

**Les additifs pour le foin et l'ensilage :
mode d'action et recommandations d'utilisation
pour chaque type de produit**

Par

André Amyot

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
120-A Chemin du Roy, Deschambault, G0A 1S0
andre.amyot@irda.qc.ca

Août 2003

Table des matières

INTRODUCTION.....	3
LES ADDITIFS POUR LE FOIN.....	3
1. Les acides organiques.....	4
2. Les inoculants bactériens.....	4
3. Les enzymes et les produits de fermentation.....	5
4. L'ammoniac et l'urée.....	5
5. Le sel.....	6
6. Conclusion.....	6
LES ADDITIFS POUR L'ENSILAGE.....	7
1. Les acides.....	5
a. L'acide formique pour contrôler la fermentation dans les ensilages à haute teneur en eau.....	7
b. L'acide propionique pour contrôler les moisissures.....	8
2. Les produits sucrés.....	9
3. Les enzymes.....	10
4. Les inoculants bactériens.....	11
a. Les bactéries lactiques.....	11
b. Les associations bactéries-enzymes.....	12
c. Les bactéries productrices d'inhibiteurs de moisissures.....	12
5. L'ammoniac et l'urée.....	13
6. Conclusion.....	13
ANNEXE 1. RÉSULTATS DE RECHERCHE	14
ANNEXE 2. DOSES D'APPLICATION DE QUELQUES ADDITIFS.....	19
BIBLIOGRAPHIE.....	20

INTRODUCTION

Les additifs pour fourrage sont des produits qui peuvent être ajoutés au foin ou à l'ensilage lors de la récolte en vue d'en améliorer la qualité de conservation ou la valeur nutritive. Lorsque l'objectif principal est l'amélioration de la valeur nutritive, on parle d'additifs nutritionnels.

La conservation du foin ou de l'ensilage peut se faire sans avoir recours à des additifs. Une bonne régie de récolte est la meilleure façon d'assurer une bonne conservation des fourrages. Les additifs peuvent cependant aider à contrôler des phénomènes nuisibles dans les récoltes entreposées. Il ne faut toutefois pas considérer leur utilisation comme une solution à tous les problèmes de conservation du foin et de l'ensilage.

La décision d'utiliser un additif exige une analyse objective de la situation. Il faut d'abord tenter d'identifier les facteurs limitant la conservation du fourrage dans nos conditions de récolte, pour ensuite déterminer la catégorie de produits la plus susceptible d'améliorer la situation.

Les produits commercialisés comme additifs pour les fourrages doivent avoir été enregistrés auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments comme additifs pour les fourrages ou comme inhibiteurs de moisissures. On peut aussi utiliser des produits d'usage courant approuvés pour utilisation dans l'alimentation du bétail.

On trouve ci-après des informations concernant le mode d'action et des recommandations d'utilisation pour chaque type d'additif utilisé dans le foin et l'ensilage. Des résultats de recherche et autres données complémentaires cités dans le texte (R1 à R26) sont présentés en annexe.

LES ADDITIFS POUR LE FOIN

Si on ne dispose pas d'un séchoir et n'utilise pas d'additif, la récolte du foin doit être faite à une teneur en matière sèche (M.S.) supérieure à 80% pour les petites balles rectangulaires, à 82% pour les balles rondes et à 85% pour les grosses balles rectangulaires, afin de permettre une conservation sous abri sans détérioration. Il y a alors un risque de perte élevée de feuilles au champ et de dommages par la pluie.

La façon la plus sûre de conserver un foin récolté à moins de 80% de M.S. (et plus de 65%) est de lui faire subir en entrepôt un séchage rapide à l'air forcé. Cette technique est efficace avec les petites balles rectangulaires à condition de respecter les normes d'installation et de fonctionnement du système de séchage. Dans le cas des balles de taille supérieure, ou lorsque les limites du séchage à l'air forcé sont atteintes, l'utilisation d'additifs peut être envisagée.

Les trois principales catégories de produits commercialisés comme additifs pour le foin sont les acides organiques, les inoculants bactériens et finalement les enzymes et produits de fermentation. Les principaux produits d'usage courant qui peuvent être utilisés comme additifs pour le foin sont l'ammoniac, l'urée et le sel (chlorure de sodium).

1- Les acides organiques

Mode d'action :

C'est à cause de leurs propriétés anti-moisissures que les acides organiques sont utilisés pour retarder l'activité microbienne et le chauffage du foin.

Recommandations :

- Parmi les différents acides organiques, l'acide propionique est l'inhibiteur de moisissures le plus efficace (Macdonald et Clark, 1990).
- L'efficacité d'un produit varie en fonction de sa concentration en acide, de sa dose d'application, de la teneur en M.S. du foin traité et de la densité des balles.
- Avec les petites balles rectangulaires, les recherches démontrent des effets positifs lorsque des produits contenant un pourcentage élevé d'acide propionique sont appliqués à une dose minimale de 5 litres par tonne de foin à 75%-80% de M.S. et 10 litres par tonne à 70%-75% de M.S. Il n'est pas recommandé de traiter un foin à moins de 70% de M.S.
- Plusieurs manufacturiers mentionnent que la teneur en matière sèche doit être plus élevée dans les balles rondes et les grosses balles rectangulaires pour obtenir des résultats comparables avec les mêmes doses.
- L'acide propionique est corrosif et très volatil de sorte que les pertes sont importantes à température élevée. Cependant les produits dits "tamponnés" actuellement commercialisés minimisent ces inconvénients. Ils sont constitués d'acide propionique partiellement neutralisé avec une base tel l'hydroxyde d'ammonium et seraient aussi efficaces malgré une plus faible concentration en acide (Siciliano-Jones *et al.*, 1989).
- Le coût des produits à base d'acide propionique constitue un inconvénient majeur justifiable uniquement pour du foin de haute qualité. La décision de les utiliser dépend du risque de pluie et de l'organisation du travail.
- La combinaison du traitement à l'acide propionique tamponné et du séchage à l'air ambiant constitue un bon moyen d'assurer une bonne qualité de conservation du foin, du moins lorsque l'efficacité du séchage à l'air ambiant n'est pas maximale (R1).

2- Les inoculants bactériens

Mode d'action :

Des inoculants bactériens sont vendus pour améliorer la qualité de conservation du foin récolté entre 75% et 80% de M.S. Cependant le mode d'action des bactéries sur les moisissures est mal connu.

Recommandations :

- Les expériences publiées à ce jour démontrent une efficacité faible, variable et fortement influencée par les conditions ambiantes.

- On ne peut pas recommander pour le moment l'utilisation d'inoculants bactériens pour la conservation du foin.
- De plus, comme les souches de bactéries utilisées sont très différentes d'un inoculant à l'autre, les résultats obtenus avec un inoculant spécifique ne peuvent pas être extrapolés à tous les autres produits bactériens (R2, R3).

3- Les enzymes et les produits de fermentation

Mode d'action :

Les additifs à base d'enzymes ou de produits de fermentation diffèrent des inoculants bactériens par le fait qu'ils ne contiennent pas de microorganismes vivants. En effet, les enzymes sont des produits d'origine fongique qu'on utilise pour activer une réaction alors qu'on désigne sous le nom de produits de fermentation les enzymes et autres métabolites microbiens issus de la culture de microorganismes. Le mode d'action par lequel ces produits permettraient de contrôler les moisissures est mal connu.

Recommandations :

- Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de tirer une conclusion sur l'efficacité de ces produits (R4, R5).

4- L'ammoniac et l'urée

Mode d'action :

L'ammoniac anhydre (gaz sous pression) peut être utilisé pour traiter le foin humide. Il tue les organismes qui sont responsables de la détérioration du foin.

