

**Valorisation des sous-produits
de maïs sucré sous forme d'ensilage
à 30% de matière sèche**

Rapport final

Septembre 2005

Rédigé par

André Amyot, agr., M.Sc.



Projet de recherche # 110126

Réalisé avec la collaboration de

Jean Masson, ing.



SNC•LAVALIN
Audet



Développement
économique Canada

Canada Economic
Development

Canada

ISBN 2-922851-40-0
Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2005
Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2005
© IRDA

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux	4
Liste des figures.....	5
Liste des annexes.....	8
Résumé.....	11
Introduction.....	13
Remerciements.....	15
VOLET 1 Extraction de l'eau par pressage	
Méthodologie.....	17
Résultats.....	21
1.1 Essais préliminaires.....	21
1.2 Pressage pour l'essai d'ensilage en mini silos.....	24
Conclusion.....	29
Annexes.....	31
VOLET 2 Ensilage en mini silos	
Méthodologie.....	35
Résultats.....	41
2.1 Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré utilisés.....	41
2.2 Effet des traitements sur la fermentation.....	43
2.2.1 Procédé d'ensilage.....	43
2.2.2 Développement des microorganismes.....	56
2.2.3 Valeur nutritive.....	59
2.2.4 Synthèse.....	65
2.3 Effets des traitements sur la stabilité aérobie.....	69
2.3.1 Chauffage de l'ensilage.....	69
2.3.2 Caractéristiques de l'ensilage après 7 jours et 14 jours d'exposition à l'air.....	73
2.3.3 Synthèse.....	78
Conclusion.....	81
Annexes.....	83
VOLET 3 Ensilage en grosses balles	
Méthodologie.....	95
Résultats.....	97
3.1 Sous-produits séchés naturellement au sol.....	97
3.2 Sous-produits séchés artificiellement.....	101
3.3 Discussion.....	103
Conclusion.....	105
Annexes.....	107
Bibliographie.....	111

LISTE DES TABLEAUX

VOLET 1 EXTRACTION DE L'EAU PAR PRESSAGE

1.1	Sommaire des analyses effectuées par Les Industries Fournier Inc.....	21
1.2	Sommaire de l'essai préliminaire avec la presse de laboratoire.....	22
1.3	Sommaire de l'essai préliminaire avec la presse pilote	24
1.4	Densité de la fraction liquide et composition chimique des différentes fractions des sous-produits de maïs sucré traités avec la presse de laboratoire.....	25
1.5	Densité de la fraction liquide et composition chimique des différentes fractions des sous-produits de maïs sucré traités avec la presse pilote.....	27

VOLET 2 ENSILAGE EN MINI SILOS

2.1	Principales caractéristiques des sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser l'essai d'ensilage en mini silos.....	42
-----	---	----

VOLET 3 ENSILAGE EN GROSSES BALLEES

3.1	Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré séchés naturellement au sol, des presses utilisées, des balles confectionnées et des ensilages réalisés.....	98
3.2	Comparaison de l'ensilage en grosses balles rectangulaires (essai 2) et de l'ensilage en mini silos (volet 2) réalisés avec les sous-produits de maïs sucré reçus le 22 septembre 2004.....	100
3.3	Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré séchés artificiellement en vue de réaliser des ensilages en grosses balles.....	102

LISTE DES FIGURES

VOLET 2 ENSILAGE EN MINI SILOS

2.1	Effet des traitements sur la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	43
2.2	Effet des traitements sur la température de fermentation des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	45
2.3	Effet des traitements sur le pH des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	46
2.4	Effet des traitements sur la teneur en acide lactique des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	47
2.5	Effet des traitements sur la teneur en acide acétique des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	48
2.6	Effet des traitements sur le rapport « acide lactique / acide acétique » des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos....	49
2.7	Effet des traitements sur la teneur en azote ammoniacal et le rapport « azote ammoniacal / azote total » des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	50
2.8	Effet des traitements sur la teneur en sucres solubles des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	51
2.9	Effet des traitements sur le pouvoir tampon et le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	52
2.10	Effet des traitements sur la teneur en amidon des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	53
2.11	Effet des traitements sur la perte de matière sèche des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	54
2.12	Effet des traitements sur la population de bactéries lactiques des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	56
2.13	Effet des traitements sur la population de levures des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	57
2.14	Effet des traitements sur la population de moisissures et le développement de mycélium dans les sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	58

