

# Effet de deux bioenrobages sur la qualité de l'ensilage de fléole des prés (*Phleum pratense* L.) récoltée en mi-été

\*A. Amyot<sup>1</sup>, P. Denoncourt<sup>2</sup>, B. Outtara<sup>2</sup>, M. Lacroix<sup>2</sup> et P. Savoie<sup>3</sup>

**Résumé,** A. Amyot<sup>1</sup>, P. Denoncourt<sup>2</sup>, B. Outtara<sup>2</sup>, M. Lacroix<sup>2</sup> et P. Savoie<sup>3</sup>. **Effet de deux bioenrobages sur la qualité de l'ensilage de fléole des prés (*Phleum pratense* L.) récoltée en mi-été.** *Agrosol*. 14 (1) : 29-46. Une expérience a été réalisée pour évaluer deux enrobages biodégradables, l'un à base de protéine de soya et l'autre à base de caséine, comme matériel de recouvrement pour protéger l'ensilage de fléole des prés (*Phleum pratense* L.) exposé à la pluie et au soleil, dans un environnement naturel. La fléole a été récoltée à 30 % de matière sèche (MS) et ensilée dans des seaux de 29,5 litres à une densité moyenne de 200 kg MS/m<sup>3</sup>. Nous avons comparé l'effet des deux bioenrobages, du plastique (0,15 mm) et de l'absence de couverture sur les caractéristiques de l'ensilage, après 4 et 8 semaines d'entreposage, dans trois segments du silo : surface (S) (0-13 cm), intermédiaire (I) (13-26 cm) et profond (P) (26-38 cm). Les deux bioenrobages ont assuré le même niveau de protection à l'ensilage de fléole durant les 8 semaines d'entreposage. Ils ont limité l'infiltration d'eau, la détérioration associée à l'infiltration d'air (chauffage, croissance des moisissures et perte de MS) et à la mauvaise fermentation (pH, acide acétique, azote ammoniacal et sucres solubles), de même que la baisse de valeur nutritive (PB, ADF-protéine et ADF) dans les 13 premiers cm par rapport à l'ensilage non couvert. L'ensilage protégé avec les bioenrobages a cependant présenté, pour plusieurs paramètres (MS, moisissure, perte de MS, PB, ADF, pH, acide lactique, acide acétique et sucres solubles), des signes de détérioration plus prononcés que l'ensilage sous plastique, dans la couche de surface. La fermentation de l'ensilage sous bioenrobage a été meilleure (acide acétique, azote ammoniacal et sucres solubles) que celle de l'ensilage non couvert dans la couche I (13-26 cm). Cependant les couvertures n'ont influencé que légèrement la qualité de l'ensilage dans la couche profonde (26-38 cm). À cette profondeur, les bioenrobages ont donné un ensilage de qualité comparable au plastique, globalement et peu différente de l'ensilage non couvert. Ces résultats démontrent l'efficacité restreinte des bioenrobages à maintenir une

bonne qualité d'ensilage à la grandeur du silo sur une période de huit semaines, dans les ensilages récoltés en été et entreposés dans des silos sans toit.

**Mots clés :** bioenrobage, polyéthylène, ensilage de fléole, fermentation, valeur nutritive.

**Abstract,** A. Amyot<sup>1</sup>, P. Denoncourt<sup>2</sup>, B. Outtara<sup>2</sup>, M. Lacroix<sup>2</sup> and P. Savoie<sup>3</sup>. **Effect of two biodegradable coatings on quality of timothy (*Phleum pratense* L.) silage harvested in mid-summer.** *Agrosol*. 14 (1): 29-46. An experiment was performed to assess two different biodegradable soy and casein-based coatings, as a covering material to protect timothy (*Phleum pratense* L.) silage under adverse conditions, in a natural rain and sun-exposed environment. Timothy was harvested at 30 % dry matter (DM) and ensiled in buckets of 29.5 liters at mean density of 200 kg DM/m<sup>3</sup>. Two biodegradable coatings, a plastic sheet (0.15 mm thick) and no covering were compared with regards to silage characteristics after a 4-week and an 8-week storage period, and at 3 depths: shallow (S) (0-13 cm), intermediate (I) (13-26 cm) and deep (D) (26-38 cm). The two biodegradable coatings offered the same level of protection to timothy silage during the 8-week storage period. They protected timothy silage against water infiltration, prevented deterioration associated with air infiltration (heating, mold growth and dry matter losses) and poor fermentation (pH, acetic acid, ammonia nitrogen and soluble sugars), and limited the decrease in nutritive value (crude protein, ADF-protein and ADF) in the uppermost 13 cm, much better than uncovered silage. Silage protected with biodegradable coatings presented however for many parameters (DM, mold growth, DM losses, crude protein, ADF, pH, lactic acid, acetic acid and soluble sugars) signs of deterioration that were greater than for the plastic covered silage, in the uppermost 13 cm. Fermentation of silage under biodegradable coatings was better (lactic acid, ammonia nitrogen and soluble sugars) than in uncovered silage in the intermediate layer (13-26 cm). However covering had little effect on quality of

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), 120-A Chemin du Roy, Deschambault (Québec), G0A 1S0, CANADA

\*Auteur pour la correspondance : téléphone : (418) 286-3351 poste 231, télécopieur : (418) 286-3597, courriel : andre.amyot@irda.qc.ca

2. Centre de recherche en microbiologie et biotechnologie, Centre d'irradiation du Canada, INRS-Institut Armand-Frappier, 531 boulevard des Prairies, Laval (Québec), H7V 1B7, CANADA

3. Agriculture et agroalimentaire Canada, 2560 boulevard Hochelaga, Sainte-Foy, (Québec), G1V 2J3, CANADA

silage in the undermost segment (26-38 cm). At this depth level, the quality of silage under biodegradable coatings was globally comparable to the silage under plastic and showed little difference from uncovered silage. These results show the limited efficiency of biodegradable coatings for keeping a good quality in the uppermost layer for an 8-week period, with summer harvested silages stored in silos without a roof.

**Keywords :** biodegradable coating, polyethylene, timothy silage, fermentation, nutritive value

## Introduction

Les silos horizontaux gagnent de la popularité parce qu'ils présentent des avantages économiques par rapport aux silos tours pour les fermes qui doivent entreposer de grandes quantités d'ensilage. Cependant, puisqu'ils ont une grande surface exposée à l'air, ces silos présentent un risque élevé de subir des pertes importantes de matière sèche, suite à une infiltration d'air si le scellage n'est pas adéquat. L'entrée d'air dans le silo pendant la période d'entreposage affecte de façon marquée non seulement la perte de matière sèche et les caractéristiques de la fermentation, mais aussi la valeur nutritive de l'ensilage et sa stabilité aérobie après l'ouverture du silo (Bolsen et al., 1993; Bolsen, 1997; Buckmaster et al., 1989; Ruppel et al., 1995). Le film de polyéthylène convient bien pour protéger l'ensilage et en empêcher la détérioration parce qu'il est relativement imperméable à l'infiltration d'air (McDonald et al., 1991), peu coûteux et flexible. Cependant, l'application du film de polyéthylène sur l'ensilage demande beaucoup de travail et la disposition du polyéthylène est devenue un problème environnemental. Selon Hunt et al. (1990), le plastique est un matériel inerte et non-biodégradable qui représente 30 % des déchets solides municipaux. Dans le but de réduire la quantité de déchets de ce polymère synthétique, un grand nombre de travaux de recher-

che ont porté sur la production, à partir de produits naturels, de films constitués de polymères biodégradables. L'utilisation d'un film comestible, qui fournirait une bonne protection contre l'infiltration d'air et pourrait être mêlé à l'ensilage lors de l'alimentation, constitue une alternative au film plastique. Un produit de Nutri-Shield Inc., qui est sous licence et approuvé par le FDA, est disponible en deux formulations, l'une à base de caséine (NSI) et l'autre à base de tourteau de soya (NSII). La formulation NSI a réduit de façon efficace l'absorption d'eau dans le foin de luzerne en cubes (Huhnke et Brusewitz, 1990). Par ailleurs, l'ensilage de maïs protégé avec le biofilm à base de soya (NSII) ne s'est pas mieux conservé que l'ensilage non protégé (Brusewitz et al., 1991). Une limitation majeure des films protéiques est leur faible efficacité en tant que barrière à la vapeur d'eau, qui peut être attribuée à la nature hydrophile des substances protéiques dont ils sont constitués (Krochta, 1992; McHugh et al., 1993). Différentes modifications des propriétés barrières peuvent être obtenues en induisant la formation de liens chimiques intermoléculaires et intramoléculaires par des moyens physiques et chimiques (Ghorpade et al., 1995; Gennedios et al., 1995; Yannas et Tobolsky, 1967). Les films SPI, qui ne contenaient pas de glycérol, un polyol, étaient cassants et inutilisables (Cunningham et al., 2000). Le glycérol a amélioré de façon significative la formation de liens dans les chaînes protéiques du lait, notamment les caséinates (Brault et al., 1997). Des polysaccharides acides, tels le « carboxyméthyl cellulose », forment des complexes électrostatiques avec la protéine (Imeson et al., 1977). Les interactions qui conduisent à la formation de liens covalents entre la protéine et le polysaccharide sont particulièrement désirables, parce que le complexe ainsi formé est plus stable à la chaleur et aux effets ioniques. Il y a aussi eu des recherches sur les enrobages à base d'amidon depuis plusieurs années. L'amidon est un polysaccharide très abondant, qui est très biodégradable et peu dispendieux. Un enrobage biodégradable à base d'amidon et de glycérol (20 %) récemment déve-

loppé, a eu à peu près les mêmes propriétés mécaniques que le polystyrène. Cependant, sa résistance à l'eau n'était pas suffisante pour qu'on puisse l'utiliser pour remplacer le plastique dans l'industrie de l'emballage alimentaire (Chen et al., 2002). Par ailleurs, Berger et al. (2002) ont essayé de développer un bioenrobage économiquement intéressant pour protéger l'ensilage. Ils ont utilisé un enrobage à base d'amidon et de sel recouvert d'une mince couche de paraffine fondue pour recouvrir l'ensilage de maïs. Ils rapportent une réduction de 92 % de la quantité d'ensilage non consommable à la surface du silo et une augmentation de 73 % de la quantité d'ensilage servi aux animaux, comparativement à l'ensilage non couvert. L'objectif de cette expérience est donc d'évaluer deux enrobages biodégradables, l'un à base de protéine de soya et l'autre à base de caséine, comme matériel de recouvrement pour protéger l'ensilage dans un environnement naturel comme c'est généralement le cas en silos horizontaux sans toit.

## Matériel et méthodes

### Préparation des bioenrobages

#### Réactifs

De l'isolat de protéine de soya (900 g de protéine/kg) a été acheté de Dupont Campbell Protein Technologies (St-Louis, MO, USA). Du caséinate de calcium (CAS) en poudre a été obtenu de New Zealand Milk product Inc. (Santa Rosa, CA, USA). Un sel de sodium de « carboxyméthyl cellulose » (CMC) de haute viscosité a été acheté de Sigma-Aldrich (Montréal, QC, Canada). Du glycérol (grade réactif 99,5 %) a été obtenu de American Chemicals Ltd (Montréal, QC, Canada). De la poudre de luzerne a été préparée dans nos laboratoires par séchage à l'étuve suivi de broyage avec un moulin (Braun KSM 2B modèle 4041).

## Bioenrobage A

**Enrobage de base** : la protéine de soya a d'abord été ajoutée à l'eau au taux de 50 g/kg et chauffée à 45°C pendant 10 minutes. Le glycérol, la poudre d'ensilage et le CMC ont ensuite été ajoutés à la protéine liée aux taux de 25, 10 et 2,5 g/kg respectivement.

**Revêtement protecteur** : la même formule à base de protéine de soya a été chauffée à 90°C pendant 30 minutes et appliquée directement sur le revêtement de base.

## Bioenrobage B

**Enrobage de base** : la caséinate a d'abord été ajoutée à l'eau au taux de 50 g/kg et chauffée à 45°C pendant 10 minutes. Le glycérol, la poudre d'ensilage et le CMC ont ensuite été ajoutés à la protéine liée aux taux de 25, 10 et 2,5 g/kg respectivement.

**Revêtement protecteur** : la même formule à base de caséinate a été chauffée à 90°C pendant 30 minutes et appliquée directement sur le revêtement de base.