Recommandations :

- L'addition d'ammoniac à la dose de 10-15 kg / tonne de foin assure une bonne conservation du foin récolté à 70% de M.S. et fait augmenter sa teneur en protéine brute de 7 à 10% (Atwal et Heslop, 1987).
- L'addition d'ammoniac (21 kg / tonne de foin à 70% de M.S) à un fourrage de faible qualité fait augmenter la digestibilité de la matière sèche de 6% et la teneur en protéine brute de 12% (Chiquette *et al.*, 1992). Cette protéine se trouve cependant sous forme d'azote non protéique et son utilisation par l'animal dépend de ses besoins et des formes d'azote présentes dans la ration. Ce traitement devrait être limité aux fourrages de faible qualité (ex : graminée récoltée au stade floraison et dosant 8% de protéine brute et 40% de fibre par détergent acide).
- Le fourrage à traiter doit être entreposé en petits tas entourés de plastique et l'ammoniac doit être injecté à un très faible débit sur une période de 24 à 48 heures (Atwal et Heslop, 1987).
- L'utilisation de l'ammoniac anhydre doit être faite avec précaution puisque c'est un gaz volatil et toxique qui peut être mortel pour les animaux s'il est ingéré en trop grande quantité.
- L'utilisation de l'ammoniaque (produit liquide non pressurisé) simplifie la réalisation du traitement mais en augmente le coût. L'urée constitue aussi une alternative à l'ammoniac, puisque c'est un produit non volatil et non dangereux pour l'utilisateur (R6).

5- Le sel

Mode d'action :

Le sel (chlorure de sodium) a été utilisé dans le passé pour prévenir le chauffage du foin récolté un peu trop humide. Il est par contre très peu utilisé aujourd'hui même si théoriquement l'application de sel en quantité suffisante devrait prévenir la croissance des moisissures et le chauffage.

Recommandations :

- Il est préférable d'avoir recours à un autre additif que le sel à cause des doses importantes requises, de la difficulté d'application et des conséquences sur les rejets animaux (R7).

6. Conclusion

L'acide propionique est réputé efficace pour préserver du foin à 70% de M.S. ou plus. Le coût élevé du produit n'est justifiable que pour un fourrage de haute qualité ou pour sauver une récolte lorsque la pluie est imminente.

Le coût moindre des produits à base de bactéries ou d'enzymes est attrayant pour celui qui serait tenté de les utiliser régulièrement. Pour les petites balles rectangulaires, il est préférable d'exploiter au maximum le système de séchage à l'air forcé et d'ajouter au besoin un nouveau séchoir. Dans les autres cas et notamment pour les balles rondes et les grosses balles rectangulaires, la probabilité de succès est faible avec ce type d'additif si on se fie aux résultats publiés jusqu'à maintenant. Par contre, il faut demeurer à l'affût car des nouveaux produits développés particulièrement pour le foin commencent à se vendre. Il ne faut toutefois pas présumer de leur efficacité avant qu'ils n'aient fait leurs preuves car le mode d'action de ces produits ne fait pas l'unanimité.

L'ammoniac et l'urée offrent des possibilités intéressantes pour améliorer les fourrages de faible qualité, mais des précautions s'imposent lors de l'utilisation de ces produits.

LES ADDITIFS POUR L'ENSILAGE

La réussite d'un ensilage repose sur deux éléments essentiels :

- l'élimination rapide de l'oxygène responsable de la croissance des moisissures et des bactéries aérobies;
- l'abaissement rapide du pH jusqu'à un niveau suffisamment bas (pH de stabilité anaérobie) pour empêcher le développement des bactéries butyriques. Lorsque ce pH est atteint, l'activité microbienne est faible et l'ensilage est stable si le silo est étanche à l'air.

Dans un processus normal, l'élimination de l'oxygène se fait par la respiration des plantes ensilées, alors que l'abaissement du pH est le résultat de la fermentation des sucres solubles du fourrage qui sont transformés en acides par les bactéries naturelles. La fermentation de l'ensilage est réalisable sans utiliser d'additif, mais les additifs sont utiles dans certaines conditions (plantes pauvres en sucres ou à pouvoir tampon élevé, ensilage trop humide, bactéries naturelles en nombre insuffisant, etc.).

La quantité de sucres solubles nécessaires pour assurer la fermentation complète de l'ensilage de graminées (ray-grass) est de 14% de la M.S. pour l'ensilage humide et de seulement 5% pour l'ensilage préfané (40% de M.S). Chez les légumineuses (luzerne), ces teneurs sont de 21% et 10% respectivement, à cause de leur pouvoir tampon plus élevé (Leibensperger et Pitt, 1988). Cependant, des teneurs légèrement inférieures à ces dernières sont généralement considérées satisfaisantes pour assurer une bonne fermentation (exemple: 10% à 12% de la M.S. pour les ensilages humides de graminées) (Demarquilly, 1990). Malheureusement, nous ne disposons pas encore de méthodes permettant l'évaluation au champ de la teneur en sucres solubles des fourrages.

Les quatre principales catégories de produits utilisés comme additifs pour l'ensilage sont les acides en tant qu'inhibiteurs de fermentation ou inhibiteurs de moisissures, les produits sucrés ou les enzymes qui dégradent les sucres complexes des fourrages en sucres simples utilisables pour la fermentation, les inoculants bactériens et finalement l'ammoniac et l'urée.

1- Les acides

Certains acides peuvent être utilisés comme additifs pour les ensilages. L'acide propionique constitue l'ingrédient principal de plusieurs produits commerciaux enregistrés comme additifs pour les fourrages ou comme inhibiteurs de moisissures auprès de l'Agence canadienne d'inspection des aliments. L'acide formique et l'acide propionique du commerce peuvent aussi être utilisés, puisque ce sont des produits approuvés pour usage dans l'alimentation du bétail (Loi des aliments du bétail). L'acide formique est surtout utilisé comme inhibiteur de fermentation, à cause de ses propriétés acidifiantes, alors que l'acide propionique est surtout utilisé comme inhibiteur de moisissures, à cause de ses propriétés anti-microbiennes.

a- L'acide formique pour contrôler la fermentation dans les ensilages à haute teneur en eau

Mode d'action :

L'acide formique est utile dans les fourrages humides ($\leq 25\%$ M.S.). Il abaisse rapidement le pH de l'ensilage et inhibe le développement de bactéries indésirables (coliformes et clostridies). Il réduit les teneurs en azote ammoniacal et en azote soluble, ainsi que celles en acides butyrique et acétique. De plus, il permet de conserver plus de sucres solubles, conséquence d'une moindre

utilisation par les bactéries lactiques et autres microorganismes. Lorsque ces paramètres de conservation sont améliorés, une augmentation de l'ingestion et des performances animales est observée, principalement chez les bovins en croissance (Mayne, 1990). Il en résulte aussi une réduction marquée des rejets azotés (Demarquilly, 1995), conséquence d'une diminution importante de la proportion d'azote sous forme non protéique. Par contre, ce traitement n'inhibe pas la croissance des moisissures et des levures et peut accroître les pertes sous forme de jus lorsque le matériel est très humide.