2.15	Effet des traitements sur la teneur en fibre par détergent acide des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	59
2.16	Effet des traitements sur la teneur en fibre par détergent neutre des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	60
2.17	Effet des traitements sur la teneur en protéine brute des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	61
2.18	Effet des traitements sur la solubilité de la protéine des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	62
2.19	Effet des traitements sur la teneur en protéine liée à la fibre des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	63
2.20	Effet des traitements sur les teneurs en minéraux (P, K, Ca et Mg) des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos....	64
2.21	Effet des traitements sur l'évolution de la température de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré dans le test de stabilité aérobie.....	69
2.22	Effet des traitements sur le nombre d'heures pour une élévation de 2°C et 3°C des sous-produits de maïs sucré dans le test de stabilité aérobie.....	70
2.23	Effet des traitements sur la température maximale atteinte par les sous-produits de maïs sucré et le nombre d'heures pour l'atteindre dans le test de stabilité aérobie.....	71
2.24	Effet des traitements sur l'élévation moyenne de température des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie.....	72
2.25	Effet des traitements sur l'évolution de la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie.....	73
2.26	Effet des traitements sur l'évolution du pH des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie.....	74
2.27	Effet des traitements sur la perte de matière sèche des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie.....	75
2.28	Effet des traitements sur le développement de mycélium dans les sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie.....	76

2.29	Effet des traitements sur les populations de levures et de moisissures dans les sous-produits de maïs sucré après 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie.....	77
------	--	----

LISTE DES ANNEXES

VOLET 1 EXTRACTION DE L'EAU PAR PRESSAGE

1.1	Rapport de l'essai de pressage effectué en laboratoire par Les Industries Fournier Inc.....	31
1.2	Résultats détaillés de l'essai préliminaire avec la presse de laboratoire...	32
1.3	Résultats détaillés de l'essai préliminaire de la presse pilote.....	33

VOLET 2 ENSILAGE EN MINI SILOS

2.1	Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré avant de réaliser les traitements dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	83
2.2	Effet des traitements sur les caractéristiques des sous-produits de maïs sucré au moment de la mise en silo dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	84
2.3	Effet des traitements sur les caractéristiques de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré après 120 jours d'entreposage dans l'essai d'ensilage en mini silos.....	85
2.4	Effet des traitements sur le chauffage des sous-produits de maïs sucré dans le test de stabilité aérobie.....	86
2.5	Effet des traitements sur les caractéristiques de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré après 7 jours d'exposition à l'air dans le test de stabilité aérobie.....	87
2.6	Effet des traitements sur les caractéristiques de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré après 14 jours d'exposition à l'air dans le test de stabilité aérobie.....	88
2.7	Teneur en sucres solubles et pouvoir tampon de quelques plantes fourragères.....	89
2.8	Valeur nutritive standard du maïs ensilage et des sous-produits de maïs sucré.....	90
2.9	pH de stabilité anaérobie de l'ensilage et quantité de sucres solubles nécessaire pour l'atteindre.....	91
2.10	Barème d'appréciation qualitative des ensilages.....	92
2.11	Composition moyenne du maïs fourrager et de ses constituants avant fermentation.....	93

VOLET 3 ENSILAGE EN GROSSES BALLES

3.1	Principe de différentes presses à balles cylindriques	107
3.2	Sommaire des conditions météorologiques enregistrées à la station météorologique du Centre de recherche de Deschambault lors des trois essais de séchage naturel au sol des sous-produits de maïs sucré.....	110

- RÉSUMÉ -

Lors de la transformation du maïs sucré, les conserveries génèrent d'importantes quantités de sous-produits qui peuvent être utilisés dans l'alimentation des bovins. Cependant, à cause de leur forte teneur en eau (16-20% MS), les ensilages réalisés avec ces sous-produits posent souvent des problèmes de conservation, en plus d'entraîner l'écoulement de jus et l'émission de certaines odeurs. Nous avons donc réalisé une recherche qui a pour but d'accroître les connaissances et les technologies pour une meilleure conservation des sous-produits de maïs sucré sous forme d'ensilage et qui comporte trois objectifs spécifiques. Le premier consiste à évaluer en laboratoire l'efficacité d'une presse commerciale pour augmenter la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré et déterminer la composition des fractions solides et liquides du produit final pour deux niveaux de pressage. Le deuxième objectif est de déterminer l'effet sur la valeur nutritive, la qualité de fermentation et la stabilité aérobie de l'ensilage, de 4 traitements appliqués aux sous-produits de maïs sucré en vue d'augmenter leur teneur en matière sèche (2 méthodes de séchage et 2 niveaux de pressage). Le troisième objectif est d'évaluer l'efficacité de la méthode d'ensilage en grosses balles enrubannées avec du film plastique, avec les sous-produits de maïs sucré séchés à 30% de matière sèche et d'avoir des données préliminaires concernant leur qualité de conservation à long terme. Le projet comporte trois volets qui correspondent à chacun de ces objectifs.