## Récolte du fourrage et préparation des silos expérimentaux

De la fléole des prés (*Pbleum pratense* L., cultivar Champ) cultivée sur la ferme du Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD) a été récoltée le 19 juillet 2001 (répétitions 1 et 2) et le 20 juillet 2001 (répétitions 3 et 4) à environ 30 % de matière sèche. La récolte a été effectuée avec une fourragère conventionnelle réglée pour donner une longueur théorique de hachage de 6 à 12 mm. La composition chimique de la fléole au moment de la mise en silo est présentée au tableau 1. Vingt kg de fourrage ont été compressés dans des seaux de 29,5 litres (31,4 cm de diamètre moyen et 38 cm de profondeur) à une densité moyenne 200 kg MS/m<sup>3</sup>. Chaque silo a été rempli en trois couches successives, soit 0-13 cm (S), 13-26 cm (I) et 26-38 cm (P), séparées par des moustiquaires de plastique pour faciliter la séparation des couches après la période de conservation. La

**Tableau 1. Composition chimique de la fléole au moment de la mise en silo.**

Critère	Valeur
Matière sèche (%)	29,74
Sucres solubles (%)	8,12
Protéine brute (%)	18,79
Protéine liée à la fibre (%)	1,46
Fibre par détergent acide (%)	33,40
Fibre par détergent neutre (%)	65,54
Cendres (%)	8,01

couche de surface (0-13 cm) a été couverte avec l'un des traitements suivants : 1- Non couvert; 2- Film de polyéthylène de couleur noire de 0,15 mm d'épaisseur (plastique); 3- Bioenrobage A et 4- Bioenrobage B. Deux couches de bioenrobage ont été appliquées sur les ensilages des traitements 3 et 4. Pour ces deux traitements, 1,10 kg et 0,25 kg des enrobages de base et des revêtements protecteurs respectifs ont été appliqués sur chaque silo de 0,096 m<sup>2</sup> pour un taux combiné d'application de 14 kg/m<sup>2</sup>. Les silos ont été entreposés à l'extérieur sans protection supplémentaire de façon à simuler les conditions rencontrées dans des silos sans toit. La moitié des silos ont été ouverts et vidés après quatre semaines et l'autre moitié après huit semaines. Ainsi, un total de 32 silos expérimentaux ont été fabriqués (4 traitements X 4 répétitions X 2 durées d'entreposage).

## Suivi de température de l'ensilage et données météorologiques

Lors du remplissage des silos, des fils thermocouples ont été insérés dans la moitié des silos (les silos entreposés pendant huit semaines), au centre de chaque couche d'ensilage, c'est-à-dire à 6, 19 et 32 cm de la surface et les températures ont été enregistrées en continu aux 10 minutes avec moyennes aux 4 heures pendant toute la durée d'entreposage. Ces données ont permis de déterminer la température moyenne journalière et la température moyenne journalière maximale pour chaque couche d'ensilage. De plus, le degré de chauffage de l'ensilage dû à la fermentation et à l'introduction d'air a été caractérisé en

faisant la somme des écarts journaliers de température par rapport à la température ambiante pendant toute la durée d'entreposage. Finalement les données de température et de précipitations enregistrées à la station météorologique, située sur la ferme du CRSAD, pendant les 8 semaines qu'a duré l'expérience ont été compilées sur une base hebdomadaire (tableau 2).

## Prélèvement d'échantillons et analyse de l'ensilage

Des échantillons d'ensilage ont été prélevés dans chaque silo et dans chaque couche, lors du remplissage et après la période d'entreposage. Une partie de l'échantillon d'ensilage a été séché au four à 60°C jusqu'à ce que le poids se stabilise pour déterminer la matière sèche. Ces échantillons ont été broyés à 1 mm et conservés pour analyse ultérieure. La seconde partie de l'échantillon d'ensilage a été congelé jusqu'au moment des analyses. Les paramètres de la fermentation ont été analysés sur les échantillons congelés alors que les para-

**Tableau 2. Températures moyennes et précipitations hebdomadaires enregistrées à Deschambault du 22 juillet au 15 septembre 2001.**

Dates	Températures moyennes (°C) (1)	Précipitations (mm) (2)
Semaine 1 : 22 juillet - 28 juillet	19,3	40,8
Semaine 2 : 29 juillet - 4 août	21,6	0,00
Semaine 3 : 5 août - 11 août	22,3	14,0
Semaine 4 : 12 août - 18 août	20,0	16,8
<b>Valeurs pour les semaines 1 à 4</b>	<b>20,8</b>	<b>71,6</b>
Semaine 5 : 19 août - 25 août	17,9	15,6
Semaine 6 : 26 août - 1 <sup>er</sup> septembre	16,2	41,6
Semaine 7 : 2 septembre - 8 septembre	15,7	12,0
Semaine 8 : 9 septembre - 15 septembre	15,7	11,6
<b>Valeurs pour les semaines 5 à 8</b>	<b>16,4</b>	<b>80,8</b>
<b>Valeurs pour les 8 semaines</b>	<b>18,6</b>	<b>152,4</b>

(1) Température moyenne journalière : 2 jours > 25°C, 23 jours entre 20°C et 25°C, 18 jours entre 15°C et 20°C et 13 jours < 15°C

(2) Précipitations importantes : un orage le 22 juillet (21,0 mm), 2 orages le 24 juillet (10,8 et 9,0 mm), un orage le 17 août (10,4 mm), un orage le 20 août (8,8 mm) et pluie le 26 août (27,0 mm en 10 h)

mètres de la valeur nutritive l'ont été sur les échantillons séchés.

Le développement des moisissures, la teneur en MS, la perte de MS et le pH ont été déterminés après 4 et 8 semaines. Les hydrates de carbone solubles (HCS), les acides organiques (lactique, acétique, propionique et butyrique), l'azote ammoniacal (N-NH<sub>3</sub>), la protéine brute (PB), la fibre par détergent acide (ADF), la fibre par détergent neutre (NDF), la protéine liée (ADF-protéine) et les cendres totales ont été déterminés après 8 semaines d'entreposage.

Le développement des moisissures a été évalué visuellement selon une échelle de 0 à 5 (0 = aucune moisissure détectable, 5 = mycélium très dense). La perte de MS a été déterminée en pesant le fourrage de chaque couche lors de la mise en silo et après 4 ou 8 semaines d'entreposage et en déterminant la teneur en MS. Le pH a été déterminé sur 10-15 g d'ensilage placé dans 20-30 ml d'eau distillée pendant 20 minutes, en insérant l'électrode dans le mélange (Fisher Scientific Accumet 925). Les hydrates de carbone solubles (HCS), les acides organiques et l'azote ammoniacal (N-NH<sub>3</sub>) ont été dosés après avoir réalisé une extraction avec de l'acide sulfurique 0,2 N (Smith et al., 1964). Les hydrates de carbone solubles et les acides organiques ont été séparés et quantifiés à l'aide d'un système de chromatographie liquide à haute performance (HPLC) Waters 600E (Waters corporation, Massachusetts, USA), équipé d'une colonne de séparation de marque AMINEX HPX-87H (7,8 mm DI X 30 cm) (Bio-Rad laboratories, California, USA). La phase mobile était constituée d'acide sulfurique 0,0025 N avec un débit de 0,4 ml/min et une température de 40°C. La détection des acides organiques et des sucres solubles a été faite avec un détecteur à indice de réfraction (Waters 410) selon la méthode du CRSAD (communication personnelle). Le dosage de N-NH<sub>3</sub> a été réalisé par colorimétrie (CPAQ, 1982) avec un spectrophotomètre de marque Milton Roy (modèle 1201).

Le dosage des PB (N x 6,25) a été réalisé selon la méthode Kjeldahl (A.O.A.C.,

978.02 et 954.01, 1990) avec un appareil Teccator (modèle Kjeltex Auto 1030 Analyser) après minéralisation de l'échantillon d'ensilage (digestion system 20, 1015 Digestor). Les teneurs en fibres par détergent acide (ADF) (A.O.A.C., 973.18, 1990) et en fibres par détergent neutre (NDF) (CPAQ, 1982) ont été déterminées selon la méthode de Van Soest sur un appareil Teccator (Fibertec System 1010 Extractor). La protéine liée (ADF-protéine) a été déterminée en mesurant le résidu azoté selon la méthode Kjeldahl après avoir traité l'échantillon selon la méthode de Van Soest pour l'ADF (A.O.A.C., 1990). Les cendres totales ont été déterminées par incinération à 600°C pendant 2 heures (CPAQ, 1982).

### Analyse statistique

Toutes les données ont été analysées avec la procédure GLM de SAS (SAS, Cary, North Carolina, USA). Les paramètres étudiés à la fois après 4 semaines et 8 semaines d'entreposage ont d'abord été analysés selon un dispositif en tiroirs, avec les 4 couvertures et les 2 durées d'entreposage en parcelles principales et les 3 profondeurs en parcelles secondaires. Puisque cette analyse a révélé des interactions significatives « couverture x durée x profondeur », chaque durée d'entreposage a été analysée séparément. Ainsi ces paramètres, tout comme ceux étudiés seulement après 8 semaines, ont été analysés selon un dispositif en tiroirs avec les 4 couvertures en parcelles principales et les 3 profondeurs en parcelles secondaires, selon le modèle suivant :

Source de variation	Degrés de liberté
4 couvertures	3
4 blocs	3
Erreur A	9
3 profondeurs	2
Couvertures x profondeurs	6
Erreur B	24
<b>Total</b>	<b>47</b>

La méthode des contrastes orthogonaux a été utilisée pour séparer l'effet des différents traitements. Les contrastes ont été définis *a priori*. Les comparaisons pour les couvertures ont été : 1- Bioenrobages vs ensilage non couvert, 2- Bioen-

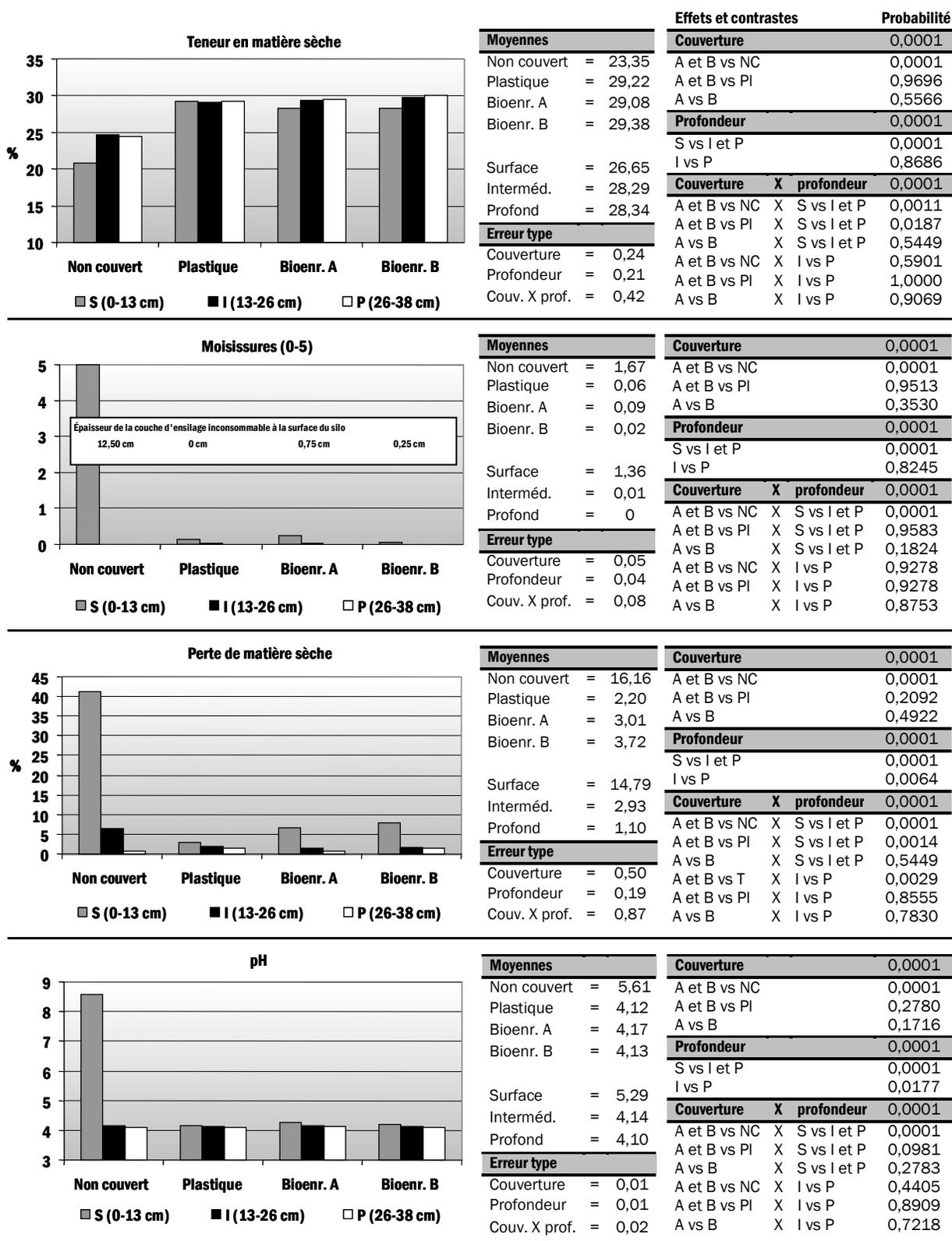
robages vs plastique, 3- Bioenrobage A vs bioenrobage B. Pour les profondeurs, les comparaisons ont été : 1- Couche de surface vs couche intermédiaire et couche profonde, 2- Couche intermédiaire vs couche profonde. Les combinaisons de ces contrastes ont aussi été utilisées pour apporter des précisions au niveau de l'interaction couverture par profondeur.

