. Source: Savoie et Jofriet (1998).

| Sorte de perte | Silo tour | | Silo couloir | Silo meule | Grosse balle ronde |
|------------------------------|---------------------|--------------------|--------------|------------|--------------------|
| | Vidange par le haut | Vidange par le bas | | | |
| <u>Aérobiques</u> | | | | | |
| Au remplissage | 0,1%/jour | 0,05%/jour | 0,3%/jour | 0,6%/jour | 1,6%/jour |
| En entrepôt | 0,8%/mois | 0,5%/mois | 1,0%/mois | 1,2%/mois | 1,5%/mois |
| À la reprise | 1,5% | 1,5% | 1,5% | 1,5% | 1,5% |
| <u>Fermentation</u> | 2% | 1% | 3% | 3% | 2% |
| <u>Jus d'ensilage</u> | 0,2% | 0,0% | 0,5% | 0,5% | 0,0% |
| <u>TOTAL</u> | 9,0% | 5,8% | 12,5% | 15,2% | 15,7% |

N.B. Les pertes totales sont estimées sur la base des pratiques suivantes: 5 jours pour le remplissage des silos excepté les balles rondes (2 jours), 6 mois d'entreposage et 48 h d'aération à la reprise.

Tableau 6. Quantité de plastique nécessaire par unité de matière sèche d'ensilage, pour diverses méthodes d'entreposage. Source: Savoie et Jofriet (1998).

| Méthode d'entreposage | Dimensions, sorte de film | Densité (kg MS/m ³) | Épaisseur du film (µm) | Plastique par unité de fourrage (kg/t MS) |
|-----------------------|--|---------------------------------|------------------------|---|
| Silo couloir | 3 m de hauteur, 9 m de largeur, 26 m de long + 4 m de fermeture | 220 | 150 | 0,3 |
| Silo boudin | 2,4 m de diamètre, 38 m de long + 7 m de fermeture | 180 | 200 | 2 |
| Silo meule | 4 m de hauteur, 8 m de largeur, 20 m de long + 10 m de fermeture | 100 | 200 | 1,6 |
| Balle ronde | Enrubannage individuel | 150 | 4 x 25 (étiré) | 2,1 |
| Balle ronde | Enrubannage en ligne | 150 | 4 x 25 (étiré) | 1,4 |
| Balle ronde | Enrobage tubulaire | 150 | 100 | 2,2 |

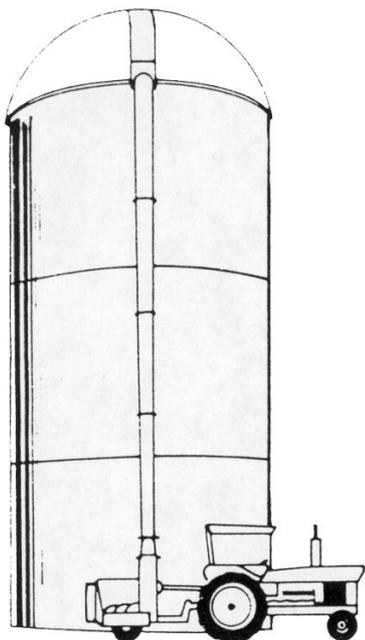


Figure 1. Silo tour avec souffleur au moment du remplissage. (Source: CPVQ, 1989).

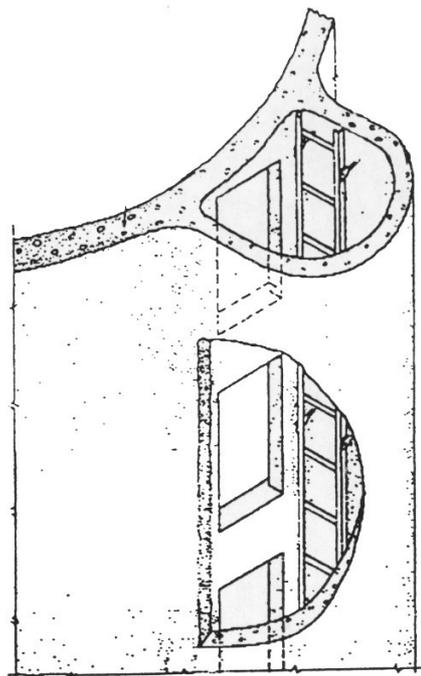


Figure 2. Portes pour la vidange latérale par le haut. (Source: Savoie et Jofriet, 1998).