VOLET 1 Extraction de l'eau par pressage

La presse rotative des Industries Fournier Inc. n'a pas permis d'obtenir la teneur en matière sèche visée (25%). Par contre, la presse de laboratoire du CRSAD a permis d'obtenir un matériel avec une teneur en matière sèche environ 5% plus élevée que la presse pilote du CRSAD (30,75% vs 26,40%). Il en a résulté une perte environ 2 fois plus grande de sucres solubles (76 kg/tms vs 38 kg/tms) et de minéraux (P, K, Ca et Mg) et une augmentation environ 2 fois plus importante de la teneur en fibre par détergent acide (4,8% vs 1,9%).

VOLET 2 Ensilage en mini silos

Dans une expérience réalisée en 4 répétitions, les traitements suivants ont été appliqués aux sous-produits de maïs sucré : T1- Témoin humide, T2- Séchage à l'air chaud jusqu'à 30% MS, T3- Séchage à l'air ambiant en « cribs » horizontaux, sur une couche de 300 mm d'épaisseur jusqu'à 30% MS, T4- Traitement avec la presse pilote du CRSAD jusqu'à 25% MS suivi de séchage à l'air chaud jusqu'à 30% MS et T5- Traitement avec la presse de laboratoire du CRSAD jusqu'à 30% MS. Le matériel de chaque traitement a été ensilé dans des mini silos de 40 cm de hauteur et 30 cm de diamètre (29 litres). Après 120 jours d'entreposage, les silos ont été ouverts et un test de stabilité aérobie a été réalisé.

Le séchage à l'air chaud (T2), le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) et le traitement avec la presse de laboratoire (T5) ont permis d'atteindre la teneur en matière sèche visée (30%) mais pas le séchage à l'air ambiant (T3). De plus, au moment de la mise en silo l'aptitude à l'ensilage de T3 et T5, tel que définie par le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon », a été seulement acceptable (200-400 g/Eq) alors que celle des autres traitements a été excessivement élevée (>800 g/Eq). Cependant, tous les traitements ont donné un ensilage avec un pH inférieur à 3,6 et ne présentant pas de signe de détérioration après 120 jours d'entreposage, ce qui indique que dans chaque cas la fermentation a été très poussée et a fortement limité le développement des microorganismes indésirables tant que les conditions anaérobies ont été maintenues. De plus, la perte de matière sèche totale, soit celle due au traitement lui-même plus celle due à la fermentation qui en a résulté, a été à son niveau maximum dans T4 et T5 (environ 24%), à son niveau minimum dans T2 (environ 14%) et à un niveau intermédiaire dans T1 et T3 (environ 18%).

Au chapitre de la valeur nutritive, les sous-produits de maïs sucré « fermentés » ont présenté en moyenne une valeur protéique comparable à celle généralement rapportée pour l'ensilage de maïs (PB = 8 à 9%). Cependant, ils sont beaucoup plus fibreux que l'ensilage de maïs (ADF = 37% vs 28%) (NDF = 65% vs 45%) de sorte qu'ils seront ingérés en plus faible quantité et auront une valeur énergétique plus faible que ce dernier. L'effet global des traitements sur la protéine brute et la protéine soluble a été relativement faible. Par contre, tous les ensilages traités ont présenté une teneur en fibre par détergent neutre supérieures au témoin humide (environ 68% pour T4 et T5 et 64% pour T2 et T3 vs 61% pour T1) alors que seuls T3 et T5 ont présenté une teneur en fibre par détergent acide supérieure à ce dernier (environ 38% vs 36%).

La stabilité aérobie des sous-produits de maïs sucré a été relativement bonne quel que soit le traitement appliqué. En effet, aucun traitement n'a entraîné une élévation de 2°C avant 75 h d'exposition à l'air et n'a permis le développement de mycélium après 7 jours d'exposition à l'air. Cependant, T2 et T4 ont donné un ensilage beaucoup plus stable que le témoin humide.