Recommandations :

- Les doses d'acide formique 85% recommandées pour les ensilages humides ($\leq 25\%$ M.S.) sont de 2,3 à 3,5 L/tonne de matière verte (T.M.V.) pour les graminées et de 5 L/T.M.V. pour les légumineuses (McDonald *et al.*, 1991).
- L'effet dépend beaucoup de la dose d'application, de sorte qu'une dose réduite de moitié peut inhiber plus la production d'acide lactique que l'activité de certains microorganismes indésirables (Randby, 2000) et empêcher l'atteinte du pH de stabilité anaérobie.
- Il existe une autre façon d'utiliser l'acide formique. En effet, le traitement des ensilages de luzerne et fléole à 30% M.S. avec une très faible dose d'acide formique 85% (1,5 L/T.M.V.) s'est avéré plus efficace que celui avec un inoculant bactérien (Amyot, 2002) (R8).
- L'acide formique est fortement corrosif pour la machinerie et le béton et doit être manipulé avec grande précaution car il peut causer des brûlures sévères. Cependant la corrosion de la machinerie peut être réduite en n'utilisant pas d'acide formique lors du remplissage du dernier voyage d'ensilage, avant un arrêt prolongé. De plus l'installation sur la fourragère d'une plateforme capable de recevoir le baril d'acide formique de 200 kg permet de réduire les manipulations. L'utilisation d'acide formique tamponné permettrait d'atténuer le problème mais augmenterait le coût du traitement (R9).

b- L'acide propionique pour contrôler les moisissures

Mode d'action :

L'acide propionique est un très bon inhibiteur de levures et de moisissures. Puisque ce sont principalement ces organismes qui se développent en présence d'oxygène lors de la reprise ou lorsqu'il y a infiltration d'air dans le silo, son addition améliore de façon marquée la stabilité aérobie de l'ensilage, c'est-à-dire sa capacité à résister au chauffage et à la croissance des moisissures lorsqu'il est exposé à l'air.

L'acide propionique abaisse le pH et réduit la dégradation de la protéine de façon moins marquée que l'acide formique puisque c'est un acide plus faible (R10).

Il faut distinguer les produits dont l'ingrédient actif est l'acide propionique et ceux qui ont comme ingrédient actif un sel d'acide propionique. En effet ces derniers (propionate de calcium, propionates de sodium, propionate d'ammonium) n'ont pas de pouvoir acidifiant et n'améliorent pas la fermentation comme le fait le traitement à l'acide propionique (moindre dégradation de la protéine en azote ammoniacal, moindre utilisation des sucres pour la fermentation). Cependant ils sont aussi efficaces que l'acide propionique pour stabiliser un ensilage exposé à l'air, pour un même équivalent acide (5 kg/T.M.V. d'acide propionique = 6,3 kg/T.M.V. de propionate de calcium = 6,5 kg/T.M.V. de propionate de sodium) (Amyot, 1999b). On peut donc les utiliser au

lieu de l'acide propionique pour améliorer la stabilité aérobie de l'ensilage. Ils ont l'avantage d'être plus faciles à manipuler que l'acide propionique mais sont généralement plus dispendieux.

Recommandations :

- L'acide propionique est utile lorsque les ensilages sont exposés à l'infiltration d'air : dessus de silos, silos moins étanches, ensilage trop sec, mal compacté ou repris trop lentement. Puisque les additifs à base d'acide propionique sont dispendieux, c'est lorsqu'on appréhende des problèmes de détérioration aérobie que leur utilisation est justifiée.
- Lorsqu'on utilise l'acide propionique commercial (conc. 99,5%), une dose de 5 L/T.M.V. est généralement suffisante pour inhiber la croissance des moisissures de façon prolongée, mais une dose de 10 L/T.M.V. peut être requise dans certaines conditions, notamment dans les ensilages préfanés récoltés en fin de saison (R11).
- C'est dans les silos non scellés que l'acide propionique est le plus utile. On devrait traiter l'ensilage qui sera repris pendant les 30 jours suivant le remplissage. Même dans ces conditions, la dose de 5 L/T.M.V. semble suffisante pour préserver la qualité protéique et la stabilité aérobie de l'ensilage de luzerne récolté en 1^{ère} coupe (R12).
- Les produits à base d'acide propionique tamponné sont moins corrosifs et moins volatils que l'acide propionique pur, puisque environ 50% de l'acide propionique se retrouve sous forme de propionate (sel d'acide propionique). Ces produits sont surtout utilisés pour la conservation du foin humide. Cependant les produits tamponnés dont la concentration en acide propionique est de l'ordre 70% semblent aussi efficaces que l'acide propionique 99% pour améliorer la stabilité aérobie de l'ensilage (R13).
- On retrouve aussi sur le marché des produits qui misent sur la synergie résultant du mélange de plusieurs ingrédients actifs, mais dont le principal et le seul garanti est l'acide propionique. Ces produits fournissent généralement moins de 1 litre d'acide propionique par tonne d'ensilage. Ils peuvent retarder le chauffage de l'ensilage dans certaines conditions (Kung *et al.*, 1998). Cependant pour que l'effet sur la stabilité aérobie soit significatif lorsque l'ensilage est exposé à l'air de façon prolongée (silo non scellé ou peu étanche), il faut que la quantité d'acide propionique soit suffisante. Or ce n'est généralement pas le cas avec ces formulations (R14).

2- Les produits sucrés

Mode d'action :

L'addition de sucres peut améliorer la conservation d'un ensilage dont la teneur en sucres solubles est trop faible pour atteindre le pH de stabilité anaérobie, c'est-à-dire inférieure à 10% à 12% de la M.S. dans le cas des ensilages humides de graminées, mais n'est d'aucune utilité pour les ensilages possédant une quantité adéquate de sucres solubles.

Ainsi l'addition de sucres devrait être utile surtout dans les ensilages humides à cause de leurs besoins élevés en sucres pour assurer l'acidification jusqu'au pH de stabilité. Cependant, dans de tels ensilages, une addition insuffisante de sucres servira essentiellement d'aliment aux bactéries butyriques.

En fait, une addition adéquate de mélasse permet de faire baisser le pH plus rapidement et de diminuer la production d'azote ammoniacal dans les ensilages humides, alors que dans les ensilages préfanés ou demi-secs, ce traitement n'a d'effet que sur le pH final de l'ensilage.

Recommandations :

- Les produits utilisables sont la mélasse de betterave à sucre (45% sucrose) et le lactosérum (65% lactose). Un mélange de grains moulus et de malt d'orge (source d'amylase) peut aussi s'utiliser dans une proportion de 9:1 (Nicholson, 1989).
- Pour faire augmenter la teneur en sucres solubles du fourrage de 1% sur une base de M.S., il faut ajouter 4 litres de mélasse par tonne de fourrage humide (25% de M.S.) ou 8 litres par tonne de fourrage demi-sec (50% de M.S.).
- La dose de mélasse généralement recommandée est de 14 à 28 L/T.M.V., la dose la plus élevée étant appliquée sur les fourrages les plus humides. De plus la mélasse doit être diluée avec un volume égal d'eau afin d'en faciliter l'application.
- La combinaison mélasse et inoculant bactérien donne généralement de meilleurs résultats que chacun de ces produits utilisés seuls dans l'ensilage de luzerne (R15).

3- Les enzymes**Mode d'action :**

Les enzymes sont des produits naturels d'origine fongique. Ils sont utilisés dans les ensilages pour dégrader en sucres simples les sucres complexes contenus dans les cellules et dans les parois cellulaires (fibres). Théoriquement les enzymes augmenteraient de façon indirecte la teneur du fourrage en sucres solubles utilisables par les bactéries lactiques. S'il est possible d'augmenter assez rapidement la concentration en sucres solubles, il devrait s'ensuivre un abaissement plus marqué du pH et une meilleure conservation de l'ensilage. Cependant l'efficacité des enzymes est difficile à prédire puisqu'elle est influencée par plusieurs facteurs (type de plante, maturité, matière sèche et pH) (R16, R17).

On peut distinguer deux grandes catégories d'enzymes en fonction de leur rôle. Les enzymes qui s'attaquent au contenu cellulaire (ex : amylase, pectinase) ont uniquement pour rôle de fournir plus de sucres pour la fermentation. Par contre les enzymes qui s'attaquent aux parois cellulaires (ex : cellulase, hémicellulase) peuvent influencer la qualité de l'ensilage de deux façons. En plus de libérer des sucres solubles, elles devraient aussi faire augmenter la digestibilité des fourrages en réduisant la teneur en fibres.