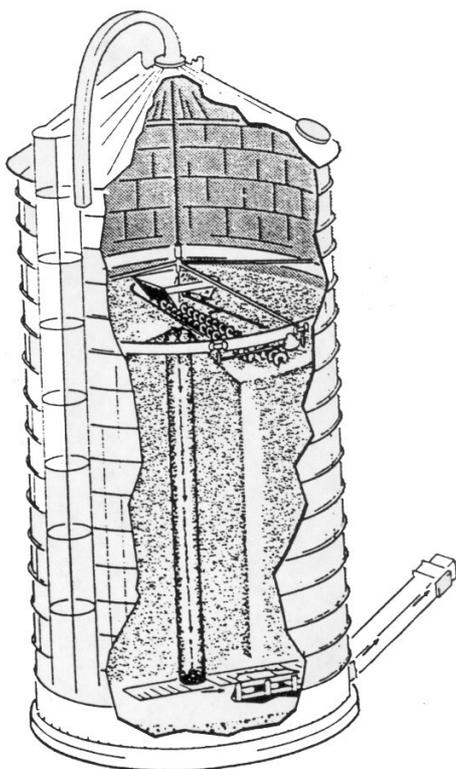


Figure 3. Silo tour rempli pour la vidange centrale par le haut. (Source: Bellman, 1982).



Figure 4. Cerceau pour maintenir la tension périphérique d'un silo en douves de béton. (Source: Savoie et Jofriet, 1998).

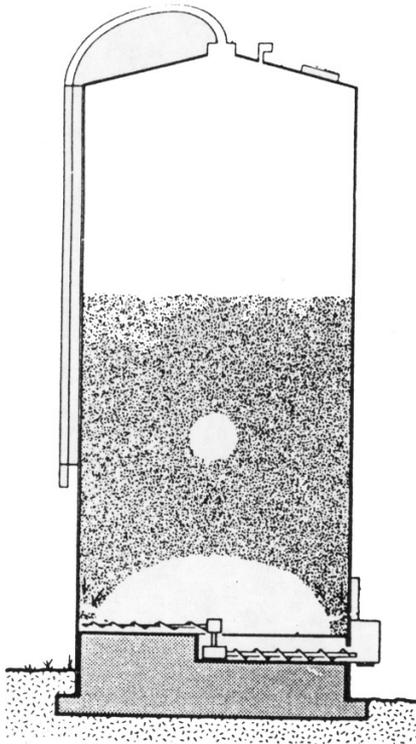


Figure 5. Silo tour avec vidange par le bas pour le fourrage. (Source: Bellman, 1982).

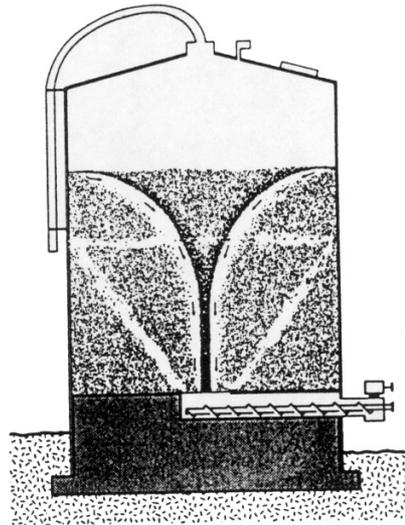


Figure 6. Silo tour avec vidange par le bas pour le grain humide. (Source: Bellman, 1982).