Toutes ces données indiquent que le séchage à l'air chaud (T2) et le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) sont les deux traitements qui ont le plus de chance de donner un ensilage de bonne qualité quelles que soient les conditions entre le moment de la mise en silo et le moment de l'alimentation. La combinaison pressage-séchage (T4) présente plusieurs avantages, notamment de maintenir un rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » élevé au moment de la mise en silo (comme T1 et T2 et contrairement à T3 et T5), d'améliorer l'efficacité de la fermentation (contrairement à tous les autres traitements) et finalement de ne pas faire augmenter la teneur en fibre par détergent acide et d'améliorer beaucoup la stabilité aérobie de l'ensilage par rapport au témoin humide (comme T2 et contrairement à T3 et T5). Ce traitement a par contre l'inconvénient d'impliquer une perte de matière sèche totale plus élevée que le témoin humide (comme T5 et contrairement à T2 et T3) et de donner un ensilage avec une teneur en fibre par détergent neutre plus élevée que ce dernier (autant que T5 et plus que T2 et T3). Le séchage à l'air chaud (T2) présente quant à lui l'avantage d'impliquer une perte en matière sèche plus faible que tous les autres traitements et de donner un ensilage avec une teneur en fibre par détergent neutre plus faible que la combinaison pressage-séchage (T4). De plus, il ne fait pas augmenter la teneur en fibre par détergent acide et améliore beaucoup la stabilité aérobie comme T4. Par contre, la fermentation de T2 est moins efficace que celle de T4 malgré une ensilabilité comparable. Quant au séchage à l'air ambiant (T3) et au pressage jusqu'à 30% de matière sèche (T5), on ne peut pas les recommander même s'ils permettent une acidification pratiquement aussi poussée que les autres traitements, à cause principalement de leurs effets négatifs sur la valeur nutritive et la stabilité aérobie de l'ensilage.

VOLET 3 Ensilage en grosses balles

La confection de grosses balles cylindriques ou rectangulaires avec des sous-produits de maïs sucré « déchiquetés » pose certains problèmes, puisque ces derniers contiennent peu de fibres longues et beaucoup de particules fines, et ne reprennent pas de volume au sortir de la presse comme un fourrage conventionnel. La presse à grosses balles rectangulaires est celle qui semble la mieux adaptée pour le pressage de sous-produits de maïs sucré à environ 30% de matière sèche. Et parmi les presses à balles cylindriques, c'est celle à chambre fixe, équipée d'un enrouleur à rouleaux métalliques et d'un lieur à filet, qui semble présenter les meilleures chances de réussite. Cependant, des essais supplémentaires s'imposent afin de déterminer les ajustements ou modifications nécessaires pour fonctionner de façon efficace.

La méthode d'ensilage en grosses balles enrubannées avec du film étirable permet d'assurer une bonne conservation des sous-produits de maïs sucré entreposés à l'extérieur pendant 7 à 8 mois. Cependant le séchage au sol des sous-produits de maïs sucré « déchiquetés » ne semble pas recommandable puisqu'il en résulte l'obtention d'un ensilage de plus faible valeur nutritive.

- INTRODUCTION -

Lors de la transformation du maïs sucré, les conserveries génèrent d'importantes quantités de sous-produits constitués principalement de la rafle (coton de l'épi) et des spathes (feuilles de l'épi) mais aussi de d'autres parties de l'épi (soies et un peu de grains). Ces sous-produits peuvent être utilisés dans l'alimentation des bovins.

Les deux usines d'Aliments Carrières Inc. au Québec (St-Denis-sur-Richelieu et Ste-Martine) génèrent près de 100,000 tonnes par année de sous-produits de maïs sucré. Ces sous-produits sont coupés puis pressés légèrement pour en réduire un peu la teneur en eau et chargés dans des camions pour être acheminés principalement vers des sites d'engraissement de bovins de boucherie. Chez les agriculteurs, ces sous-produits sont placés en tas, souvent non couverts de plastique, et il s'en écoule du jus à cause de la forte teneur en eau (16-20% MS), et souvent certaines odeurs, à cause de la pourriture des couches de surface.

Dans le but de diversifier les utilisations des sous-produits de maïs sucré, d'en assurer une bonne conservation jusqu'à leur utilisation et d'éviter les écoulements de jus dans l'environnement et l'émission d'odeurs désagréables, Aliments Carrières Inc. désire mettre au point une technique de conservation qui permettra d'assurer la qualité du produit même après une longue durée d'entreposage et si possible de le livrer aux utilisateurs à n'importe quelle période de l'année.

Nous croyons qu'en augmentant la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré à 30% et en réalisant un ensilage en grosses balles, il est possible d'obtenir un produit final qui rencontrera mieux les besoins des producteurs. Cependant, la méthode utilisée pour augmenter la teneur en matière sèche des sous-produits (pressage, séchage) peut affecter de façon marquée la valeur nutritive, la qualité de fermentation et la stabilité aérobie de l'ensilage réalisé. De plus, la réalisation d'ensilage en grosses balles peut poser certains problèmes parce que les sous-produits de maïs sucré comportent beaucoup de particules fines et beaucoup moins de fibres longues qu'un fourrage conventionnel.

Le but général de cette recherche est d'accroître les connaissances et les technologies pour une meilleure conservation des sous-produits de maïs sucré sous forme d'ensilage, et ce, dans un contexte agroenvironnemental, c'est-à-dire sans utiliser de produits chimiques en entrepôt et en empêchant l'émission d'odeurs désagréables et l'écoulement de jus dans l'environnement.