Recommandations :

- On devrait limiter l'utilisation des enzymes aux plantes jeunes, finement hachées et possédant une teneur en matière sèche inférieure à 40% puisque leur efficacité est très réduite dans les ensilages avec une teneur en matière sèche supérieure à 40% et des fourrages matures (Muck et Kung, 1997).
- Le type d'enzyme à utiliser dépend de la culture ensilée. Ainsi l'amylase qui a pour rôle de transformer l'amidon en glucose peut être utile pour les légumineuses et le maïs. Cependant elle n'est d'aucune utilité pour les graminées qui emmagasinent leurs réserves sous forme de fructosanes (Merry *et al.*, 1989).
- Les légumineuses sont les plus susceptibles de profiter de l'addition d'enzymes tandis que le maïs est le moins susceptible. En fait l'addition d'enzymes n'est pas recommandée dans le

maïs puisque ce dernier est riche en sucres et un excès pourrait favoriser la croissance des levures et la production d'alcool (Muck et Kung, 1997).

- On peut retrouver des enzymes protéolytiques (protéase) dans certains produits commerciaux. Ces enzymes sont responsables de la dégradation des protéines (protéolyse) et leur présence, probablement due au coût élevé de purification du produit, est indésirable dans les additifs à fourrages.

4- Les inoculants bactériens

a- Les bactéries lactiques

Mode d'action :

Le but visé par l'addition d'inoculants bactériens est de fournir des bactéries homolactiques plus efficaces que les bactéries naturelles pour convertir les sucres solubles en acide lactique (McCullough, 1978). L'utilisation de ces produits devrait donc provoquer une acidification plus rapide ou un pH final plus bas, ce qui permet généralement d'inhiber les microorganismes indésirables et l'activité enzymatique indésirable. Cependant les sucres solubles doivent être présents en quantité suffisante et rapidement disponibles pour que l'inoculation soit efficace. (R18, R19, R20, R21).

Recommandations :

- Limiter l'utilisation des inoculants bactériens aux ensilages de graminées dont la teneur en matière sèche est supérieure à 25% (à moins que la teneur en sucres solubles soit >12%) et aux ensilages de légumineuses dont la teneur en matière sèche est supérieure à 30%. Pour les ensilages de balles rondes ces seuils sont plus élevés soit 30% pour les graminées et 35% pour les légumineuses (Lafrenière *et al.*, 1998).
- Choisir un produit contenant une ou plusieurs des bactéries suivantes : *Lactobacillus*, *Pediococcus* et *Streptococcus (Enterococcus)*, et ayant fait ses preuves grâce à des résultats documentés pour le type de fourrage concerné (graminées, légumineuses, maïs ou céréales) ou pour une récolte similaire s'il n'existe pas de produit spécifique (Lafrenière *et al.*, 1998).
- Privilégier un produit apportant un minimum de 10^5 U.F.C./ g M.V. (unités formatrices de colonies par gramme de matière verte) (Bolsen *et al.*, 1996). Ce nombre est adéquat pour que les bactéries ajoutées dominent rapidement les bactéries naturelles dans un ensilage préfané.
- Privilégier un inoculant s'appliquant sous forme liquide (hydrosoluble) plutôt que sous forme de poudre ou granulaire, de façon à favoriser une application plus uniforme et une réhydratation plus rapide des bactéries (Satter *et al.*, 1988).
- De façon à assurer la viabilité des bactéries, le produit doit provenir d'un fournisseur qui respecte la date d'expiration, de plus on doit le conserver à la température recommandée par le manufacturier jusqu'à son utilisation, utiliser une eau non chlorée pour préparer la bouillie et ne pas en préparer plus que pour une journée (produit hydrosoluble).
- Afin d'obtenir une application plus uniforme, il est préférable d'appliquer l'inoculant à la récolte (fourragère, presse à balles rondes) plutôt qu'à la mise en silo.

b- Les associations bactéries - enzymes

Mode d'action :

Plusieurs produits commerciaux contiennent à la fois des bactéries et des enzymes, à cause de leur effet complémentaire sur la fermentation de l'ensilage. Au début les bactéries ont tendance à augmenter le taux de fermentation de l'ensilage (baisse plus rapide du pH) alors que les enzymes peuvent contribuer à fournir l'énergie nécessaire aux bactéries lorsque les sucres solubles sont épuisés (prolongation de la fermentation). Il devrait en résulter une production d'acide lactique plus élevée et un pH final plus bas dans les fourrages qui sont insuffisamment riches en sucres solubles. Cependant la vitesse de libération des sucres sous l'action des enzymes n'est pas toujours suffisante pour qu'il en résulte un effet positif sur la fermentation (R15, R22).

Recommandations :

- Dans les ensilages de légumineuses à moins de 40% de M.S., on devrait privilégier l'utilisation d'un inoculant bactérien qui contient aussi des enzymes, puisque le manque de sucres rapidement disponibles est souvent le facteur qui limite l'efficacité des inoculants bactériens dans ces conditions.

c- Les bactéries productrices d'inhibiteurs de moisissures

Mode d'action :

Une nouvelle génération d'inoculants bactériens ayant pour but d'améliorer la stabilité aérobie de l'ensilage est apparue sur le marché depuis quelques années. Les bactéries du genre *Propionibacterium* peuvent produire de l'acide propionique à partir de l'acide lactique produit par la fermentation alors que les bactéries désignées sous le nom de *Lactobacillus buchneri* peuvent transformer l'acide lactique en acide acétique et en 1,2-propanediol.

Recommandations :

- Les bactéries du genre *Propionibacterium* que contiennent certains inoculants n'améliorent généralement pas la stabilité aérobie de l'ensilage lorsque la fermentation s'établit rapidement. Ces inoculants favorisent cependant la fermentation au même titre que les inoculants traditionnels (R23).
- Des recherches ont montré que les inoculants contenant les bactéries *Lactobacillus buchneri* permettent d'améliorer la stabilité aérobie des ensilages de maïs, de céréales et de ray-grass. Cependant, il est difficile de préciser les conditions d'efficacité de ce type d'additif. Il serait principalement réservé aux ensilages riches en sucres dans lesquels on peut accepter une perte de matière sèche accrue pendant la fermentation parce qu'on appréhende des problèmes de détérioration aérobie (R24).

5- L'ammoniac et l'urée

Mode d'action :

Les additifs à base d'ammoniac ou d'urée sont des additifs nutritionnels. Ils ont pour but d'enrichir le fourrage en protéines brutes, puisque les ruminants peuvent transformer l'azote non protéique en protéines. L'ammoniac agit aussi comme agent de conservation à cause de ses propriétés antimicrobiennes. L'urée quant à elle est transformée en ammoniac par les enzymes du fourrage.

Le traitement à l'ammoniac porte le pH de l'ensilage de maïs au-dessus de 8, ce qui stimule la production d'acide lactique. Cependant le pH final est généralement un peu plus élevé que dans l'ensilage non traité à cause de l'effet tampon de l'ammoniac. Le traitement à l'urée influence la fermentation de façon moins prononcée puisque seulement une faible proportion de l'urée (25-30%) est transformée en ammoniac. Donc il élève moins le pH, active moins la fermentation et inhibe moins l'augmentation de la solubilité de la protéine pendant la fermentation (Amyot, 2000b).

Le traitement à l'ammoniac améliore aussi la stabilité aérobie de l'ensilage de maïs. Cependant l'effet semble variable et grandement influencé par la teneur en matière sèche de l'ensilage. L'urée est généralement considérée moins efficace que l'ammoniac en ce sens (Mahanna, 1993) mais des résultats contraires ont été rapportés dans un ensilage de maïs (30% de M.S.) qui avait tendance à chauffer rapidement (Amyot, 2000b) (R25).