## Résultats

### Après 4 semaines d'entreposage

L'ensilage recouvert de plastique a présenté une teneur en matière sèche uniforme à toutes les profondeurs (29,30, 29,10 et 29,25 % pour S, I et P). Aussi, la perte de matière sèche a été faible (3,09, 1,94 et 1,56 % pour S, I et P) et pratiquement aucune moisissure n'a été détectée dans chaque couche. Finalement le pH s'est abaissé à environ 4,1 à toutes les profondeurs. Cette couverture a permis l'obtention de conditions anaérobies essentielles à une bonne fermentation (figure 1).

Quant à l'ensilage non couvert, on y a observé une diminution de la teneur en matière sèche à un niveau compris entre 20 et 25 % selon la profondeur (20,80, 24,75 et 24,50 % pour S, I et P), conséquence de l'infiltration d'eau, et un développement abondant des moisissures dans la couche S (5) mais nul dans les couches I et P, indice que l'infiltration d'air a été abondante dans les 13 premiers cm. L'altération de la couche S (0-13 cm) s'est reflétée aussi par un pH (8,56) et par une perte de matière sèche (41,31 %) très élevés. Dans les couches I et P, le pH obtenu (4,16 et 4,10) et l'absence de moisissure témoignent d'une bonne fermentation. Cependant, la perte de matière sèche observée dans la couche I, comparativement à la couche P (6,40 % vs 0,78 %), est un indice que l'infiltration d'air l'a probablement affectée (figure 1).



Couvertures : NC = non couvert, PI = plastique, A = bioenrobage A, B = bioenrobage B

Profondeurs : S= couche de surface, I = couche intermédiaire, P = couche profonde

Figure 1. Effet du type de couverture et de la profondeur dans le silo sur les caractéristiques de l'ensilage de fléole après 4 semaines d'entreposage.

Le bioenrobage A et le bioenrobage B se sont comportés exactement de la même façon pour chacun des paramètres analysés après 4 semaines. En fait, contrairement au plastique, les bioenrobages ont donné un ensilage avec une teneur en matière sèche un peu plus faible dans la couche S que dans les couches plus profondes (28,25, 29,45 et 29,55 % dans S, I et P pour le bioenrobage A et 28,25, 29,85 et 30,05 % pour le bioenrobage B). Cela semble indiquer qu'il y a eu une certaine infiltration d'eau pendant les quatre premières semaines d'entreposage. Les bioenrobages se différencient aussi du plastique par le fait qu'ils ont subi une perte de matière sèche plus élevée dans la couche S que dans les couches I et P (6,77, 1,57 et 0,68 % dans S, I et P pour le bioenrobage A et 7,98, 1,79 et 1,38 % pour le bioenrobage B), ce qui semble indiquer qu'il y a eu une certaine infiltration d'air pendant les quatre premières semaines d'entreposage. Les bioenrobages ont par contre donné un ensilage pratiquement exempt de moisissure tout comme celui sous plastique et qui a aussi bien fermenté en surface que ce dernier, tel qu'indiqué par un pH bas dans toutes les couches. De plus, la diminution de la teneur en matière sèche et l'augmentation de la perte de matière sèche observées dans la couche S, comparativement aux couches plus profondes, n'ont été aucunement comparables à celles observées dans l'ensilage non couvert. Finalement, les ensilages sous bioenrobage n'ont pas subi plus de perte de matière sèche dans la couche I que dans la couche P, comme ce fut le cas dans l'ensilage non couvert (figure 1).

### Après 8 semaines d'entreposage

#### Caractéristiques générales

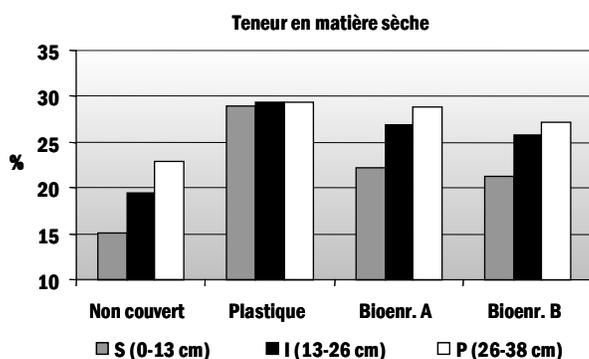
Après 8 semaines d'entreposage à l'extérieur, l'ensilage de fléole recouvert de plastique a présenté une teneur en matière sèche (29,20 en moyenne) uniforme à toutes les profondeurs et il était pratiquement exempt de moisissures (0,22 en moyenne). La perte de matière

sèche (3,90 % en moyenne) a été faible à toutes les profondeurs mais le chauffage (112,49°C en moyenne), évalué en faisant la somme des écarts journaliers de température par rapport à la température ambiante, a été plus prononcé en surface qu'en profondeur (223,96, 97,63 et 15,87°C dans S, I et P) (figure 2).

Quant à l'ensilage laissé à découvert, sa teneur en matière sèche a été faible dans toutes les couches (19,17 % en moyenne) et plus faible en surface qu'en profondeur (15,15, 19,45 et 22,90 % dans S, I et P). De plus, le développement des moisissures (5, 0,5 et 0 dans S, I et P), le chauffage (290,22, 83,04 et 19,35°C dans S, I et P) et la perte de matière sèche (57,27, 14,75 et 0,65 % dans S, I et P) ont été beaucoup plus prononcés dans la couche S et légèrement plus prononcés dans la couche I qu'en profondeur. Cela indique que l'infiltration d'eau a affecté l'ensemble du silo alors que l'infiltration d'air a affecté principalement la couche S (0-13 cm) mais aussi la couche I (13 à 26 cm) (figure 2).

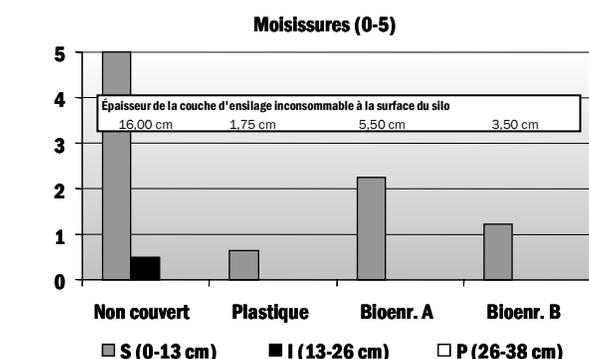
Le bioenrobage A et le bioenrobage B se sont comportés de la même façon au niveau de la teneur en MS, du chauffage et de la perte de MS, mais on a noté un développement des moisissures un peu plus important dans la couche de surface avec le bioenrobage A qu'avec le bioenrobage B (2,25 vs 1,23). En fait, les ensilages protégés avec les bioenrobages ont présenté, pour l'ensemble du silo, une teneur en matière sèche (25,95 et 24,75 % en moyenne) plus faible que l'ensilage sous plastique (29,20 % en moyenne), mais plus élevée que l'ensilage non couvert (19,17 % en moyenne). De même, les valeurs étaient plus faibles dans la couche S que dans les couches plus profondes, tout comme dans l'ensilage non couvert et contrairement à l'ensilage sous plastique. Cela semble la conséquence d'une infiltration d'eau non négligeable, mais moins importante que dans l'ensilage non couvert. De plus, la perte de matière sèche (10,09 et 9,65 % en moyenne pour le bioenrobage A et le bioenrobage B) a été supérieure à celle observée dans l'ensilage sous plastique

(3,90 % en moyenne) mais beaucoup plus faible que dans l'ensilage non couvert (24,22 % en moyenne). Elle a été plus élevée dans la couche S que dans les couches plus profondes, contrairement à l'ensilage sous plastique, mais de façon moins marquée que dans l'ensilage non couvert et elle n'a pas été significativement plus élevée dans la couche I que dans la couche P, comme ce fut le cas dans l'ensilage non couvert. Cela indique que l'étanchéité à l'air n'a pas été maintenue pendant toute la durée d'entreposage. L'ensilage sous bioenrobage a présenté une température maximale (33°C pour le bioenrobage A et 31°C pour le bioenrobage B) comparable à celle de l'ensilage sous plastique (31°C) mais plus faible que celle de l'ensilage non couvert (40°C) dans la couche de surface. Le chauffage (somme des écarts journaliers de température par rapport à la température ambiante) (55,33°C et 47,72°C en moyenne pour le bioenrobage A et le bioenrobage B) a été plus faible que dans l'ensilage sous plastique (112,49°C en moyenne) et que dans l'ensilage non couvert (130,87°C en moyenne). La différence de chauffage entre les couches S et I et les couches respectivement plus profondes a été moins grande que dans l'ensilage sous plastique et l'ensilage non couvert. Cet ensilage a également présenté un peu plus de moisissures dans la couche S (2,25 et 1,23 pour le bioenrobage A et le bioenrobage B) que l'ensilage sous plastique (0,65) mais beaucoup moins que l'ensilage non couvert (5). Cela montre que les bioenrobages ont assuré une certaine protection à l'ensilage contre l'infiltration d'air mais à un degré moindre que le plastique. En effet, on a observé dans l'ensilage sous bioenrobage, pour chacun de ces paramètres, une variation non négligeable en fonction de la profondeur et généralement plus importante (sauf pour le chauffage) que celle observée dans l'ensilage sous plastique mais beaucoup plus faible que dans l'ensilage non couvert. Cela indique que, contrairement à l'ensilage sous plastique, il y a eu plus de détérioration en surface qu'en profondeur dans l'ensilage sous bioenrobage, mais à un degré moindre que dans l'ensilage non couvert (figure 2).



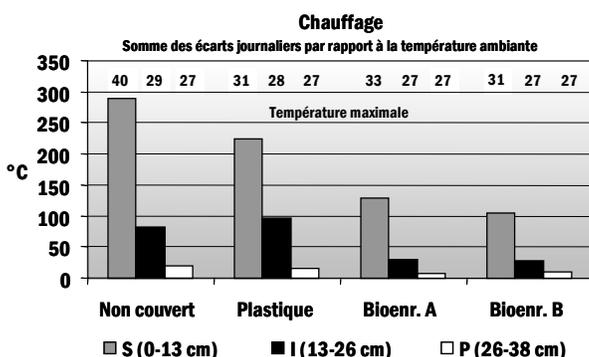
Moyennes	
Non couvert	= 19,17
Plastique	= 29,20
Bioenr. A	= 25,95
Bioenr. B	= 24,75
Surface = 21,86	
Interméd. = 25,39	
Profond = 27,05	
Erreur type	
Couverture	= 0,33
Profondeur	= 0,29
Couv. X prof.	= 0,57

Effets et contrastes		Probabilité
<b>Couverture</b>		<b>0,0001</b>
A et B vs NC		0,0001
A et B vs PI		0,0018
A vs B		0,2704
<b>Profondeur</b>		<b>0,0001</b>
S vs I et P		0,0001
I vs P		0,0004
<b>Couverture X profondeur</b>		<b>0,0001</b>
A et B vs NC X S vs I et P		0,5281
A et B vs PI X S vs I et P		0,0001
A vs B X S vs I et P		0,7649
A et B vs NC X I vs P		0,0745
A et B vs PI X I vs P		0,1199
A vs B X I vs P		0,6664



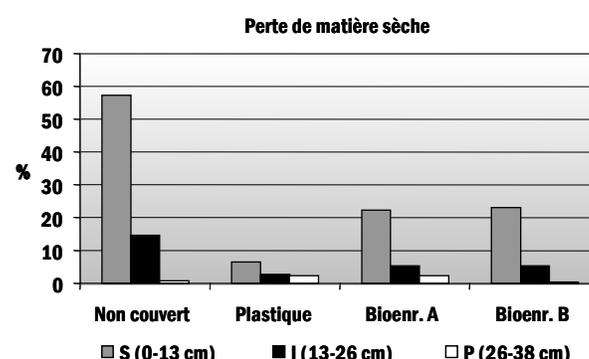
Moyennes	
Non couvert	= 1,83
Plastique	= 0,22
Bioenr. A	= 0,75
Bioenr. B	= 0,41
Surface = 2,28	
Interméd. = 0,13	
Profond = 0,00	
Erreur type	
Couverture	= 0,15
Profondeur	= 0,13
Couv. X prof.	= 0,26