La présente étude comporte trois objectifs spécifiques. Le premier consiste à évaluer en laboratoire l'efficacité d'une presse commerciale pour augmenter la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré et déterminer la composition des fractions solides et liquides du produit final pour deux niveaux de pressage. Le deuxième objectif est de déterminer l'effet sur la valeur nutritive, la qualité de fermentation et la stabilité aérobie de l'ensilage, de 4 traitements appliqués aux sous-produits de maïs sucré en vue d'augmenter leur teneur en matière sèche (2 méthodes de séchage et 2 niveaux de pressage). Le troisième objectif est d'évaluer l'efficacité de la méthode d'ensilage en grosses balles enrubbannées avec du film plastique, avec les sous-produits de maïs sucré séchés à 30% de matière sèche et d'avoir des données préliminaires concernant leur qualité de conservation à long terme.

Le projet comporte trois volets qui correspondent à chacun de ces objectifs.

VOLET 1 Extraction de l'eau par pressage.

VOLET 2 Ensilage en mini silos.

VOLET 3 Ensilage en grosses balles.

Cette recherche devrait donc permettre de faire des recommandations quant au traitement à privilégier pour augmenter la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré en considérant la qualité du produit final, de déterminer s'il est possible de réaliser un ensilage en grosses balles qui rencontre les besoins des producteurs et d'orienter les recherches futures en vue d'une meilleure valorisation des sous-produits de maïs-sucré.

- REMERCIEMENTS -

Nous tenons à remercier particulièrement M. Jean Masson (SNC-LAVALIN Audet), collaborateur à la réalisation de ce projet et responsable de l'adaptation des séchoirs à l'air chaud et à l'air ambiant utilisés dans le volet 2 du projet.

Merci également à tout le personnel de l'IRDA impliqué dans ce projet, M. Michel Atkins pour son support technique indispensable lors de la réalisation des essais, le personnel ouvrier de l'IRDA à Deschambault qui a contribué à diverses étapes du projet et Mme Diane Dubois pour la réalisation des analyses microbiologiques.

Merci au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD), partenaire sans qui la réalisation de ce projet n'aurait pas été possible, et particulièrement à Mme Lyne Bergeron pour son soutien lors de la planification du projet, à M. Pierre Vincent et Mme Nancy Bolduc pour la réalisation des analyses chimiques et au personnel ouvrier du CRSAD impliqué dans ce projet.

Nous tenons aussi à remercier M. Serge Fournier et M. Pierre Côté, respectivement coordonnateur des ventes et chargé de projet chez « Les Industries Fournier Inc. », pour le support apporté lors de la planification du projet et pour la réalisation d'un essai en laboratoire. Merci aussi à M. Dominic Tessier, M. John Ableson et au « Groupe Lafrenière Tracteurs ». Sans leur collaboration, les essais d'ensilage en grosses balles n'auraient pas pu être réalisés. Merci à la Coopérative Fédérée qui nous a gracieusement fourni l'inoculant bactérien utilisé dans l'essai d'ensilage en mini silos.

Merci finalement à Développement Économique Canada et Aliments Carrière Inc. pour le soutien financier accordé au projet de « Valorisation des sous-produits végétaux » de même qu'à Cintech Agroalimentaire qui nous a confié la responsabilité du volet ensilage. Nous voulons remercier particulièrement M. Michel Casgrain, directeur aux services techniques chez Aliments Carrière Inc. et Mme Maria Barriga, directrice à l'innovation chez Cintech Agroalimentaire, pour leur assistance lors de la planification de ce projet de recherche.

- VOLET 1 -

Extraction de l'eau par pressage

Méthodologie

Matériel

Des sous-produits de conserverie, constitués de spathes et de rafles de maïs-sucré déchetées, provenant de l'usine d'Aliments Carrière Inc. à Saint-Denis-sur-Richelieu ont été utilisés pour réaliser les différentes parties de ce projet de recherche. Des prélèvements ont été réalisés à 5 périodes différentes à l'automne 2004 :

- 1- un échantillon de 5 kg expédié à « Les Industries Fournier Inc. » le 29 août 2004 ;
- 2- un échantillon de 50 kg prélevé le 2 septembre 2004 ;
- 3- 10 tonnes de matériel frais livré à l'IRDA - Deschambault le 14 septembre 2004 ;
- 4- 10 tonnes de matériel frais livré à l'IRDA - Deschambault le 22 septembre 2004 ;
- 5- 8 tonnes de matériel frais livré à l'IRDA - Deschambault le 29 septembre 2004.

Essais préliminaires de pressage

Presse des Industries Fournier Inc.