Recommandations :

- L'utilisation de l'ammoniac est réservée presque uniquement à l'ensilage de maïs, à cause de sa faible teneur en protéine brute et de sa teneur élevée en hydrates de carbone fermentescibles.
- Puisque l'ammoniac (NH_3) contient 82% d'azote, une dose de 3,5 kg / tonne d'ensilage à 35% M.S. (10 kg / T.M.S.) permet une augmentation théorique de la teneur en protéine brute du maïs de 5% (8,2 kg N x 6,25). On peut obtenir le même effet en appliquant l'urée (45% N) à la dose de 6,3 kg / T.M.V. (18 kg / T.M.S.)
- Le traitement à l'urée est généralement considéré comme un meilleur choix que celui à l'ammoniac lorsqu'on est intéressé surtout par l'apport d'azote (Mahanna, 1993). C'est un produit plus sécuritaire dont l'application ne requiert pas d'équipement spécial et avec lequel les risques de pertes sont moins élevées.
- L'utilisation de l'ammoniaque (NH_4OH) (produit liquide non pressurisé dosant 24% N) constitue aussi une alternative à l'ammoniac anhydre (gaz sous pression). Le traitement est plus simple à réaliser. Toutefois le coût est plus élevé.
- Il est possible, mais peu avantageux et délicat, de traiter les ensilages de graminées ou de légumineuses à l'ammoniac (R26).

6. Conclusion

L'acide formique est un produit relativement efficace pour la conservation de l'ensilage humide, à condition d'acidifier l'ensilage jusqu'au pH de stabilité anaérobie. Il est peu utilisé en raison de son coût élevé et de son danger d'utilisation et parce qu'il est relativement facile de préfaner le fourrage pour qu'il soit plus facile à ensiler. L'acide propionique est efficace comme inhibiteur de moisissures, mais à un coût élevé. De plus, les acides peuvent agir comme activateurs de la fermentation, lorsqu'ils sont appliqués à faible dose. Ce traitement peut être utile dans les ensilages préfanés réalisés avec des plantes pauvres en sucres.

Les produits à base de bactéries ou d'enzymes sont moins coûteux. Ils peuvent améliorer la conservation des ensilages faits dans de bonnes conditions. Par contre, dans de mauvaises conditions, les acides sont plus efficaces.

ANNEXE 1

RÉSULTATS DE RECHERCHE

LES ADDITIFS POUR LE FOIN

1- Les acides organiques

R1- La combinaison du traitement à l'acide propionique tamponné (avec un produit ayant une concentration en acide propionique de 70% et dont environ la moitié est sous forme de propionate d'ammonium) et du séchage à l'air ambiant réduit la croissance des moisissures, la perte de matière sèche et le brûlage de sucres par la respiration et empêche l'augmentation de la teneur en fibre par détergent acide, et ce malgré des pertes importantes d'acide propionique par volatilisation. Cela semble dû au fait que le traitement à l'acide propionique tamponné inhibe l'activité biologique de façon plus rapide que le séchage à l'air ambiant (Amyot, 1998a). Par ailleurs, en abaissant la teneur en humidité du foin, le séchage à l'air ambiant assure une bonne conservation même après que l'acide ait été dissipé.

2- Les inoculants bactériens

R2- Certains inoculants bactériens commercialisés pour le foin contiennent les mêmes bactéries lactiques (généralement du genre lactobacille) que les inoculants d'ensilage. Certains chercheurs ont observé des effets positifs (réduction du chauffage, de la protéine liée et de l'azote ammoniacal) suite à l'utilisation d'un tel inoculant (*Lactobacillus plantarum* et *Streptococcus faecium*) dans le foin (Nelson *et al.*, 1989). Cependant, des travaux ont démontré que les bactéries sélectionnées d'abord pour l'ensilage, tel *Lactobacillus plantarum* et *Pediococcus cerevisiae*, ne peuvent pas empêcher le développement de moisissures dans le foin parce que les conditions d'humidité et d'oxygène ne sont pas favorables à la croissance rapide de ces bactéries (Rotz *et al.*, 1988).

R3- Certains inoculants bactériens commercialisés pour le foin contiennent des bactéries sélectionnées spécifiquement pour le foin. Certains chercheurs ont noté une réduction du chauffage (Arambel et Kent, 1989), une meilleure digestibilité apparente de la fibre ADF suite au traitement avec *Bacillus pumilus* (Emanuele *et al.*, 1992), de même qu'une réduction de l'activité fongique et une amélioration de la digestibilité de la matière sèche et de la fibre avec *Pediococcus pentosaceus* (Wittenberg, 1994) suite à l'utilisation de tels produits. Cependant l'efficacité de cette nouvelle génération d'inoculants n'est pas encore bien documentée. Il faudra mieux définir les conditions d'efficacité de ces produits.

3- Les enzymes et produits de fermentation

R4- Amyot (1993) a observé une réduction de la perte de matière sèche sans que la croissance des moisissures ne soit réduite de façon significative, dans un foin récolté à 75% de M.S., suite au traitement avec un additif à base d'amylase et de soufre.

R5- Deetz *et al.* (1989) ont montré que les produits de fermentation de *Lactobacillus* peuvent améliorer la digestibilité de la fibre par détergent neutre et de l'hémicellulose et le gain de poids mais pas la production de lait, quand on compare le foin traité avec le témoin sec.

4- L'ammoniac et l'urée

- R6- L'addition d'urée en granules ou en solution au taux de 20 à 30 kg par tonne de foin à environ 75% de M.S. en améliore la qualité de conservation (Amyot, 1997). L'addition de 30 kg d'urée (60 litres d'une solution à 50% conc.) par tonne de foin de balles rondes à 75% de M.S. a fait augmenter la teneur en protéine brute du foin de 11%. Cet effet a entraîné une augmentation importante de la performance de gain des bovins (Grégoire et Amyot, 2000).

5- Le sel

- R7- En conditions de laboratoire, une dose de 20 à 30 kg de sel granulaire par tonne de foin (75 % de M.S.) est nécessaire pour en améliorer la qualité de conservation alors que le traitement avec le sel en solution (conc. 25%) ne permet pas de l'améliorer (Amyot, 1997). Le traitement avec le sel granulaire a cependant été peu efficace dans le foin de balles rondes, suite à des pertes importantes de sel lors de l'application. De plus, la quantité d'urine produite quotidiennement par les bovins alimentés avec ce foin a augmenté de façon importante (Grégoire et Amyot, 2000).

LES ADDITIFS POUR L'ENSILAGE

1- Les acides

a- L'acide formique

- R8- Une très faible dose d'acide formique 85% (1 à 1,5 L/T.M.V.) abaissant le pH de l'ensilage de luzerne autour de 5,2 entraîne une moindre dégradation de la protéine, une économie de sucres et l'atteinte d'un pH plus bas si la teneur en sucres solubles de la plante est faible. Ce traitement mise d'avantage sur la production naturelle d'acide par les bactéries lactiques et est particulièrement intéressant dans les ensilages légèrement préfanés (25-30% M.S.) dont la fermentation risque d'être limitée par le manque de sucres solubles (Amyot, 2001).

- R9- Depuis quelques années, des produits à base d'acide formique tamponné sont vendus sur le marché européen comme alternative au traitement à l'acide formique pour les ensilages humides. Ces produits sont moins corrosifs et donnent des résultats comparables (Davies et Haigh, 1993), à condition d'utiliser une dose plus élevée permettant de fournir la même quantité d'acide formique par tonne d'ensilage (Randby, 2000). Cependant aucun produit de la sorte n'est actuellement enregistré au Canada.

b- L'acide propionique

- R10- Avec l'acide propionique 99%, une dose de 5 L/T.M.V. abaisse à 5,4 le pH de l'ensilage préfané (41% M.S.) de luzerne de 2^{ème} coupe et une dose de 10 L/T.M.V. l'abaisse à 4,8. Dans les deux cas la fermentation lactique subséquente l'abaisse à environ 4,3 et on observe une réduction d'environ 50% de la teneur en azote ammoniacal. Cependant seule la dose de 10 L/T.M.V. restreint la fermentation de façon marquée et préserve les sucres solubles (Amyot, 1995).