Effets et contrastes		Probabilité
<b>Couverture</b>		<b>0,0004</b>
A et B vs NC		0,0002
A et B vs PI		0,1184
A vs B		0,1924
<b>Profondeur</b>		<b>0,0001</b>
S vs I et P		0,0001
I vs P		0,5029
<b>Couverture X profondeur</b>		<b>0,0001</b>
A et B vs NC X S vs I et P		0,0001
A et B vs PI X S vs I et P		0,0102
A vs B X S vs I et P		0,0320
A et B vs NC X I vs P		0,2777
A et B vs PI X I vs P		0,1000
A vs B X I vs P		0,1000



Moyennes	
Non couvert	= 130,87
Plastique	= 112,49
Bioenr. A	= 55,33
Bioenr. B	= 47,72
Surface = 186,90	
Interméd. = 59,67	
Profond = 13,23	
Erreur type	
Couverture	= 6,60
Profondeur	= 5,71
Couv. X prof.	= 11,43

Effets et contrastes		Probabilité
<b>Couverture</b>		<b>0,0031</b>
A et B vs NC		0,0008
A et B vs PI		0,0041
A vs B		0,6892
<b>Profondeur</b>		<b>0,0001</b>
S vs I et P		0,0001
I vs P		0,0001
<b>Couverture X profondeur</b>		<b>0,0001</b>
A et B vs NC X S vs I et P		0,0001
A et B vs PI X S vs I et P		0,0005
A vs B X S vs I et P		0,2213
A et B vs NC X I vs P		0,0376
A et B vs PI X I vs P		0,0047
A vs B X I vs P		0,8517



Moyennes	
Non couvert	= 24,22
Plastique	= 3,90
Bioenr. A	= 10,09
Bioenr. B	= 9,65
Surface = 27,33	
Interméd. = 7,12	
Profond = 1,45	
Erreur type	
Couverture	= 1,26
Profondeur	= 1,09
Couv. X prof.	= 2,18

Effets et contrastes		Probabilité
<b>Couverture</b>		<b>0,0001</b>
A et B vs NC		0,0001
A et B vs PI		0,0213
A vs B		0,8634
<b>Profondeur</b>		<b>0,0001</b>
S vs I et P		0,0001
I vs P		0,0012
<b>Couverture X profondeur</b>		<b>0,0001</b>
A et B vs NC X S vs I et P		0,0001
A et B vs PI X S vs I et P		0,0001
A vs B X S vs I et P		0,6889
A et B vs NC X I vs P		0,0131
A et B vs PI X I vs P		0,3764
A vs B X I vs P		0,6517

Couvertures : NC = non couvert, PI = plastique, A = bioenrobage A, B = bioenrobage B  
 Profondeurs : S = couche de surface, I = couche intermédiaire, P = couche profonde

Figure 2. Effet du type de couverture et de la profondeur dans le silo sur les caractéristiques générales de l'ensilage de fléole après 8 semaines d'entreposage.

L'observation de pertes de MS plus élevées sous bioenrobage que sous plastique dans la couche de surface, malgré un chauffage moins prononcé, mérite une explication. Ce résultat peut être dû au fait que le plastique noir est un bon conducteur (il réfléchit moins les rayons solaires que le plastique blanc) alors que les bioenrobages (0,5 à 1,0 cm d'épaisseur) peuvent avoir eu un effet isolant. Il peut aussi être dû au fait que le plastique a assuré une bonne étanchéité à l'air pendant les 8 semaines alors que celle-ci a été perdue après une certaine durée d'entreposage dans le cas des bioenrobages, comme en témoigne le développement des moisissures. Cette hypothèse est supportée par le fait que, dans la couche de surface, l'ensilage sous plastique a atteint sa température maximale (31°C) après 20 jours d'entreposage et il a présenté une température moyenne journalière plus élevée que l'ensilage sous bioenrobage pendant les 6 premières semaines d'entreposage. L'ensilage sous bioenrobage a atteint sa température maximale (33 et 31°C) après 50 jours d'entreposage et a présenté une température moyenne journalière plus élevée que l'ensilage sous plastique pendant les 2 dernières semaines d'entreposage. Ainsi, les températures plus élevées observées sous plastique pendant les premières semaines auraient servi à activer la fermentation alors que les températures plus élevées observées sous bioenrobage pendant les dernières semaines seraient probablement la conséquence de l'activité des organismes aérobies responsables de la détérioration de l'ensilage et de l'accroissement des pertes de MS.

Finalement, la teneur en cendres de l'ensilage sous bioenrobage n'a pas été significativement différente de celle de l'ensilage sous plastique et n'a pas augmenté autant dans la couche S que dans l'ensilage non couvert (non illustré). Les variations de la teneur en cendres ne reflètent pas bien les pertes de matière sèche observées dans les différentes couches. Ce résultat peut être dû au lessivage de certains éléments minéraux qui se sont retrouvés au fond des seaux, même collés à la paroi, et n'ont donc pas

été récupérés lors du prélèvement des échantillons d'ensilage.

### Fermentation

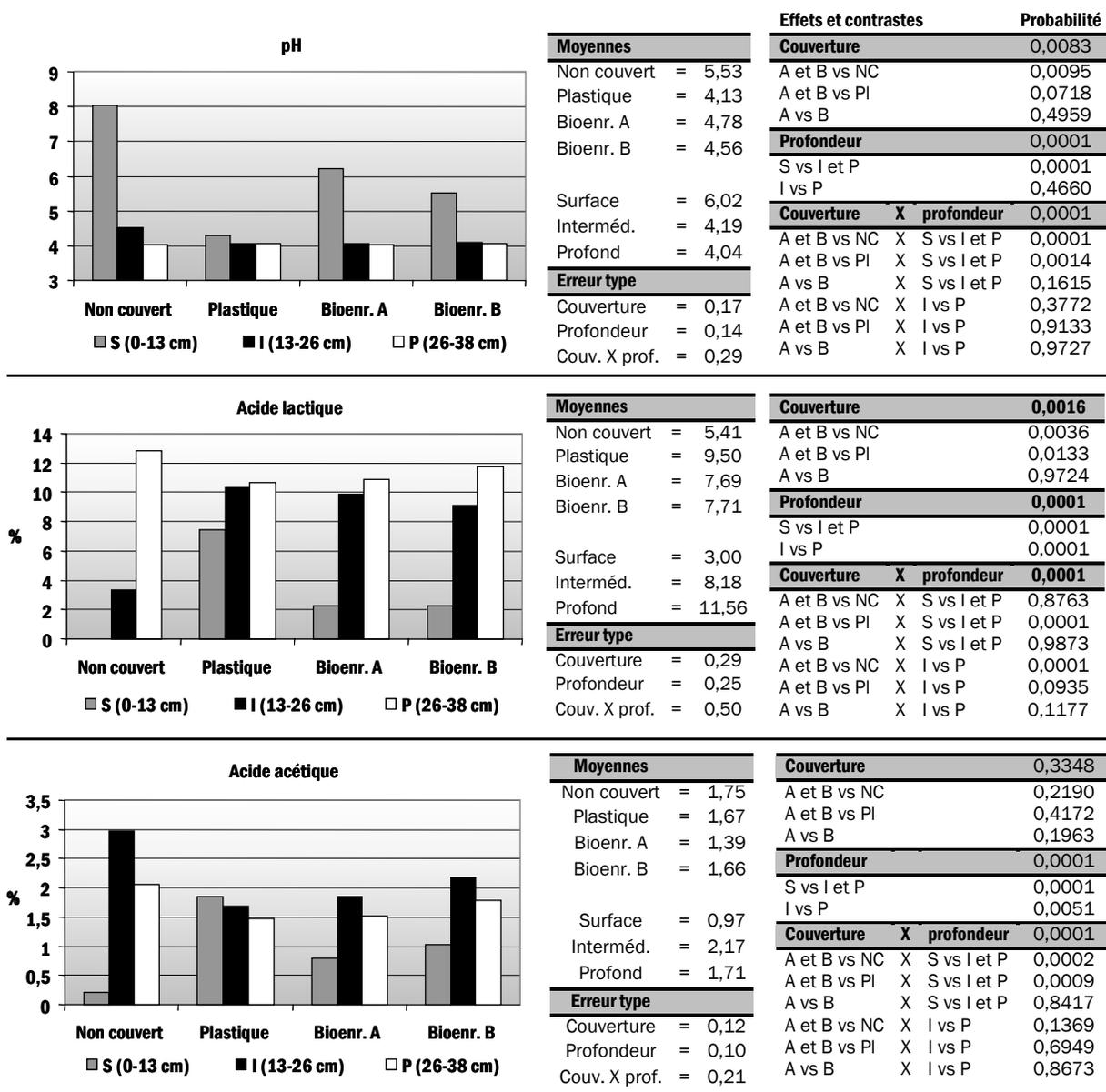
Après 8 semaines d'entreposage à l'extérieur, l'ensilage de fléole recouvert de plastique (29,20 % MS en moyenne) a présenté une qualité de fermentation assez homogène à toutes les profondeurs. Son pH (4,13 en moyenne) indique qu'il a subi une fermentation complète. Ses teneurs en acide lactique (9,50 % en moyenne) et en acide acétique (1,67 % en moyenne) sont caractéristiques d'une fermentation homolactique poussée. Son contenu en azote ammoniacal (1,08 % éq. PB en moyenne) indique que la dégradation de la protéine a été limitée (5,8 % de la PB) quelle que soit la profondeur. Sa teneur en sucres résiduels (1,50 % en moyenne) a également été assez homogène à toutes les profondeurs. Cependant, la teneur un peu plus faible en acide lactique et plus élevée en acide propionique dans la couche S que dans les couches plus profondes est un indice que la fermentation a été légèrement moins efficace en surface (figures 3 et 4).

Quant à l'ensilage laissé à découvert, on y a observé une qualité de fermentation très différente selon la profondeur. La couche P (26-38 cm) a présenté un pH acide (4,02) et une teneur élevée en acide lactique (12,86 %) qui indiquent que cet ensilage (22,90 % MS) a subi une fermentation complète. Les teneurs en acide acétique (2,07 %), en azote ammoniacal (1,19 % éq. PB) et en sucres solubles (1,04 %) sont aussi caractéristiques d'une fermentation poussée. La couche I (13-26 cm) a présenté un pH un peu plus élevé (4,52) que la couche P suite à une plus faible teneur en acide lactique (3,34 %) et une teneur plus élevée en azote ammoniacal (1,89 % éq. PB). La production accrue d'acide acétique (2,97 %) et l'épuisement complet des sucres sont aussi des conséquences de l'infiltration d'air jusqu'à ce niveau. Cependant c'est seulement dans la couche S (0 à 13 cm) qu'on a observé une forte altération et une réduction importante de la fermenta-

tion. En effet, le pH alcalin (8,06), la très faible teneur en acide lactique (0,03 %) et en acide acétique (0,21 %), le contenu en azote ammoniacal relativement élevé (2,86 % éq. PB) et l'épuisement complet des sucres solubles semblent la conséquence de la respiration intense et de la croissance abondante des moisissures dans cette partie du silo. La teneur plus élevée en acide propionique dans les couches S (0,17 %) et I (0,15 %) que dans la couche P (0,08 %) est un autre signe de dégradation de ces couches (figures 3 et 4).

Ainsi, la fermentation de l'ensilage non couvert a été dominée par des facteurs différents dans chaque couche. Dans la couche P, la plus faible teneur en matière sèche, résultant de l'infiltration d'eau, a été le facteur prépondérant puisqu'il n'y a pas de signe que l'air se soit infiltré jusqu'à ce niveau. Il en a résulté une fermentation poussée. Dans la couche I, une infiltration d'air limitée a favorisé une fermentation acétique et a entraîné l'épuisement des sucres, mais pas de détérioration prononcée de l'ensilage. Dans la couche S, l'exposition prolongée à l'air a annulé l'effet d'une teneur en matière sèche plus faible puisque la respiration intense et le développement des moisissures ont conduit à l'épuisement des sucres. Il en a résulté une fermentation très limitée ou la dégradation presque complète des acides produits et une plus grande dégradation de la protéine en azote ammoniacal.