Un échantillon d'environ 5 kg a été expédié le 29 août 2004 chez « Les Industries Fournier Inc. » à Thedford Mines et analysé en laboratoire le 1^{er} septembre 2004. Deux déterminations ont été faites sur l'échantillon : 1° un aperçu de la teneur en matière sèche qui pourrait être atteinte suite au pressage avec la presse rotative des Industries Fournier Inc. a été obtenu en faisant un essai manuel désigné sous le nom d'essai au torchon et 2° la siccité limite de l'échantillon a été déterminée en appliquant une pression de 100 lbs/po² (689 kPA) pendant 2 heures.

Presse de laboratoire du CRSAD

Un échantillon d'environ 50 kg a été prélevé le 2 septembre 2004 à l'usine de Saint-Denis-sur-Richelieu et conservé au réfrigérateur jusqu'à ce qu'il soit utilisé pour faire un essai préliminaire avec la presse de laboratoire du CRSAD, le 8 septembre 2004. Il s'agit d'une presse qui est utilisée normalement pour compresser l'ensilage dans des silos de laboratoire et que nous avons modifiée pour les besoins de cette expérience, afin d'extraire l'eau des sous-produits de maïs sucré.

Cette presse est composée d'un cylindre hydraulique de 5 cm de diamètre, d'un piston de 60 cm de longueur, d'un système de contrôle de pression et finalement d'un cylindre en ABS « acrylonitrile-butadiène-styrène » de 10 cm de diamètre et 47 cm de hauteur dans lequel on place le matériel à compresser. De plus ce cylindre présente, dans les 30 cm inférieurs, 100 trous de 7 mm de diamètre, par où s'écoule le jus lorsqu'on compresse le matériel.

Cette presse est opérée en plaçant environ 2 kg de matériel humide dans le cylindre en ABS de 10 cm de diamètre et en appliquant une pression maximale de 1500 lbs/po² (10335 kPa) sur le cylindre hydraulique de 5 cm de diamètre, laquelle se traduit en une pression de 375 lbs/po² (2584 kPa) sur le matériel compressé.

Cet essai avait pour but principal de déterminer les conditions qui permettent d'extraire suffisamment d'eau des sous-produits de maïs sucré pour atteindre une teneur en matière sèche de 30%. Nous avons donc étudié l'effet de la pression appliquée sur le piston [1000 lbs/po² (6890 kPa) et 1300 lbs/po² (8957 kPa)] et de la durée de pressage (20, 40 et 60 secondes) sur la teneur en matière sèche finale du matériel ainsi compressé. De plus, une partie du matériel a été haché avec un hachoir de laboratoire afin de déterminer si la presse est plus efficace dans ces conditions. Des échantillons du produit initial et de la fraction solide du produit final ont été prélevés afin de déterminer leur teneur en matière sèche dans chacune des conditions d'opération.

Presse pilote du CRSAD

Une partie des sous-produits de maïs sucré livrés à l'IRDA – Deschambault le 14 septembre 2004 a été utilisée pour effectuer un essai préliminaire avec la presse pilote du CRSAD les 14 et 15 septembre 2004.

Cette presse est composée d'un cylindre hydraulique de 7,5 cm de diamètre, d'un piston de 90 cm de longueur, d'un système de contrôle de pression et finalement d'un cylindre métallique de 35 cm de diamètre et 93 cm de longueur dans lequel on place le matériel à compresser. De plus, ce cylindre de remplissage présente, sur 63 cm de longueur, 134 trous de 12 mm de diamètre régulièrement espacés, par où s'écoule le jus lorsqu'on compresse le matériel.

Cette presse est opérée en plaçant environ 10 kg de matériel humide dans le cylindre métallique de 35 cm de diamètre et en appliquant une pression maximale de 2000 lbs/po² (13780 kPa) sur le cylindre hydraulique de 7,5 cm de diamètre, laquelle se traduit en une pression de 92 lbs/po² (634 kPa) sur le matériel compressé.

Cet essai avait pour but principal de déterminer les conditions qui permettent d'extraire suffisamment d'eau des sous-produits de maïs sucré pour atteindre une teneur en matière sèche de 25%. Nous avons d'abord étudié l'effet de la pression appliquée [1000 lbs/po² (6890 kPa) et 2000 lbs/po² (13780 kPa)] pour une courte durée de pressage. Nous avons ensuite étudié l'effet de la durée de pressage (1, 2 et 3 minutes) sur la teneur en matière sèche finale du matériel, lorsqu'une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) est appliquée sur le cylindre hydraulique. De plus, une partie du matériel a été hachée avec une fourragère conventionnelle (New Holland, modèle 790) réglée pour donner une longueur théorique de hachage de 6 à 12 mm, afin de déterminer si la presse est plus efficace dans ces conditions. Notons que l'effet de la durée de pressage a été étudié dans les heures suivant la livraison des sous-produits de maïs sucré alors qu'ils étaient encore frais, alors que la comparaison du matériel haché et non haché a été faite seulement le lendemain de la livraison, soit dans un délai d'environ 20 heures après la livraison, alors que les sous-produits avaient commencé à chauffer. Des échantillons du produit initial et de la fraction solide du produit final ont été prélevés afin de déterminer leur teneur en matière sèche dans chacune des conditions d'opération.