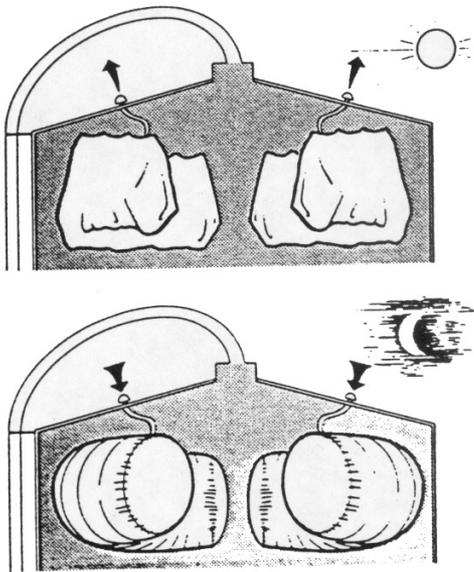


Figure 7. Sacs de régularisation de pression dans le haut du silo. (Source: Bellman, 1982).

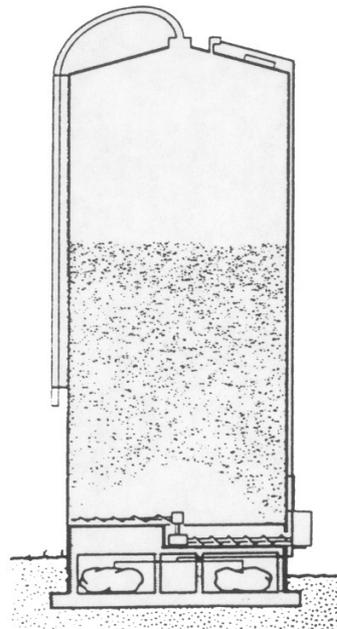


Figure 8. Sacs de régularisation de pression dans le bas du silo. (Source: Bellman, 1982).

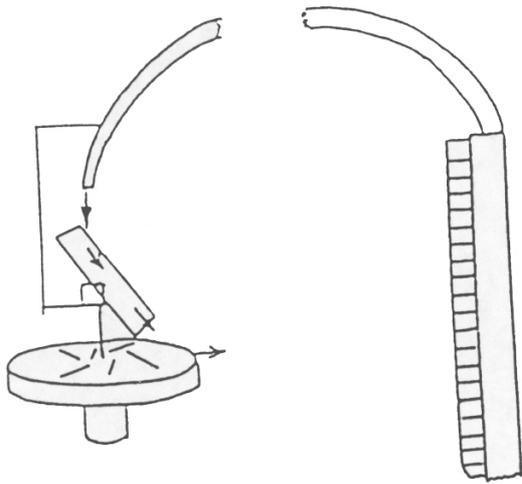


Figure 9. Distributeur dans le haut d'un silo tour. (Source: Watts and Wilkie, 1983).

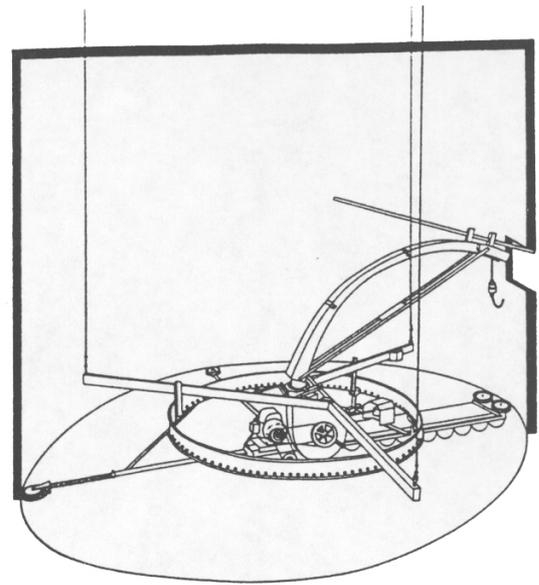


Figure 10. Désileur suspendu à un système de cables. (Source: Audet et Fortier, 1977).