Le bioenrobage A et le bioenrobage B se sont comportés exactement de la même façon pour chacun des paramètres de la fermentation analysés. En fait les bioenrobages ont donné, pour l'ensemble du silo, un ensilage avec une teneur en acide lactique plus faible que l'ensilage sous plastique, mais les différences observées au niveau du pH et des autres paramètres étudiés n'ont pas été significatives. De plus, contrairement à l'ensilage sous plastique, les ensilages protégés avec les bioenrobages ont présenté un contenu beaucoup plus faible en acide lactique, en acide acétique et en sucres solubles et un pH beaucoup plus élevé dans la couche S (0-13 cm) que



Couvertures : NC = non couvert, PI = plastique, A = bioenrobage A, B = bioenrobage B  
 Profondeurs : S = couche de surface, I = couche intermédiaire, P = couche profonde

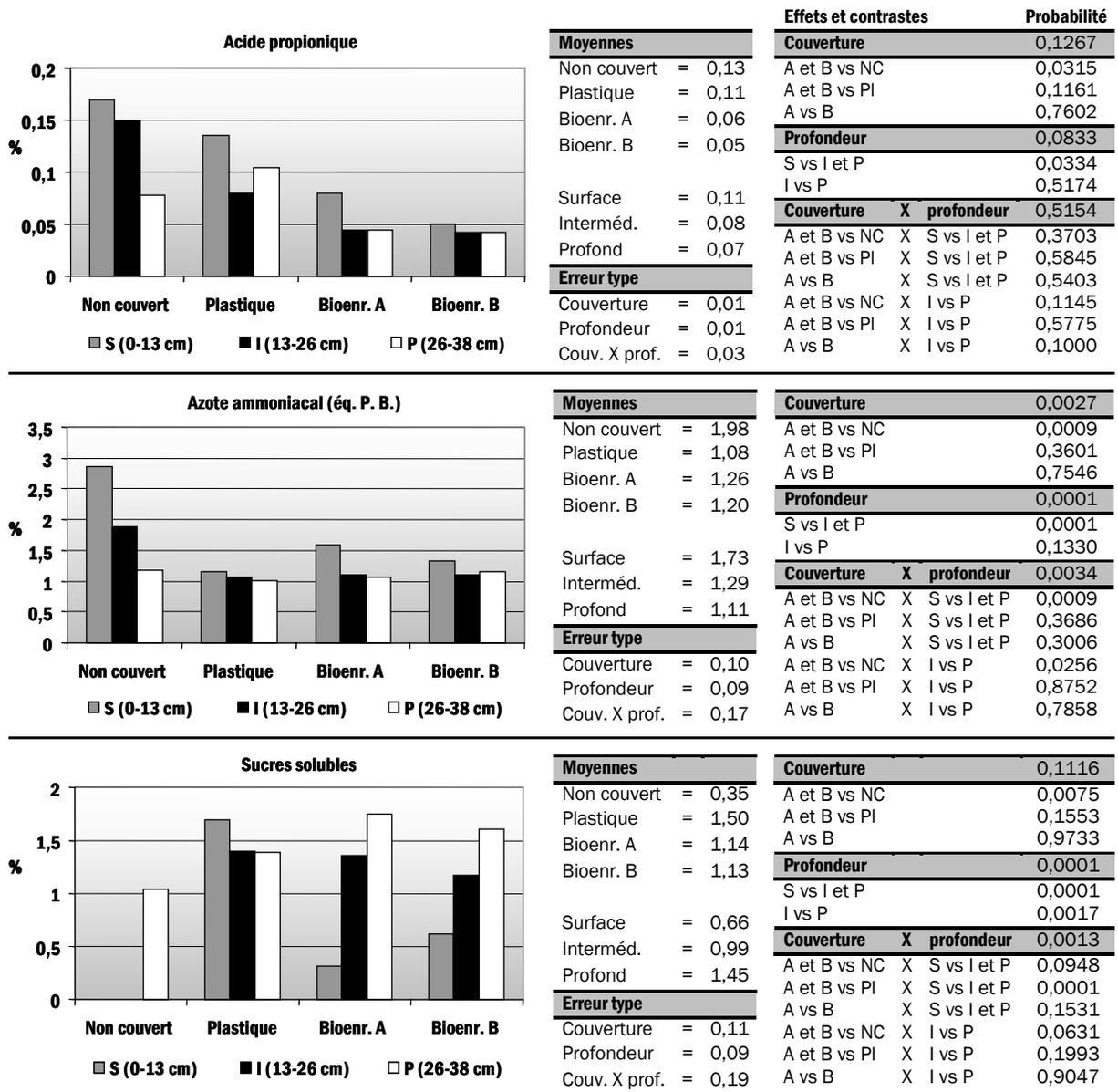
**Figure 3. Effet du type de couverture et de la profondeur dans le silo sur le pH et les teneurs en acide lactique et en acide acétique de l'ensilage de fléole après 8 semaines d'entreposage.**

dans les couches I et P (13-38 cm). Par contre, la variation de la teneur en acide propionique et en azote ammoniacal entre les couches n'a pas été différente de celle observée dans l'ensilage sous plastique (figures 3 et 4).

Les bioenrobages A et B ont aussi donné, pour l'ensemble du silo, un ensilage avec des teneurs en acide lactique et en su-

crés solubles plus élevées que l'ensilage non couvert, mais un pH et des teneurs en acide propionique et en azote ammoniacal plus faibles que ce dernier. L'infiltration d'air a eu un effet significatif sur la fermentation de l'ensilage dans les deux cas, mais de façon beaucoup moins prononcée dans l'ensilage sous bioenrobage que dans l'ensilage non couvert, tel qu'indiqué par le fait que :

- 1- le pH a été plus élevé dans la couche S que dans les couches plus profondes dans les deux cas, mais de façon beaucoup moins prononcée dans l'ensilage sous bioenrobage que dans l'ensilage non couvert. Cela indique que la détérioration de la couche S a été moins prononcée (figure 3);



Couvertures : NC = non couvert, PI = plastique, A = bioenrobage A, B = bioenrobage B  
 Profondeurs : S = couche de surface, I = couche intermédiaire, P = couche profonde

**Figure 4. Effet du type de couverture et de la profondeur dans le silo sur les teneurs en acide propionique, en azote ammoniacal et en sucres solubles de l'ensilage de fléole après 8 semaines d'entreposage.**

2- la teneur en acide acétique a été plus faible dans la couche S que dans les couches plus profondes dans les deux cas, mais l'écart entre la couche S et les couches plus profondes a été moins prononcé dans l'ensilage sous bioenrobage que dans l'ensilage non couvert (figure 3). Cela semble dû à l'effet combiné d'une moindre dégradation de cet acide dans la couche S

de l'ensilage sous bioenrobage d'une part, et d'une plus grande production dans la couche I de l'ensilage non couvert d'autre part, conséquence d'une teneur en matière sèche plus faible et/ou d'une certaine infiltration d'air jusqu'à ce niveau;  
 3- la teneur en acide lactique a été plus faible dans la couche S que dans les

couches plus profondes dans les deux cas, mais dans l'ensilage sous bioenrobage, elle n'a pas vraiment été plus faible dans la couche I que dans la couche P, comme ce fut le cas dans l'ensilage non couvert (figure 3). Cela indique que la dégradation aérobie a affecté de façon marquée non seulement la couche S mais aussi la couche I dans l'ensi-

lage non couvert, alors que ce fut le cas seulement dans la couche S sous bioenrobage;

- 4- la teneur en azote ammoniacal a été seulement un peu plus élevée dans la couche S que dans les couches I et P et comparable dans les couches I et P sous bioenrobage, alors que dans l'ensilage non couvert l'écart entre ces couches a été plus prononcé (figure 4). Cela indique que la dégradation de la protéine a été significative non seulement dans la couche S mais aussi dans la couche I de l'ensilage non couvert, alors que ce ne fut pas le cas sous bioenrobage;
- 5- la teneur en sucres solubles a été plus faible en surface qu'en profondeur dans les deux cas et les écarts n'ont pas été significativement différents (figure 4). Cela semble dû au fait que dans l'ensilage non couvert on a assisté d'une part, à l'épuisement complet des sucres dans les couches S et I et d'autre part, à une fermentation plus poussée dans la couche P que sous bioenrobage à cause de la teneur en matière sèche plus faible.

#### Valeur nutritive

Après 8 semaines d'entreposage à l'extérieur, l'ensilage de fléole recouvert de plastique a présenté des teneurs en protéine brute (18,47 % en moyenne) et en protéines liées (1,53 % en moyenne) homogènes à toutes les profondeurs, alors que les teneurs en fibres par détergent acide (35,38, 33,65 et 33,05 % dans S, I et P) et en fibres par détergent neutre (63,05, 57,45 et 57,93 % dans S, I et P) ont été un peu plus élevées dans la couche S que dans les couches I et P (figure 5).

Quant à l'ensilage laissé à découvert, il a présenté, pour chacun de ces paramètres, des niveaux beaucoup plus élevés en surface qu'en profondeur, avec des valeurs dans les couches S, I et P de 22,78, 18,55 et 18,48 % pour la protéine brute, de 5,46, 2,34 et 1,33 % pour la protéine liée (ADF-protéine), de 44,93,

44,08 et 31,65 % pour la fibre par détergent acide et de 62,98, 67,35 et 53,53 % pour la fibre par détergent neutre. L'augmentation de chacun de ces paramètres pendant la période d'entreposage doit être interprétée comme un signe de détérioration (figure 5). La teneur élevée en protéines liées observée dans la couche de surface de l'ensilage non couvert est inattendue puisque la température moyenne journalière maximale a été de 40°C (figure 2) et la température maximale (moyenne de 4 heures) a été de 43°C pendant les 8 semaines d'entreposage. On considère généralement qu'il faut une température supérieure à 50-55°C pendant une assez longue durée pour avoir une augmentation de la protéine liée à la fibre.

Le bioenrobage A et le bioenrobage B se sont comportés exactement de la même façon pour chacun des paramètres de la valeur nutritive analysés. En fait, les bioenrobages ont donné, pour l'ensemble du silo, un ensilage avec une teneur en protéine brute comparable au plastique et plus faible que l'ensilage non couvert, une teneur en protéines liées non significativement différente du plastique et du non couvert, une teneur en fibres par détergent acide comparable au plastique et inférieure au non couvert et une teneur en fibres par détergent neutre comparable au plastique et au non couvert (figure 5). L'ensilage protégé avec les bioenrobages se distingue aussi par le fait que :

- 1- la teneur en protéine brute a été plus élevée dans la couche S que dans les couches plus profondes, alors que ce ne fut pas le cas dans l'ensilage sous plastique. De plus, l'écart entre la couche S et les couches I et P a été moins prononcé que dans l'ensilage non couvert, car ce dernier a subi de fortes pertes de matière sèche en surface (figure 5);
- 2- la teneur en protéines liées (ADF-protéine) a été plus élevée dans la couche S que dans les couches plus profondes alors qu'elle a été assez uniforme dans l'ensilage sous plastique, même si ce dernier a chauffé un