Pressage pour l'essai d'ensilage en mini silos

Presse de laboratoire du CRSAD

Dans les heures qui ont suivi la livraison du 22 septembre 2004, 16 seaux d'une capacité de 26 litres ont été remplis chacun avec 10 kg de sous-produits de maïs sucré, pour un total de 160 kg, et placés au réfrigérateur (4°C) jusqu'à leur utilisation. Le lendemain, 140 kg de matériel humide (19,4 % MS) ont été compressés, 2 kg à la fois, avec la presse de laboratoire du CRSAD opérée en appliquant une pression de 1500 lbs/po² (10335 kPa) pendant 3 minutes. On a ainsi obtenu 76 kg de matériel asséché (31,0 % MS).

Des échantillons du produit initial de même que des fractions solide et liquide du produit final ont été prélevés afin de déterminer leur teneur en matière sèche et leur composition chimique dans ces conditions d'opération. Les échantillons du produit initial et ceux de la fraction solide du produit final ont été séparés en deux sous échantillons, l'un séché et l'autre congelé alors que les échantillons de la fraction liquide du produit final ont été congelés.

Presse pilote du CRSAD

La journée même de la livraison du 22 septembre 2004 de sous-produits de maïs sucré, 160 kg de matériel humide (20,2 % MS) ont été compressés, 10 kg à la fois, avec la presse pilote du CRSAD opérée en appliquant une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) pendant 3 minutes. On a ainsi obtenu 107 kg de matériel séché (26,4 % MS). Des échantillons de chacune des fractions ont été prélevés et traités comme dans l'essai avec la presse de laboratoire du CRSAD.

Analyses chimiques

La teneur en matière sèche du produit initial et de la fraction solide du produit final a été déterminée sur des échantillons de 500 g par séchage à l'étuve à 60°C pendant 72 heures, selon la méthode standard S358.2 (ASAE, 2000), alors que celle de la fraction liquide du produit final a été faite par lyophilisation. Pour chacune des fractions, les analyses de protéine brute, fibre par détergent acide, fibre par détergent neutre, minéraux (P, K, Ca et Mg) et amidon ont été faites sur un échantillon sec alors que le pH et les sucres solubles ont été déterminés sur un échantillon congelé.

Les minéraux (P, K, Ca et Mg) ont été dosés par spectrophotomètre d'absorption atomique selon la méthode décrite dans le « Répertoire des méthodes d'analyse des aliments du bétail » (CPAQ, 1982). La teneur en amidon a été déterminée selon la méthode Megazyme (AOAC method 996.11) (McCleary et al, 1997). Le dosage des protéines brutes (N x 6,25) a été réalisé selon la méthode Kjeldahl (AOAC, 1990) avec un appareil Teccator (modèle Kjeltex Auto 1030 Analyser) après minéralisation de l'échantillon (digestion system 20, 1015 Digestor). Les teneurs en fibres par détergent acide (ADF) et en fibres par détergent neutre (NDF) ont été déterminées selon la méthode de Van Soest, avec un appareil Teccator (Fibertec System 1010 Extractor) (AOAC, 1990). 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 (AOAC, 1990). Le pH a été déterminé sur 10-15 g de produit placé dans 20-30 ml d'eau

distillée pendant 20 minutes, en insérant l'électrode dans le mélange (pH-mètre Fisher Scientific Acumet 925).

- VOLET 1 -

Extraction de l'eau par pressage

Résultats

1.1 Essais préliminaires

1.1.1 Presse rotative des Industries Fournier Inc.

Le rapport fourni par « Les Industries Fournier Inc. » montre que la teneur en matière sèche de l'échantillon de sous-produit de maïs sucré est passé de 16,21% à 21,28% lors de l'essai en laboratoire désigné sous le nom d'essai au torchon. Ce résultat indique la faible efficacité de cette méthode de pressage dans le cas du matériel en cause. Cette faible efficacité a été attribuée principalement au fait que le matériel est relativement fibreux. De plus, la siccité limite de l'échantillon, évaluée en appliquant une pression de 100 lbs/po² (689 kPA) pendant 2 heures, a été évaluée à 28,02% (tableau 1.1 et annexe 1.1).

Tableau 1.1 Sommaire des analyses effectuées par Les Industries Fournier Inc.