- R11- Cottyn *et al.* (1972) ont démontré que des apports de 4 à 5 litres d'acide propionique /T.M.V., inhibent la croissance des levures et moisissures et améliorent la stabilité aérobie

des ensilages à la reprise, ce qui peut réduire les pertes de matière sèche. Dans les travaux de Amyot (1995), les doses d'acide propionique 99% de 5 et 10 L/T.M.V ont été très efficaces pour empêcher le chauffage de l'ensilage récolté en mi-saison (août) et exposé à l'air de façon prolongée, mais la dose la plus élevée a été nécessaire pour l'ensilage récolté en fin de saison (octobre). Ceci semble dû au fait que dans les conditions froides la fermentation prend beaucoup plus de temps à se compléter suite au traitement à la dose de 5 L/T.M.V., alors que la dose de 10 L/T.M.V. l'inhibe presque complètement quelles que soient les conditions de température.

- R12- Dans un silo non scellé, l'acide propionique 99% appliqué à la dose de 5 L/T.M.V. a réduit le chauffage de l'ensilage à la surface de reprise et la dégradation de la protéine en azote ammoniacal autant que la dose de 10 L/T.M.V. dans un ensilage de luzerne récolté en juin et repris pendant les 30 jours suivant le remplissage du silo et ce, que le taux de prélèvement soit de 5 cm/jour ou de 10 cm/jour (Amyot, 1999a).
- R13- Les essais réalisés avec l'ensilage préfané (46% M.S.) de luzerne en balles rondes ont montré que le traitement à l'acide propionique tamponné (conc. 70% dont la moitié est sous forme de propionate d'ammonium), tout comme celui à l'acide propionique 99%, permet d'atteindre plus rapidement le pH de stabilité anaérobie et de préserver plus de sucres solubles. De plus il améliore la stabilité aérobie de l'ensilage aussi efficacement que le traitement à l'acide propionique, lorsque chacun des produits est appliqué à la dose de 5 L/T.M.V. ou 2,5 L/T.M.V. Cependant une dose plus élevée de chacun de ces produits serait requise pour obtenir un effet significatif sur la stabilité aérobie de l'ensilage demi-sec (62% M.S.)(Amyot, 2000a).
- R14- Un ensilage de luzerne et fléole à 50% M.S. traité avec l'acide propionique 99% à la dose de 5 L/T.M.V. et exposé à l'air de façon prolongée a présenté une meilleure stabilité aérobie que l'ensilage témoin mais ce ne fut pas le cas pour l'ensilage traité avec un produit commercial fournissant moins de 1 litre d'acide propionique par T.M.V. (Amyot, 1999b).

2- Les produits sucrés

- R15- L'ajout de mélasse (12 l/t) en même temps qu'un inoculant bactérien contenant aussi des enzymes a amélioré la fermentation d'un ensilage préfané (30% M.S.) de luzerne et fléole alors que chacun de ces traitements utilisés séparément n'ont pas eu d'effet positif sur la fermentation (Amyot, 2002).

3- Les enzymes

- R16- L'effet bénéfique des enzymes (utilisées seules) sur la fermentation se manifeste généralement au niveau du pH, du rapport acide lactique / acide acétique ou de la teneur en azote ammoniacal (Merry *et al.*, 1989; Jacobs et McAllan, 1991). L'effet sur les performances animales est moins évident (Fredeen *et al.*, 1991). Muck et Kung (1997) rapportent des effets positifs des enzymes sur la fermentation, la stabilité aérobie et la digestibilité de la matière sèche dans moins de 50%, 20% et 9% respectivement des essais répertoriés entre 1990 et 1995. Cela laisse supposer qu'une partie des sucres libérés suite à l'action des enzymes est quand même libérée en leur absence, mais plus tardivement pendant la fermentation. Finalement des effets positifs sur l'ingestion, la production laitière et le gain de poids ont été observés dans 21%, 33% et 40% des cas respectivement.

R17- Selon Pitt (1990) la quantité de sucres produite suite à l'action des enzymes est généralement trop faible et surtout libérée trop lentement pour améliorer les ensilages faits à partir de fourrages trop pauvres en sucres solubles au départ (moins de 5 à 6% de la M.S.). Par contre, il peut en résulter une amélioration de la qualité des ensilages assez riches en sucres ou situés à la limite, c'est-à-dire plus de 10% de la M.S. dans les ensilages humides de graminées (Demarquilly, 1990).

4- Les inoculants bactériens

a- Les bactéries lactiques

R18- Muck et Kung (1997) rapportent des effets positifs des inoculants lactiques sur la fermentation dans 60 % des essais répertoriés entre 1990 et 1995, et des effets positifs sur la stabilité aérobie dans moins de 30% des essais. De plus l'inoculation a été moins efficace avec le maïs et les céréales qu'avec les graminées et les légumineuses. Finalement des effets positifs sur l'ingestion, la production laitière et le gain de poids ont été observés dans 28%, 47% et 53% des cas respectivement.

R19- Les résultats d'expériences avec les bactéries sont très variables et doivent être interprétés en fonction de la teneur en sucres solubles et en matière sèche de l'ensilage. Lorsque des bactéries sont utilisées avec un ensilage ayant une teneur élevée en sucres solubles (selon la teneur en matière sèche du fourrage), le pH final est généralement plus bas, et la teneur en azote ammoniacal est plus faible à cause de la réduction de la protéolyse enzymatique (protéase) ou bactérienne (clostridies). Une teneur significativement moindre en azote ammoniacal dans les ensilages humides peut avoir une incidence positive sur l'ingestion. Dans les ensilages plus secs, l'azote ammoniacal est rarement un problème et l'effet de l'inoculation sur la consommation est moins évident.

R20- Lorsque la teneur en sucres solubles est à un niveau qui limite la fermentation, l'ajout de bactéries a peu ou pas d'effet sur le pH final des ensilages humides (Demarquilly, 1990) mais se traduit parfois par un pH plus bas dans les ensilages préfanés ou demi-secs, à cause d'une meilleure activité bactérienne. Un pH moindre peut restreindre l'activité de la protéase. La baisse de pH est parfois plus rapide avec ces produits, même si le pH final est le même. Cela peut suffire pour inhiber partiellement l'activité clostridienne des ensilages humides contaminés par la terre.

R21- Les inoculants bactériens peuvent avoir un effet positif mais il est difficile de prévoir dans quelles circonstances il sera techniquement et économiquement rentable de les utiliser. Selon Muck (1996), l'inoculation de la luzerne est économiquement rentable lorsque les conditions environnementales sont peu favorables à la croissance des bactéries lactiques naturelles (récoltes ayant subi des stress tel que la sécheresse et le gel, température moyenne inférieure à 15°C durant le préfanage ou les jours précédant la récolte, séchage rapide ou préfanage difficile en raison des conditions climatiques).