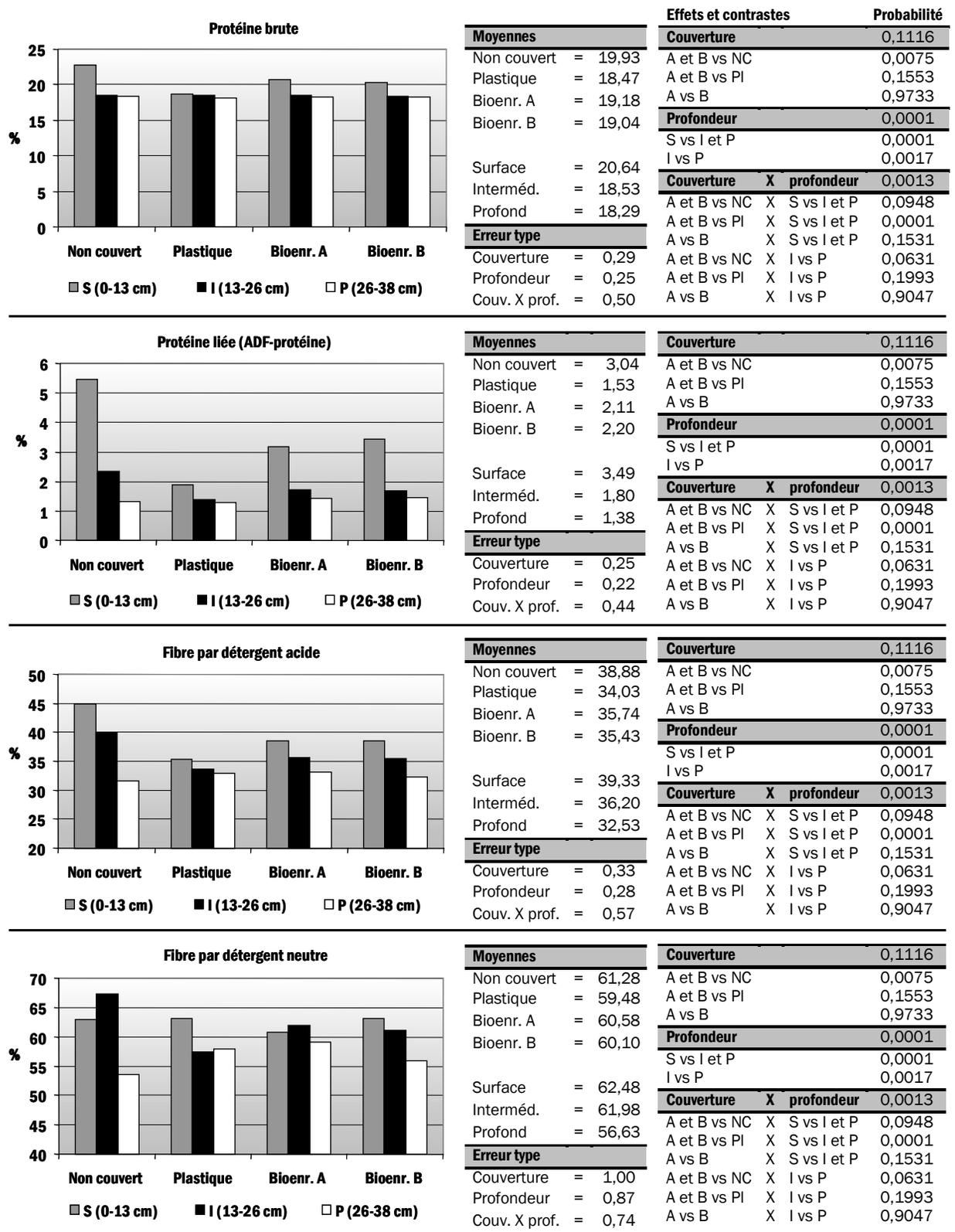
peu plus en surface. De plus, l'écart entre la couche S et les couches I et P a été moins important que dans l'ensilage non couvert car ce dernier a chauffé plus en surface (figure 5);

- 3- la teneur en fibres par détergent acide a été plus élevée dans les couches S et I que dans les couches respectivement plus profondes, comme dans l'ensilage sous plastique et dans l'ensilage non couvert. Cependant, les écarts entre les couches S et I et les couches respectivement plus profondes ont été plus prononcés que dans l'ensilage sous plastique, mais moins que dans l'ensilage non couvert car ce dernier a subi de fortes pertes de matière sèche en surface (figure 5);
- 4- la teneur en fibres par détergent neutre a été plus élevée en surface qu'en profondeur comme dans l'ensilage sous plastique et dans l'ensilage non couvert. Les écarts entre les couches ont été comparables à ceux observés dans l'ensilage sous plastique, mais l'écart entre la couche I et la couche P a été moins prononcé que dans le non couvert (figure 5). Ceci peut être la conséquence de l'effet combiné 1- d'une moindre perte de matière sèche dans la couche I que dans l'ensilage non couvert, suite à une infiltration d'air moins en profondeur et 2- d'une moindre hydrolyse de l'hémicellulose dans la couche P que chez le non couvert, dû à une moindre infiltration d'eau (teneur en matière sèche plus élevée).

#### Effet de la durée d'entreposage

Entre la quatrième et la huitième semaine d'entreposage, les couvertures ont influencé l'évolution de la teneur en matière sèche, de la perte de matière sèche, des moisissures et du pH dans certaines parties du silo.

La teneur en matière sèche de l'ensilage sous plastique a été stable (29,20 % après 8 sem. vs 29,22 % après 4 sem. en



Couvertures : NC = non couvert, PI = plastique, A = bioenrobage A, B = bioenrobage B  
 Profondeurs : S = couche de surface, I = couche intermédiaire, P = couche profonde

Figure 5. Effet du type de couverture et de la profondeur dans le silo sur la valeur nutritive de l'ensilage de fléole après 8 semaines d'entreposage.

moyenne) alors que celle de l'ensilage non couvert a diminué avec la durée d'entreposage (19,17 % après 8 sem. vs 23,35 % après 4 sem. en moyenne). Par ailleurs, on a observé dans l'ensilage couvert avec les bioenrobages A et B, contrairement à l'ensilage sous plastique ( $P=0,0004$ ), une diminution de la teneur en matière sèche entre la quatrième et la huitième semaine d'entreposage (25,95 % après 8 sem. vs 29,08 % après 4 sem. pour le bioenrobage A et 24,75 % après 8 sem. vs 29,38 % après 4 sem. pour le bioenrobage B en moyenne) et celle-ci a été aussi prononcée que dans l'ensilage non couvert ( $P=0,7466$ ). Cependant, la diminution de la teneur en matière sèche de l'ensilage sous bioenrobage a été importante surtout dans la couche S (diminution de 6,05, 2,55 et 0,80 % pour le bioenrobage A et de 7,05, 4,00 et 2,85 % pour le bioenrobage B dans S, I et P), alors que dans l'ensilage non couvert (diminution de 5,65, 5,13 et 1,60 % dans S, I et P), on observe une diminution importante non seulement dans la couche S ( $P=0,0984$ ) mais aussi dans la couche I ( $P=0,0206$ ) par rapport aux couches respectivement plus profondes. Ces données montrent que les bioenrobages n'ont pas limité l'infiltration d'eau pendant les 4 dernières semaines d'entreposage mais que l'effet de cette infiltration s'est manifesté moins en profondeur que dans l'ensilage non couvert, dont la couche de surface est devenue saturée en eau (figures 1 et 2).

La perte de matière sèche a augmenté de façon marquée, entre la quatrième et la huitième semaine d'entreposage, dans l'ensilage sous bioenrobage (10,09 % après 8 sem. vs 3,01 % après 4 sem. pour le bioenrobage A et 9,65 % après 8 sem. vs 3,72 % après 4 sem. pour le bioenrobage B) tout comme dans l'ensilage non couvert (24,22 % après 8 sem. vs 16,16 % après 4 sem.) ( $P=0,4895$ ), alors que ce ne fut pas le cas dans l'ensilage sous plastique (3,90 % après 8 sem. vs 2,20 % après 4 sem.) ( $P=0,0409$ ). De plus, l'augmentation a été beaucoup plus importante dans la couche S que dans les couches plus profondes (augmentation de 15,66, 3,84 et 1,74 % pour le

bioenrobage A et 15,03, 3,67 et -0,90 % pour le bioenrobage B dans S, I et P) comme dans l'ensilage non couvert (augmentation de 10,96, 8,35 et -0,13 % dans S, I et P) ( $P=0,6896$ ) et contrairement à l'ensilage sous plastique (augmentation de 3,50, 0,91 et 0,70 % dans S, I et P) ( $P=0,0042$ ). C'est donc pendant les quatre premières semaines d'entreposage que s'est produit l'essentiel des pertes de matière sèche dans l'ensilage non couvert, alors que ce fut pendant les quatre dernières dans l'ensilage sous bioenrobage. Dans ces deux cas la couche S a été plus durement touchée que les couches plus profondes pendant la dernière période (figures 1 et 2).

Les moisissures se sont développées de façon significative dans la couche S des ensilages couverts avec les bioenrobages A et B entre la quatrième et la huitième semaine d'entreposage (2,25 après 8 sem. vs 0,25 après 4 sem. pour le bioenrobage A et 1,23 après 8 sem. vs 0,05 après 4 sem. pour le bioenrobage B), mais pas dans les couches plus profondes. Par contre, dans l'ensilage non couvert les moisissures n'ont pas progressé dans la couche S (5 après 8 sem. tout comme après 4 sem.), puisqu'elle était déjà complètement moisie, mais elles ont commencé à coloniser les couches plus profondes (0,5 après 8 sem. vs 0 après 4 sem. dans la couche I) ( $P=0,0001$ ) pendant cette période. L'ensilage sous bioenrobage se distingue aussi de l'ensilage sous plastique puisque dans ce dernier les moisissures ont commencé à se développer dans la couche S (0,65 après 8 sem. vs 0,15 après 4 sem.) mais de façon moins prononcée que sous bioenrobage ( $P=0,0108$ ) (figures 1 et 2).

Entre la quatrième et la huitième semaine d'entreposage, le pH n'a pas évolué de la même façon dans l'ensilage sous bioenrobage que dans l'ensilage sous plastique ( $P=0,0011$ ) et dans l'ensilage non couvert ( $P=0,0001$ ) en ce qui concerne l'écart entre la couche S et les couches plus profondes. En effet, le pH de l'ensilage sous bioenrobage a augmenté de façon marquée dans la couche S pendant cette période (6,22

après 8 sem. vs 4,26 après 4 sem. pour le bioenrobage A et 5,52 après 8 sem. vs 4,19 après 4 sem. pour le bioenrobage B), alors que ce ne fut pas le cas dans l'ensilage sous plastique (son pH est resté bas dans toutes les couches), ni dans l'ensilage non couvert (son pH est resté élevé dans les couches S et bas dans les couches I et P). Cela démontre que l'ensilage sous bioenrobage s'est détérioré plus, au niveau de la couche S, que l'ensilage non couvert et que l'ensilage sous plastique pendant cette période. Cependant, cette analyse ne révèle pas de différence significative de pH entre le bioenrobage A et le bioenrobage B en fonction de la durée d'entreposage et de la profondeur dans le silo (figures 1 et 3).

## Discussion

### 1- Principaux points

Les résultats de cette expérience peuvent être regroupés autour de huit énoncés :

- 1- Le bioenrobage A et le bioenrobage B ont donné des ensilages de fléole avec des caractéristiques identiques après 8 semaines d'entreposage, puisqu'aucune différence significative n'a été détectée entre ces deux couvertures pour chacun des paramètres étudiés;
- 2- Les ensilages protégés avec les bioenrobages n'ont pas subi d'infiltration d'eau significative pendant les quatre premières semaines d'entreposage, alors que ce fut le cas pour l'ensemble des huit semaines, et il en a résulté une moindre diminution de la teneur en matière sèche que dans l'ensilage non couvert. Ces ensilages ont présenté des signes de détérioration (chauffage, développement des moisissures et perte de matière sèche) et de modification de leur valeur nutritive (PB, ADF, ADF-protéine et cendres plus élevées) dans les 13 premiers cm moins prononcés que ceux observés dans l'ensilage non couvert après 8 semai-

nes d'entreposage. Cependant, pour plusieurs de ces propriétés (MS, moisissures, perte de MS, PB et ADF), la détérioration de la couche de surface par rapport aux couches plus profondes (S vs I et P) a été plus prononcée que dans l'ensilage sous plastique;

- 3- Dans la couche intermédiaire (13-26 cm), les ensilages sous bioenrobage ont présenté quelques signes de détérioration par rapport à la couche profonde (26-38 cm) mais ceux-ci étaient généralement mineurs : l'écart entre ces deux couches a généralement été comparable à celui observé dans l'ensilage sous plastique (sauf pour ADF) et inférieur à celui observé dans l'ensilage non couvert (perte de MS, ADF, NDF);
- 4- Les couvertures n'ont influencé que légèrement la qualité de l'ensilage dans la couche profonde (26-38 cm). À cette profondeur, les bioenrobages ont donné un ensilage de qualité comparable au plastique globalement et peu différente de l'ensilage non couvert, même si l'infiltration d'eau a fait diminuer la teneur en matière sèche de l'ensilage non couvert de façon importante même à cette profondeur;
- 5- Les bioenrobages n'ont pas permis une fermentation aussi bonne que le film plastique dans les 13 premiers cm après 8 semaines d'entreposage. Ils ont donné, contrairement au plastique, un ensilage avec un plus faible contenu en acide lactique, en acide acétique, en sucres résiduels et un pH plus élevé dans la couche S que dans les couches plus profondes. Dans cette partie du silo (0-13 cm), la fermentation des ensilages protégés avec les bioenrobages a cependant été meilleure que celle de l'ensilage non couvert après 8 semaines d'entreposage, puisqu'on y a observé une moindre augmentation de pH et du contenu en azote ammoniacal et une moindre diminution du contenu

en acide acétique, par rapport aux couches plus profondes, que dans l'ensilage non couvert. Les ensilages sous bioenrobage se sont également moins détériorés que l'ensilage non couvert dans la couche intermédiaire (13-26 cm) puisqu'on y a observé une moindre diminution du contenu en acide lactique et une moindre augmentation du contenu en azote ammoniacal, par rapport à la couche profonde, que dans l'ensilage non couvert. Ils ont également conservé plus de sucres solubles que l'ensilage non couvert à toutes les profondeurs;

- 6- Les ensilages protégés avec les bioenrobages ont d'abord subi une fermentation qui a conduit à une acidification beaucoup plus prononcée que l'ensilage non couvert et aussi prononcée que l'ensilage sous plastique dans la couche de surface (0-13 cm) après 4 semaines d'entreposage. Cependant, suite à la perte plus ou moins importante de l'étanchéité des bioenrobages, on a assisté à la dégradation des acides produits précédemment et à l'augmentation du pH à un niveau plus élevé que sous plastique mais moins élevé que dans l'ensilage non couvert dans cette partie du silo après 8 semaines d'entreposage;
- 7- Dans les ensilages couverts avec les bioenrobages, la détérioration aérobie a atteint un stade moins avancé que dans l'ensilage non couvert puisqu'elle a commencé plus tard. Cependant, le développement des moisissures, les pertes de matière sèche et la diminution de la valeur nutritive sont devenus significatifs dans les 13 premiers cm. Ces résultats démontrent l'efficacité restreinte des bioenrobages à maintenir une bonne qualité d'ensilage à la grandeur du silo sur une période de huit semaines dans les ensilages récoltés en été et entreposés dans des silos sans toit;
- 8- On peut prévoir que ces ensilages arrêteront de se détériorer seulement

lorsque les températures deviendront assez froides pour inactiver les organismes responsables de la détérioration aérobie c'est-à-dire vers la mi-novembre sous les conditions de Deschambault (Québec).