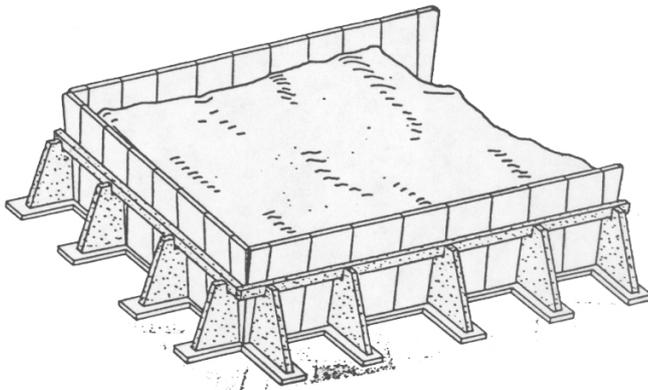


Figure 11. Silo couloir à murets en béton. (Source: Savoie et Jofriet, 1998).

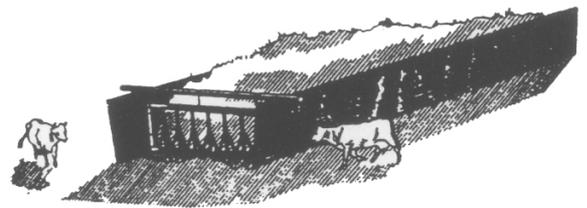


Figure 12. Silo couloir pour le libre-service. (Source: Savoie et Jofriet, 1998).

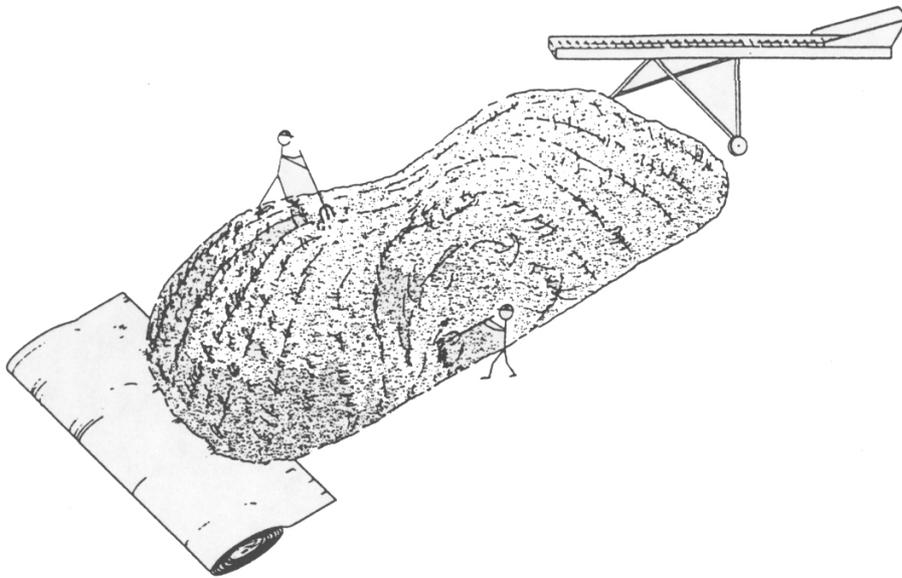


Figure 13. Fabrication d'un silo meule avec un convoyeur-élevateur. (Source: Quévillon et Massé, 1989).