b- Les associations bactéries - enzymes

R22- Un inoculant bactérien additionné d'enzymes n'a pas amélioré la fermentation d'un ensilage de luzerne et d'un ensilage de fléole (33-37% M.S.) plus que l'inoculant utilisé seul (Fredeen *et al.*, 1991)

c- Les bactéries productrices d'inhibiteurs de moisissures

- R23- Certains inoculants contiennent non seulement des bactérie productrices d'acide lactique mais aussi des bactéries du genre *Propionibacterium* produisant de l'acide propionique à partir de l'acide lactique produit par la fermentation, dans le but d'améliorer la stabilité aérobie. Cependant l'inclusion de la bactérie *Propionibacterium* dans les inoculants a été décevante parce qu'elle est lente à s'établir et ne peut pas supporter la compétition des bactéries lactiques et produire suffisamment d'acide propionique pour influencer la stabilité aérobie lorsque la fermentation s'établit rapidement. C'est pourquoi ces bactéries sont généralement inefficaces sauf si la fermentation lactique est lente (Lafrenière *et al.*, 1998).
- R24- On trouve sur le marché des inoculants contenant une espèce particulière de bactéries productrices d'acide lactique désignée sous le nom de *Lactobacillus buchneri* qui permettrait d'améliorer la stabilité aérobie de l'ensilage. En effet il a été démontré que l'utilisation de *Lactobacillus buchneri* comme inoculant permet de réduire la croissance et la survie des levures et d'améliorer la stabilité aérobie des ensilages de maïs (Driehuis *et al.*, 1999 ; Ranjit and Kung, 2000 ; Ranjit *et al.*, 2002), de céréales (Kung *et al.*, 1999 ; Lafrenière et Berthiaume, 2000) et de ray-grass (Driehuis *et al.*, 2001). Cet effet proviendrait de l'inhibition des levures suite à la transformation de l'acide lactique en acide acétique et en 1,2-propanediol (propylène glycol) qui est lui-même transformé en acide propionique et en 1-propanol sous certaines conditions (Oude Elferink *et al.*, 1999 ; Driehuis *et al.*, 2001). Des études plus approfondies devront être faites avant de faire une recommandation généralisée de ce type d'inoculant, puisque la compétitivité de *L. buchneri* avec les autres bactéries lactiques augmente lorsque la teneur en matière sèche de l'ensilage diminue et que des niveaux élevés d'éthanol ont été observés dans des ensilages inoculés avec *L. buchneri* (Driehuis *et al.*, 2001).

5- L'ammoniac et l'urée

- R25- Amyot (2000b) rapporte une plus grande réduction de la croissance des moisissures avec l'ammoniaque qu'avec l'urée lorsque la température augmentait lentement dans l'ensilage de maïs (30% M.S.) exposé à l'air et une plus grande réduction avec l'urée qu'avec l'ammoniaque lorsque la température augmentait rapidement. Il a attribué cela au fait qu'une partie de l'ammoniac se perd probablement par évaporation lorsque la température s'élève au-delà d'un certain niveau.
- R26- En ce qui concerne les ensilages de graminées ou de légumineuses, on devrait limiter ce traitement aux fourrages dont la fermentation n'est pas limitée par le manque de sucres ni par le manque d'eau et adapter la dose en fonction de la teneur en sucres et de la teneur en matière sèche du fourrage. Cela vient du fait que suite au traitement à l'ammoniac, il doit y avoir une production accrue d'acide lactique et une plus grande utilisation des sucres par la fermentation pour abaisser le pH à un niveau comparable à celui d'un ensilage non traité. Si la fermentation est limitée par le manque de sucres ou par le manque d'eau, le pH final peut être trop élevé pour assurer une bonne conservation. Par ailleurs le traitement à l'ammoniac améliore la stabilité aérobie de l'ensilage demi-sec de graminées de façon beaucoup moins prononcée que le traitement à l'acide propionique et en ce sens il n'y a pas d'avantage à utiliser une dose d'ammoniac supérieure à 1,5-2,5 kg / T.M.V. (5 kg / T.M.S). (Amyot, 1998b).

ANNEXE 2

DOSES D'APPLICATION DE QUELQUES ADDITIFS

Produit	Concentration	Densité (kg / litre)	Récolte	Doses volumétriques (litres / T.M.V.)	Doses pondérales (kg / T.M.V.)
Acide formique	85%	1,19	Graminées Légumineuses 25% M.S.	2,3-3,5 5,0	2,7-4,2 6
Acide propionique	99%	0,99	Tout ensilage	5-10	5-10
Ammoniac	82% N		Maïs ensilage 35% M.S.		3,5
Ammoniaque	24% N	0,90	Maïs ensilage 35% M.S.	13,3	12
Urée	45% N		Maïs ensilage 35% M.S.		6,4
Urée en solution	50% en poids (22,5% N)		Maïs ensilage 35% M.S.		12,8
Mélasse de betterave à sucre	45% sucrose	1,4	Graminées et légumineuses	14-28	20-40

BIBLIOGRAPHIE

- Amyot, A. 1993. Évaluation de l'additif Silo-Guard II pour la conservation du foin en balles. Rapport final. Projet de recherche # R-1105-93-070P. Service de la zootechnie (Deschambault), MAPAQ. 64 pages.
- Amyot, A. 1995. Fermentation et stabilité aérobie de l'ensilage de luzerne traité à l'acide propionique. Journée d'information scientifique sur les fourrages. CPVQ. Sainte-Foy, Québec.
- Amyot, A. 1997. Effet du sel sur la qualité de conservation du foin récolté à une teneur en humidité supérieure à 20%. 1. Essais en laboratoire. Rapport final. Projet de recherche # R-1105-96-007. Centre de recherche et d'expérimentation de Deschambault, MAPAQ. 81 pages.
- Amyot, A. 1998a. Qualité de conservation du foin en petites balles rectangulaires récolté à 25 à 30% d'humidité, traité à l'acide propionique tamponné et séché à l'air ambiant. Rapport final. Projet de recherche # R-1105-95-092. Centre de recherche et d'expérimentation de Deschambault, MAPAQ. 52 pages.
- Amyot, A. 1998b. Effet de l'ammoniac et de l'urée sur la qualité de conservation de l'ensilage de graminées. Rapport final. Projet de recherche # R-1105-94-079. Centre de recherche et d'expérimentation de Deschambault, MAPAQ. 52 pages.
- Amyot, A. 1999a. Dose d'acide propionique permettant de stabiliser un silo non scellé. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. CPVQ (publication VT 031). 26 février. Notre-Dame-du-Bon-Conseil, Québec.
- Amyot, A. 1999b. Les additifs et la stabilité aérobie de l'ensilage. Rapport final. Projet de recherche #R-1105-95-093. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Centre de Deschambault. 65 pages.
- Amyot, A. 2000a. Qualité de conservation et stabilité aérobie de l'ensilage de balles rondes traité à l'acide propionique tamponné. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. CPVQ (publication VU 045). 25 février. Victoriaville, Québec, pages 52-53.
- Amyot, A. 2000b. Utilisation de différentes sources d'azote alimentaire pour compléter l'ensilage de maïs en production bovine 1. Profil de fermentation et qualité de l'ensilage traité avec de l'ammoniac ou de l'urée lors de la récolte. Rapport final. Projet de recherche #110114. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Centre de Deschambault. 34 pages.
- Amyot, A. 2002. Effet de l'acide formique, d'un inoculant bactérien et de la mélasse sur la fermentation de l'ensilage de luzerne. *Agrosol* 13 (1) 35-46
- Arambel, M.J. et B. Kent. 1989. Essai de l'inoculant Super-Foin à l'Université de l'Utah. Résultats transmis par Biotol Canada Ltd.
- Atwal, A. S. et L. C. Heslop. 1987. Conservation du foin humide par le traitement à l'ammoniac anhydre. *Canadex, Agdex* 120.62, 3 pages.
- Bolsen, K. K., G. Ashbell and Z. G. Weinberg. 1996. Silage fermentation and silage additives. *Asian-Australian Jour. of Animal Sci.* 9 (5) : 483-614.
- Chiquette, J., P. M. Flipot and C. M. Vinet. 1992. Effect of ammoniation and urea addition on chemical composition and digestibility of mature timothy hay, and rumen fluid characteristics of growing steers. *Can. J. Anim. Sci.* 72 : 299-308.