## 2- Signes de détérioration vs type de couverture

Dans l'ensilage sous plastique on a observé une acidification normale à la grandeur du silo après 4 semaines d'entreposage et il en fut de même après 8 semaines. Par contre, dans les silos non scellés, il ne s'est produit aucune fermentation dans la couche de surface (0-13 cm) alors qu'une acidification normale a pu se produire dans la couche intermédiaire (13-26 cm). Ce résultat est conforme à ce qui a été rapporté par Muck (1999), à savoir qu'une fermentation lactique normale peut se produire très près (20 cm) de la surface dans un silo non scellé. Cela serait dû au fait que la respiration fait rapidement baisser la concentration d'oxygène près de zéro à 20 cm de profondeur dans la masse d'ensilage (Kuzin et Savoie, 2001). Les signes de détérioration observés dans la couche S (0-13 cm) des silos non scellés sont comparables à ceux notés par Bolsen (1997) à 12,5 et 25 cm de profondeur dans l'ensilage de luzerne (50-55 % MS, 134 kg MS/m<sup>3</sup>) entreposé pendant 90 jours en silos horizontaux non scellés et sans toit, à savoir un chauffage important, une perte de MS très élevée et un pH supérieur à 8. Cependant, dans l'expérience de Bolsen (1997) seul l'ensilage à 50 cm de profondeur était de qualité acceptable alors que dans la présente expérience seule la tranche de 0-13 cm était mal conservée. Cette différence ne semble pas due principalement à la durée d'entreposage plus courte (56 jours vs 90 jours) mais plutôt au fait que la teneur en matière sèche plus faible et la densité plus élevée de l'ensilage de fléole dans la présente expérience l'ont rendu moins perméable à l'oxygène. En effet, selon l'équation de Williams et Hoxey (1990),

$$k = 673 - 614 d - 0,616 p$$

où  $k$  = perméabilité à l'oxygène de l'ensilage ( $\mu\text{m}^2$ ),

$d$  = teneur en matière sèche de l'ensilage (fraction),

$p$  = densité de matière verte de l'ensilage ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

la perméabilité à l'oxygène de l'ensilage de fléole (30 % MS, 200  $\text{kg MS}/\text{m}^3$ ) est de 79  $\mu\text{m}^2$  alors que celle de l'ensilage de luzerne (52 % MS, 134  $\text{kg MS}/\text{m}^3$ ) réalisé par Bolsen (1997) est de 192  $\mu\text{m}^2$ , ce qui indique que l'infiltration d'air a été environ 2 fois plus rapide dans l'ensilage de luzerne que dans l'ensilage de fléole.

Les bioenrobages n'ont pas permis une qualité de conservation comparable à celle observée dans l'ensilage sous plastique, mais celle-ci a été meilleure que dans l'ensilage non couvert. En effet, l'ensilage sous bioenrobage a présenté des signes de détérioration après 8 semaines d'entreposage dans la couche S (0-13 cm) mais pas dans la couche I (13-26 cm), même si on avait assisté à une acidification normale à la grandeur du silo après 4 semaines. Tel que mentionné par Muck (1999), l'obtention d'une fermentation normale dans une partie du silo après 4 semaines d'entreposage ne signifie pas que cette zone ne se détériorera pas en présence d'oxygène. L'ensilage, même plus en profondeur, est plus susceptible au chauffage et à la détérioration dans un silo non scellé ou un silo qui perd son herméticité après que la fermentation soit terminée que dans un silo scellé correctement. Les signes de détérioration observés dans la couche S (0-13 cm) des silos scellés avec les bioenrobages vont dans le même sens que les effets d'un scellage inadéquat rapportés par McDonald et al. (1991), à savoir non seulement l'utilisation des sucres solubles, mais aussi la décomposition de l'acide lactique et de l'acide acétique par les organismes aérobies et l'augmentation de pH. Cependant, les ensilages sous bioenrobage n'ont pas présenté un contenu en azote ammoniacal plus élevé que l'ensilage sous plastique. Après 8 semaines d'entreposage, la

détérioration de l'ensilage sous bioenrobage a été moins prononcée que celle observée dans les silos non scellés parce que l'étanchéité assurée par les bioenrobages dans les premières semaines d'entreposage a permis une fermentation normale, même dans la couche de surface (0-13 cm). Ceci s'explique aussi par le fait que le patron de détérioration de l'ensilage exposé à l'air seulement après avoir subi une fermentation normale, est différent de celui observé dans les silos non scellés. Dans les silos non scellés, la détérioration active peut être initiée par les moisissures même dans la couche la plus profonde, alors que ce n'est pas le cas dans les silos qui perdent leur étanchéité à l'air après avoir subi une fermentation normale (Muck, 1999).

### 3- Performance d'autres bioenrobages

La performance des bioenrobages évalués dans cette expérience a été meilleure que celle obtenue par Brusewitz et al. (1991) avec le produit Nutri-Shield. En effet, les deux bioenrobages sous observation ont permis l'obtention d'un ensilage de meilleure qualité que l'ensilage non couvert après 8 semaines d'entreposage, alors que le produit Nutri-Shield n'a pas donné un ensilage de meilleure qualité que l'ensilage non couvert après la même durée d'entreposage. En fait, lorsque nous comparons nos résultats avec ceux obtenus par Brusewitz et al. (1991) avec de l'ensilage de maïs (24 % MS, 165  $\text{kg MS}/\text{m}^3$ , mini silos de 104 litres, surface non inclinée et pluies naturelles), nous notons des ressemblances au niveau de la fermentation mais des différences importantes au niveau de la valeur nutritive. En effet, dans les deux expériences les bioenrobages n'ont pas permis l'acidification normale de toute la masse d'ensilage après 8 semaines d'entreposage. Par contre, l'épaisseur de la couche d'ensilage inconsommable et l'augmentation de la teneur en fibres (ADF) dans l'ensilage sous bioenrobage ont été aussi importantes que dans l'ensilage non couvert dans l'expérience de Brusewitz et al. (1991), alors que ce ne fut pas le cas dans la présente expérience. Une forte augmenta-

tion de la teneur en fibres est généralement interprétée comme la conséquence de pertes importantes de matière sèche. De plus, dans la présente expérience la température maximale de l'ensilage sous bioenrobage dans la couche de surface a été comparable à celle de l'ensilage sous plastique (31-33°C) et beaucoup plus faible que dans l'ensilage non couvert (40°C). Dans l'expérience de Brusewitz et al. (1991), celle-ci a été comparable à celle de l'ensilage non couvert (43-45°C) et beaucoup plus élevée que sous plastique (28°C). Cela est fort révélateur puisque les températures enregistrées dans la couche d'ensilage de surface sont un bon indice de l'étanchéité plus ou moins grande de chaque couverture.

La comparaison des résultats obtenus dans ces deux expériences doit être faite en considérant les caractéristiques des ensilages (teneur en matière sèche et densité principalement) et les conditions ambiantes (température et précipitations). La plus forte densité de notre ensilage (200  $\text{kg MS}/\text{m}^3$  vs 165  $\text{kg MS}/\text{m}^3$ ) a sûrement été favorable à une meilleure performance des bioenrobages alors que sa teneur en matière sèche plus élevée (30 vs 24 %) peut avoir joué le rôle contraire. Selon l'équation de Williams et Hoxey (1990), l'ensilage réalisé par Brusewitz et al. (1991) serait environ 30 % plus perméable à l'oxygène que celui réalisé dans cette expérience (102  $\mu\text{m}^2$  vs 79  $\mu\text{m}^2$ ).

Les températures qui ont prévalu à Deschambault (Québec) pendant les 8 semaines qui ont suivi la récolte de la fléole, effectuée les 19 et 20 juillet 2001 (moyenne journalière entre 20 et 25°C pendant 23 jours et inférieure à 20°C pendant 31 jours) (tableau 2), constituent des conditions plus favorables à une bonne conservation de l'ensilage protégé avec un bioenrobage que les températures qui ont prévalu à Chickasha (Oklahoma) suite à une récolte de maïs effectuée le 31 juillet 1990 (moyenne journalière supérieure à 25°C pendant 40 des 56 jours). Il en a d'ailleurs résulté, dans la présente expérience, une température maximale d'environ 27°C en pro-

fondeur dans la masse d'ensilage qu'importe le traitement, alors que dans l'expérience de Brusewitz et al. (1991), celle-ci a atteint 36°C quel que soit le traitement. On reconnaît que lorsque les conditions d'anaérobiose ne sont pas parfaites, un environnement avec de basses températures de l'air est plus favorable à une bonne conservation des ensilages (Brusewitz et al., 1991). Cela semble dû au fait que l'activité des organismes responsables de la détérioration de l'ensilage est plus limitée à basse température.

Par ailleurs, la performance des bioenrobages peut être fortement influencée par les précipitations, puisque leurs constituants ne sont pas très résistants à l'eau. À première vue, la meilleure performance des deux bioenrobages évalués, comparativement au Nutri-Shield, ne semble pas être due à ce facteur puisque des précipitations identiques ont été enregistrées à Deschambault (15,24 cm) et à Chikasha (15,8 cm) pendant les 8 semaines qu'a duré chaque expérience. Cependant, des orages peuvent être plus dommageables pour les bioenrobages que des précipitations normales. Cinq orages importants ont été enregistrés à Deschambault pendant la durée de l'expérience (tableau 2).

Ces données mettent en évidence que :

- 1- les bioenrobages évalués dans cette expérience ont été plus performants que celui évalué par Brusewitz et al. (1991) parce qu'ils ont permis de limiter suffisamment l'infiltration d'air pour maintenir la température de l'ensilage à un niveau comparable à celui observé dans l'ensilage sous plastique. Ce ne fut pas le cas avec le produit Nutri-Shield;
- 2- la moins grande perméabilité à l'oxygène de l'ensilage réalisé dans cette expérience peut avoir favorisé une meilleure performance des bioenrobages en limitant l'infiltration d'air;
- 3- les précipitations ne semblent pas avoir influencé la performance des bioenrobages, puisque le total enregistré a été identique dans les deux expériences.

Des données plus détaillées pourraient révéler des différences importantes dans la distribution;

- 4- les températures ambiantes, plus basses dans cette expérience que dans celle de Brusewitz et al. (1991), pendant les 8 semaines qui ont suivi la récolte peuvent avoir favorisé une meilleure performance des bioenrobages en limitant les procédés qui peuvent conduire à la détérioration de l'ensilage lorsque l'étanchéité à l'air n'est pas parfaite.

Ces données permettent de conclure que les bioenrobages sous étude ont eu une efficacité meilleure que le produit évalué par Brusewitz et al. (1991), mais que ce résultat a été obtenu dans des conditions plus favorables.