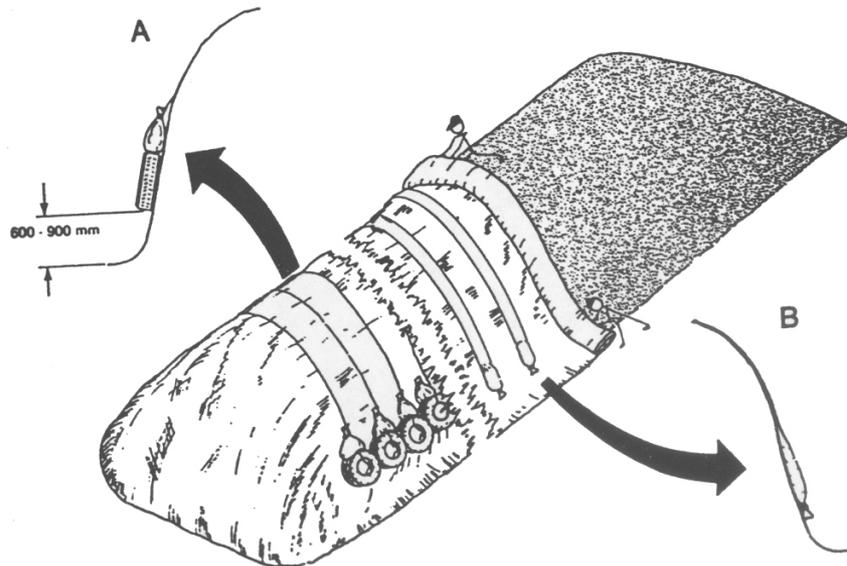


Figure 14. Techniques de lestage du plastique pour un silo meule. (Source: Quévillon et Massé, 1989).

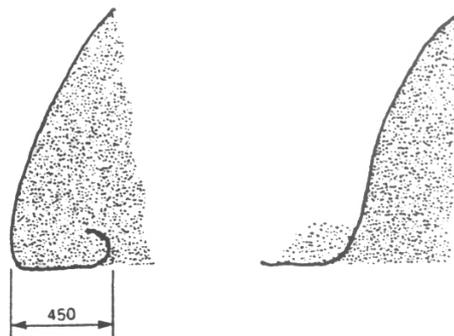


Figure 15. Deux méthodes de scellement à la périphérie d'un silo meule. (Source: Quévillon et Massé, 1989).

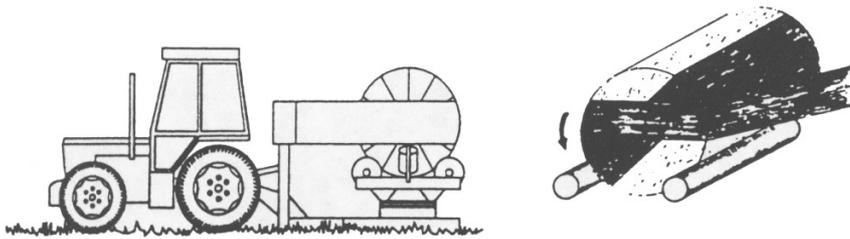


Figure 16. Enrubanneuse de balles individuelles. (Source: Tremblay et Savoie, 1995).

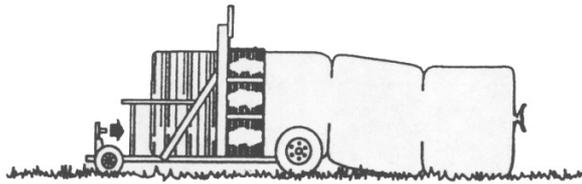


Figure 17. Enrobeuse tubulaire. (Source: Tremblay et Savoie, 1995).