- Cottyn, B. G., C. V. Boucque et F. X. Buysse. 1972. La valeur de l'acide propionique et de l'acide formique en tant que produits pour ensilage et leur influence sur l'ingestion alimentaire chez les génisses. *Revue de l'agriculture* 4(avril): 623-639.
- Davies, O. D. and P. M. Haigh. 1993. A comparaison of formic acid and acid-salt type additive on the performance of dairy cows in early lactation. *Grass and Forage Science*. 48 : 64-69.
- Deetz, D. A., J. H. Harrison, F. R. Valdez and D. W. Evans. 1989. Impact of noncorrosives forage stabilizers on digestibility of alfalfa hay and lactation performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72 : 2062-2073.
- Demarquilly, C. 1990. Utilisation des conservateurs: quand et pourquoi les utiliser. Résultats zootechniques obtenus avec des ensilages d'herbe préparés avec des conservateurs efficaces. Symposium international sur l'ensilage d'herbe, Rouyn-Noranda, Avril 1990, p. 93-106.
- Demarquilly, C. 1995. Les modifications subies par les fourrages conservés en silo. dans « Les matériels de récolte des fourrages, ensilage et distribution » CEMAGREF, pages 57-62.
- Driehuis, F., S. J. W. H. Oude Elferink and P. G. Van Wikselaar. 1999a. Anaerobic lactate degradation in maize silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. *J. Appl. Microbiology*, 87 : 583-594.
- Driehuis, F., S. J. W. H. Oude Elferink and P. G. Van Wikselaar. 1999b. *Lactobacillus buchneri* can improve aerobic stability of laboratory and farm scale whole crop maize silage but does not affect feed intake and milk production of dairy cows. Proceedings of the the 12th Int. silage conference. Pauly, T. (ed.). Uppsala, Sweden, pages 264-265.
- Driehuis, F., S. J. W. H. Oude Elferink and P. G. Van Wikselaar. 2001. Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculated with *Lactobacillus buchneri*, with or without homofermentative lactic acid bacteria. *Grass and Forage Science*, 56 : 330-343.
- Emanuele, S. M., G. M. J. Horton and J. Baldwin. 1992. Effect of microbial inoculant on quality of alfalfa hay baled at high moisture and lamb performance. *J. Dairy Sci.* 75 : 3084-3090.
- Fredeen, A. H., R.E. McQueen and D.A. Browning. 1991. Effects of enzymes and nutrients in bacterial inoculant on quality of timothy or alfalfa silage and dairy cow performance. *Can. J. Anim. Sci.* 71: 781-791.
- Grégoire, R. et A. Amyot. 2000. Effet du sel sur la qualité de conservation du foin récolté à une teneur en humidité supérieure à 20%. 3. Performance des bovins de boucherie. Rapport final. Projet de recherche # R-1105-96-007. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Centre de Deschambault, 47 pages.
- Jacobs, J.L. and A. B. McAllan. 1991. Enzymes as silage additives. 1. Silage quality, digestion, digestibility and performances in growing cattle. *Grass and Forage Science* 46:63-75.
- Kung, L., A. C. Sheperd, A. M. Smagala, K. M. Endres, C. A. Bessett, N. K. Ranjit and J. L. Glancey. 1998. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81 (5) : 1322-1330.
- Kung, L. Jr., N. K. Ranjit, J. M. Robinson and R. C. Charley. 1999. Inoculation with *Lactobacillus buchneri* improves the aerobic stability of barley silage. Proceedings of the the 12th Int. silage conference. Pauly, T. (ed.). Uppsala, Sweden, pages 272-273.

- Lafrenière, C., R. Berthiaume, R. Drapeau, et A. Amyot. 1998. Comment conserver une bonne récolte sous forme d'ensilage. Colloque sur les plantes fourragères – L'ensilage : du champ à l'animal, CPVQ. 17 et 18 novembre, Alma et Sherbrooke, p. 57-108.
- Lafrenière, C. et R. Berthiaume. 2000. Effet de deux types d'inoculants lactiques sur la stabilité aérobie d'un ensilage d'avoine haché récolté à deux stades de maturité. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. CPVQ (publication VU 045). 25 février. Victoriaville, Québec, pages 48-51.
- Leibensperger, R.Y. and R.E. Pitt. 1988. Modeling the effects of formic acid and molasse on ensilage. J. Dairy Sci. 71:1220-1231.
- Mahanna, W. C. 1993. Silage fermentation and additive use in North America. Proceedings from the National silage production conference « Silage production from seed to animal » :85-95. NRAES Cooperative extension. Publication 67. Ithaca, NY.
- Macdonald, A. D. and E. A. Clark. 1990. Water and quality loss during drying of hay. Advances in Agronomy 41:407-437.
- Mayne, S. 1990. Production and feeding of direct cut grass silages in Northern Ireland. Symposium international sur l'ensilage d'herbe, Rouyn-Noranda, Avril 1990, p. 205-232.
- McCullough, M. E. 1978. Fermentation of silage - A review. National Feed Ingredients Association. West Des Moines, Iowa, 332 p.
- McDonald, P., N. Henderson and S. Heron. 1991. The biochemistry of silage. Deuxième édition, Chalcombe Publications, 340 pages.
- Merry, R. J., D. E. Beever and M.K. Theodorou. 1989. Additives - Their potential for improving the nutritive value of silages. Proceedings of silage technology and management workshop, Truro, Nova Scotia, 29 and 30 March 1989, p. 44-73.
- Muck, R. E. and L. Kung. 1997. Effects of silage additives on ensiling. Pages 187-199 in Silage : Field to feedbunk, NRSAES-99. Northeast Regional Agric. Engng. Service, Hershey, Pennsylvania.
- Nelson, M. L., D. M. Headly and J. A. Loesche. 1989. Control of fermentation in high-moisture baled alfalfa by inoculation with lactic acid producing bacteria: II. Small rectangular bales. J. Anim. Sci. 67:1586-1592.
- Nelson, M. L., Klopfenstein T. J. and R. A. Britton. 1989. Control of fermentation in high-moisture baled alfalfa by inoculation with lactic acid producing bacteria: I. Large round bales. J. Anim. Sci. 67:1577-1585.
- Nicholson, J. W. G. 1989. Qu'est ce que l'ensilage de qualité? La Terre de Chez-Nous, 16 février 1989, p. 23.
- Oude Elferink, S. J. W. H., F. Driehuis, J. Krooneman, C. Gootschal and S. F. Spoelstra. 1999. *Lactobacillus buchneri* can improve the aerobic stability of silage via a novel fermentation pathway : the aerobic degradation of lactic acid to acetic acid and 1,2- propanediol. Proceedings of the the 12th Int. silage conference. Pauly, T. (ed.). Uppsala, Sweden, pages 266-267.
- Pitt, R. E. 1990. A model of cellulase and amylase additives in silage. J. Dairy Sci. 73:1788-1799.
- Randby, Å. T. 2000. The effect of some acid-based additives applied to wet grass crops under various ensiling conditions. Grass and Forage Science. 55:289-299.

- Ranjit, N. K. and L. Kung, Jr. 2000. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *J. Dairy Sci.* 83 : 526-535.
- Ranjit, N. K., C. C. Taylor and L. Kung. 2002. Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation, aerobic stability and nutritive value of maize silage. *Grass and Forage Sc.* 57:73-81.
- Rotz, C. A., R. J. Davis, D. R. Buckmaster and J. W. Thomas. 1988. Bacterial inoculants for preservation of alfalfa. *J. Prod. Agric.* 1(4):362-367.
- Satter, L. D., R. E. Muck, J. A. Woodford, B. A. Jones and C. M. Wacek. 1988. Inoculant research: what has it shown us? Wisconsin Forage Council's 12th Forage Production and Use Symposium, Wisconsin Dells, Wisconsin, January 26 & 27, 1988, p. 106-117.
- Siciliano-Jones, J., J. B. Fallon, W. M. Seymour and J. E. Nocek. 1989. Preservation of high moisture alfalfa hay with acid or buffered acid solutions. *J. Anim. Sci.* 67(Supplement 1):278-279.
- Wittenberg, K. M. 1994. Nutritive value of high moisture alfalfa hay preserved with *Pediococcus pentosaceus*. *Can. J. Anim. Sci.* 74(2) : 229-234.