Les bioenrobages sous observation ne semblent pas avoir été plus performants que le bioenrobage à base d'amidon, de sel et de paraffine évalué par Berger et al. (2002) dans l'ensilage de maïs (40 % MS, 215 kg MS /m<sup>3</sup>) entreposé pendant 92 jours en silos horizontaux. En effet, ils ont permis de réduire de 72 % l'épaisseur de la couche d'ensilage inconsommable à la surface du silo par rapport à l'ensilage non protégé (4,5 cm vs 16 cm d'épaisseur) alors que Berger et al. (2002) rapportent une réduction de 92 % de la quantité de matériel inconsommable à la surface du silo (2,7 kg MS/m<sup>2</sup> vs 31,8 kg MS/m<sup>2</sup>). Cependant, la moins longue durée d'entreposage (56 jours vs 92 jours) a possiblement favorisé une meilleure performance des bioenrobages dans la présente expérience. Toutefois, la plus faible dimension de nos silos (mini-silos de 29 litres vs silos horizontaux) et la plus grande perméabilité à l'oxygène de notre ensilage (79 µm<sup>2</sup> vs 69 µm<sup>2</sup>) ont agi dans le sens contraire. Les données ne permettent pas de pousser plus loin la comparaison.

#### 4- Grosseur du silo vs durée d'entreposage

Les résultats obtenus en mini silos après 56 jours d'entreposage dans le cadre de

cette expérience doivent être considérés comme représentatifs de ceux qui seraient obtenus après une plus longue durée d'entreposage en silos de grande dimension. Dans des silos parfaitement scellés, la qualité de l'ensilage change peu avec la durée d'entreposage et la dimension des silos n'a pas ou peu d'influence sur celle-ci, alors que ce n'est pas le cas dans des silos non scellés ou imparfaitement scellés. Même si la plus grande partie de la détérioration se produit au début de la période d'entreposage, la longueur de la période d'entreposage a un impact sur les pertes encourues (Buckmaster et al., 1989). Cela vient du fait que l'air s'infiltré de plus en plus en profondeur à mesure que la durée d'entreposage s'allonge. Cependant, la détérioration progresse lentement après un certain temps. De plus, la grosseur des silos utilisés a une influence sur le niveau de détérioration de l'ensilage après un certain temps d'exposition à l'air. En effet, Bolsen (1997) rapporte que les ensilages en mini silos (208 litres) scellés ont présenté des caractéristiques semblables aux ensilages en silos horizontaux après 90 jours d'entreposage et qu'il n'y a pas eu de détérioration additionnelle après 180 jours. Par contre les ensilages en mini silos (208 litres) non scellés étaient plus détériorés que les ensilages équivalents en silos horizontaux après 90 jours. Cela s'explique par la plus grande surface exposée et la plus grande surface de mur pour un même volume d'ensilage dans les silos expérimentaux, puisque l'air s'infiltré plus facilement le long des murs que dans la masse d'ensilage.

#### 5- Utilisation des bioenrobages

Les résultats de cette expérience semblent indiquer que la performance des bioenrobages sous observation n'est pas très bonne dans les ensilages récoltés en été et entreposés dans des silos sans toit. Cependant, ces bioenrobages seraient sûrement plus efficaces dans des silos recouverts d'un toit, puisque c'est principalement leur manque d'imperméabilité à l'eau qui a réduit la durée de protection assurée à l'ensilage dans la présente

expérience. En effet, puisque ces bioenrobages ont assuré une bonne conservation de l'ensilage pendant 120 jours en conditions de laboratoire (Denoncourt et al., 2002), on peut penser qu'ils pourraient protéger efficacement l'ensilage entreposé dans des silos recouverts d'un toit, à condition que la durée d'entreposage ne soit pas trop longue.

## 6- Coût des bioenrobages

Les matières premières utilisées pour fabriquer les bioenrobages évalués dans cette expérience étaient relativement dispendieuses et le taux d'application relativement élevé. Ainsi, le coût lié à leur utilisation pour couvrir l'ensilage a été beaucoup plus élevé que celui du polyéthylène généralement utilisé à cette fin. Les prochaines recherches sur les bioenrobages devront utiliser des matières premières moins dispendieuses, voire des sous-produits, afin que leur coût soit compétitif avec celui du polyéthylène. Une réduction de l'épaisseur du bioenrobage, sans en réduire l'efficacité, permettrait aussi de rendre le coût des bioenrobages plus abordable. Selon Kuzin et Savoie (2001), les bioenrobages ne devraient pas coûter plus de 8 % de la valeur de l'ensilage, et cela à condition d'être aussi étanches qu'un film de polyéthylène de 0,2 mm d'épaisseur. Des bioenrobages moins étanches devraient coûter encore moins cher pour être justifiés.

## Conclusion

Cette expérience a permis de démontrer que dans des conditions naturelles :

- 1- Le bioenrobage A à base de protéine de soya et le bioenrobage B à base de caséinate ont une performance semblable;
- 2- Ces deux bioenrobages sont suffisamment étanches pendant les quatre premières semaines d'entreposage pour permettre une fermentation normale à la grandeur du silo;

3- Lorsqu'on les utilise pour couvrir un ensilage relativement peu perméable à l'oxygène (30 % MS, 200 kg MS/m<sup>3</sup>) et récolté en mi-été, des signes de détérioration prononcés peuvent être observés dans les 13 premiers cm mais pas dans les couches plus profondes après 8 semaines d'entreposage;

4- Dans de telles conditions, la qualité de conservation de l'ensilage de surface est moins bonne que sous plastique mais la couche d'ensilage inconsommable à la surface du silo est beaucoup plus mince que dans l'ensilage non couvert après 8 semaines d'entreposage.

Cette expérience nous a aussi appris que :

- 1- La réussite de l'ensilage sous bioenrobage dépend beaucoup des conditions ambiantes (température et précipitations) puisque ce sont principalement les précipitations qui nuisent à leur étanchéité et les températures chaudes qui accélèrent la dégradation de l'ensilage par la suite. Ainsi, les chances de réussite sont moins grandes dans les ensilages récoltés en été que dans ceux récoltés en fin de saison;
- 2- La réussite de l'ensilage sous bioenrobage dépend aussi beaucoup des caractéristiques de l'ensilage (teneur en matière sèche et densité). La réalisation d'ensilages peu perméables à l'oxygène, c'est-à-dire pas trop secs et surtout de forte densité, semble un facteur important pour obtenir une plus longue durée de conservation des ensilages protégés avec les bioenrobages.

Malgré des résultats moins positifs qu'on l'aurait espéré, on constate que des progrès importants ont été réalisés depuis le début des recherches sur les bioenrobages pour ensilage. Les premiers bioenrobages étaient inefficaces en conditions naturelles alors que, dans les conditions de cette expérience, les deux bioenrobages évalués ont démontré une

efficacité que l'on peut qualifier de moyenne. D'autres recherches devront cependant être réalisées si on veut développer un bioenrobage qui assure une meilleure protection à l'ensilage entreposé dans des silos sans toit. De plus, il faudra développer des méthodes qui permettent d'optimiser le taux d'application et/ou avoir recours à des matières premières peu dispendieuses afin d'offrir un produit qui soit compétitif économiquement avec le plastique.

## Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement M. Michel Atkins et Mme Sylvie Atkins de l'IRDA à Deschambault pour le suivi technique de l'expérience. Des remerciements vont également au personnel du CRSAD impliqué dans ce projet pour la réalisation des silos expérimentaux et pour les analyses en laboratoire. Merci aussi à Mme Michèle Grenier de l'IRDA à Sainte-Foy pour le support apporté au niveau de l'analyse statistique des résultats. Nous tenons aussi à remercier Mme Karine Marcoux, étudiante en agronomie, pour son assistance au niveau de la préparation du rapport de recherche. Merci finalement au fonds FCAR-IRDA et au Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) pour leur soutien financier.

## Références bibliographiques

- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. 1990. 15<sup>th</sup> Edition. Association of official analytical chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Berger, L. L., N. A. Pyatt and J. R. Sewell. 2002. Edible covering reduces spoilage in bunkers silos. *J. Dairy Sc.* : 85 (supp 1) / *J. Anim. Sc.* : 80 (supp 1), p. 93.

- Bolsen, K. K. 1997. Issues of top spoilage losses in horizontal silos. Proceedings from the "Silage : Field to Feedbunk" North American Conference. Hershey, Pennsylvania, February 11-13, Northeast regional agricultural engineering service, pub. NRAES-99, p. 137-150.
- Bolsen, K. K., J. T. Dickersen, B. E. Brent Jr., R. N. Sonon, B. S. Dalke, C. Lin and J. E. Boyer Jr. 1993. Rate and extent of top spoilage in horizontal silos. *J. Dairy Sci.* 76:2940-2962.
- Brault, D., G. D'Aprano and M. Lacroix. 1997. Formation of free-standing sterilised edible film from irradiated caseinates. *J. Agric. Food Chem.* 45: 2964-2969.
- Brusewitz G. H., R. L. Huhnke and E. M. Barnes. 1991. Performance of Nutri-Shield in protecting bunker-stored silage. *Applied Engineering in Agriculture*, 7 (5) : 515-519.
- Buckmaster, D. R., C. A. Rotz and R. E. Muck. 1989. A comprehensive model of forage changes in the silo. *Transactions of the ASAE* 32:1143-1152.
- Chen, Y., Z. Y. Zhang, Y. Ishikawa and T. Mackawa. 2002. Mechanical properties and water resistance of an acetylated starch-based plastic. *Transactions of the ASAE*, 45:1051-1056.
- CPAQ. Répertoire des méthodes d'analyse des aliments du bétail. 1982. Conseil des productions animales du Québec, Québec, Canada. Agdex 400-55, 32 p.
- Cunningham, P., A. A. Ogale, P. L. Dawson and J. C. Acton. 2000. Tensile properties of soy protein isolate films produced by a thermal compaction technique. *J. Food Sci.* 65(4): 662-671.
- Denoncourt, P., A. Amyot, B. Ouattara et M. Lacroix. 2002. Conservation de l'ensilage scellé avec un bioenrobage. Demi-journée d'information scientifique sur les fourrages. Conseil québécois des plantes fourragères (CQPF), Victoriaville (Québec), 7 février, p. 11-19.
- Gennedios, A., V. M. Ghorpade, C. L. Weller and M. A. Hanna. 1996. Heat curing of soy protein films. *Transactions of the ASAE* 39: 575-579.
- Ghorpade, V. M., H. Li, A. Gennadios and M. A. Hanna. 1995. Chemically modified soy protein films. *Transactions of the ASAE* 38: 1805-1808.
- Huhnke, R. L. and G. H. Brusewitz. 1990. Nutri-Shield treated alfalfa hay cubes. *Applied Engineering in Agriculture* 6 (1): 9-11.
- Hunt R. G., V. R. Sellers, W. E. Franklin, J. M. Nelson, W. L. Rathje, W. W. Hughes and D. C. Wilson. 1990. Estimation of the volume of municipal solid waste and selected components in trash cans and landfills. Franklin Associates Ltd, Prairie Village, KS, and the Garbage Project, Tucson, AZ.
- Imeson, A. P., D. A. Ledward and J. R. Mitchel. 1977. On the nature of the interaction between some anionic polysaccharides and proteins. *J. Sci. Food Agric.* 28: 661-668.
- Krochta, J. M. 1992. Control of mass transfer in foods with edible coating and films. In *Advances in Food Engineering*. R.P. Singh and M.A. Wirakaratakusumah (Ed.). CRC Press Inc, NY. p 517-538.
- Kuzin, V. et P. Savoie. 2001. Modèle d'infiltration d'air dans les silos horizontaux en fonction de la couverture. Journée d'information scientifique et technique en génie agroalimentaire. Université Laval, Ste-Foy (Québec), 21 mars, p. 41-49.
- McDonald, P., A. R. Henderson, S. J. E. Heron. 1991. *The biochemistry of silage*, Second Ed., Chalcombe Publication, 340 p.
- McHugh, T. H., R. Avena-Bustillos and J. M. Krochta. 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* 58(4):899- 903.
- Muck, R. E. 1999. Influence of air on the preservation and aerobic spoilage of silages. *Transactions of the ASAE* 42(3): 573-581.
- Ruppel, K. A. 1993. Bunker silo management and its effects on hay crop quality. Proceedings from the national silage production conference "Silage Production from Seed to Animal", Syracuse, New-York, February 23-25, Northeast regional agricultural engineering service, pub. NRAES-67, p. 67-84.
- Ruppel, K. A., R. E. Pitt, L. E. Chase and D. M. Galton. 1995. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 78:141-153.
- Smith, D., G. M. Paulsen and C. A. Raguse. 1964. Extraction of total available carbohydrates from grass and legume tissue. *Plant Physiology* 39(6): 960-962.
- Williams, A. G. and R. P. Hoxey. 1990. Physical properties and the aerobic deterioration of grass silage. *Ag Eng 90 International Conference*, Berlin.
- Yannas, I. V. and A. V. Tobolsky. 1967. Cross-linking of gelatine by dehydration. *Nature* 215: 509-510.