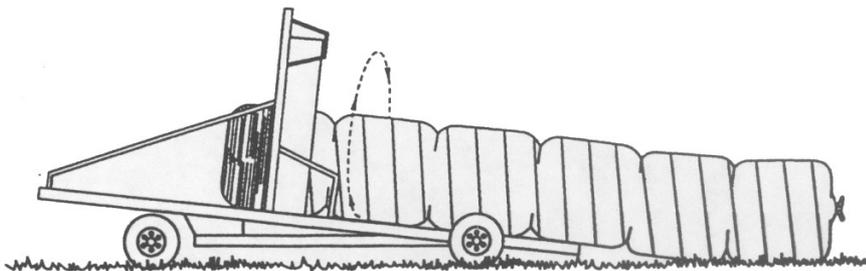


Figure 18. Enrubanneuse en ligne. (Source: Tremblay et Savoie, 1995).

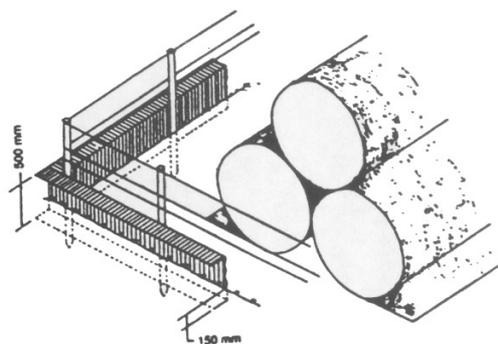


Figure 19. Balles individuelles empilées dans une aire protégée contre les rongeurs. (Source: Genest et al., 1990).



CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE
ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC

BON DE COMMANDE

pour les publications reliées aux plantes fourragères

| Numéro de la publication | Titre de la publication | Quantité | Prix unitaire (taxes incluses) | Prix total |
|------------------------------------|---|------------------------------|--|------------|
| VV 014 | Guide de référence en fertilisation, 2003 (350 pages) NOUVEAU ! | 1 à 24 25 à 49 50 et + | 18,00 \$ 17,00 \$ 16,00 \$ | |
| VS 025 | Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec – 1998 (262 pages) En couleurs et d'un format de poche très pratique ! (117 espèces) | | 16,00 \$ | |
| 02-8906 | Plantes fourragères : Culture (254 pages) Réimpression 1998 | | 18,00 \$ | |
| 02-9402 | Composition chimique de certains cultivars de légumineuses pérennes... - 1994 (157 pages) | | 12,00 \$ | |
| Nom : _____ | | | Total des achats | |
| Organisme : _____ | | | Frais de poste et de manutention* | |
| Adresse : _____ | | | Total à payer | |
| Ville : _____ | | | | |
| Code postal : _____ | | | | |
| Numéro de téléphone : () _____ | | | | |
| Courriel : _____ | | | | |

*Les **frais de poste et de manutention** s'appliquent à toute livraison au Canada et doivent être ajoutés selon le montant total des achats. Pour un total des achats de 100,00 \$ et moins, les frais sont de 4,01 \$ (taxes incluses). Pour un total de plus de 100,00 \$, les frais correspondent à 10 % du total des achats, jusqu'à concurrence de 20,00 \$ (taxes incluses).

Pour commander, veuillez remplir ce bon et l'accompagner d'un chèque ou d'un mandat-poste fait à l'ordre de DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS.

Après avoir vérifié la disponibilité des publications choisies, expédiez le tout à :

DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS
845, rue Marie-Victorin
Saint-Nicolas (Québec) G7A 3S8

Commandez aussi par téléphone au 1 800 859-7474, par télécopieur au (418) 831-4021 ou directement sur notre site Internet :
www.craaq.qc.ca

MODE DE PAIEMENT

Pour votre sécurité, n'envoyez pas d'espèces par la poste.

- Chèque à l'ordre de : Mandat-poste
DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS
 Visa MasterCard

Numéro de la carte : _____

Date d'expiration : _____

Signature : _____

Le CRAAQ offre une collection complète de publications sur la plupart des sujets concernant les secteurs animal, végétal, de l'économie et de la gestion agricoles. Pour plus d'information, communiquez avec nous.

Service à la clientèle

(418) 523-5411 ou 1 888 535-2537
client@craaq.qc.ca
www.craaq.qc.ca