Paramètre	Valeur
Matières solides total (%)	16,21
Matières en suspension (%)	10,59
Matières en solution (%)	5,62
pH	4,02
Essai au torchon (estimé de la MS avec la presse rotative) (%)	21,28
Siccité limite (%) (100 lbs/po ² pendant 2 heures)	28,02

Considérant le résultat négatif obtenu lors de l'essai en laboratoire effectué chez les Industries Fournier Inc., soit l'obtention d'une teneur en matière sèche finale de 21% alors qu'on visait 30%, le traitement prévu avec la presse pilote des Industries Fournier Inc. au volet 2 (ensilage en mini silos) a été remplacé par un traitement avec la presse de laboratoire du CRSAD et un essai préliminaire de cette presse a été ajouté au volet 1.

1.1.2 Presse de laboratoire du CRSAD

Les résultats de l'essai préliminaire avec la presse de laboratoire du CRSAD (tableau 1.2 et annexe 1.2) démontrent que :

- 1° Pour l'ensemble de l'essai, une augmentation de la durée de pressage de 20 secondes à 60 secondes a fait passer la teneur en matière sèche finale de 26,1% à 28,9% en moyenne, soit une augmentation de 2,8%. Ce résultat démontre bien l'importance d'avoir une durée de pressage suffisante.
- 2° Dans le matériel non haché, une augmentation de la pression de 1000 lbs/po² (6890 kPa) à 1300 lbs/po² (8957 kPa) a fait passer la teneur en matière sèche finale de 27,0% à 27,6% en moyenne, soit une augmentation de 0,6%. Il faudrait donc une pression encore plus élevée pour augmenter de façon significative la teneur en matière sèche final. Cependant, il ne semble pas possible d'utiliser une pression de plus de 1500 lbs/po² (10335 kPa) avec la presse en question, à moins de renforcer certaines de ses composantes.
- 3° Dans le matériel pressé à 1000 lbs/po² (6890 kPa), le hachage a fait passer la teneur en matière sèche finale de 27,0% à 27,9% en moyenne, soit une augmentation de 0,9%. En fait, le hachage a eu un effet sur la vitesse de libération de l'eau (gain de 1,0% de MS après 20 secondes), mais a eu peu d'effet après 60 secondes (gain de 0,2%).

Tableau 1.2 Sommaire de l'essai préliminaire avec la presse de laboratoire

Longueur	Pression (lbs/po ²)	Durée (secondes)	Teneur en MS initiale (%)	Teneur en MS finale (%)
Non haché	1000	20-40-60	19,2	27,0
Haché	1000	20-40-60	19,7	27,9
Non haché	1300	20-40-60	18,3	27,6
Moyenne	1000-1300	20	19,1	26,1
Moyenne	1000-1300	40	19,1	27,4
Moyenne	1000-1300	60	19,1	28,9

À la lumière de ces résultats, les conditions d'opération de la presse de laboratoire du CRSAD qui devront être utilisées afin d'obtenir un matériel à 30% de matière sèche, pour la réalisation du traitement 5 du volet 2 (ensilage en mini silos), seront l'application d'une pression de 1500 lbs/po² (10335 kPa) pendant plus de 1 minute. Des tests supplémentaires seront faits sur le matériel utilisé pour réaliser le volet 2 afin de préciser la durée optimale.

1.1.3 Presse pilote du CRSAD

Les résultats de l'essai préliminaire avec la presse pilote du CRSAD (tableau 1.3 et annexe 1.3) démontrent que :

- 1° Une augmentation de la pression de 1000 lbs/po² (6890 kPa) à 2000 lbs/po² (13780 kPa) a fait passer la teneur en matière sèche finale de 19,2% à 22,6%, soit une augmentation de 3,4%, après 1 minute de compression. Ce résultat indique qu'il est important d'avoir une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) et d'augmenter la durée de pressage pour atteindre une teneur en matière sèche de 25% dans un délai raisonnable.
- 2° Pour l'ensemble des essais réalisés avec une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa), une augmentation de la durée de pressage de 1 minute à 3 minutes a fait passer la teneur en matière sèche finale de 23,1% à 26,3% en moyenne, soit une augmentation de 3,2%. Ce résultat démontre bien l'importance d'avoir une durée de pressage suffisante.
- 3° Dans le cas des essais réalisés avec des sous-produits de maïs sucré non hachés et compressés avec une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa), le matériel pressé dans un délai d'environ 20 heures après la livraison a présenté une teneur en matière sèche finale de 24,8% en moyenne, alors qu'elle a été de 23,3% dans le matériel pressé dans les heures suivant la livraison, soit une augmentation de 1,5%, malgré une teneur en matière sèche initiale moins élevée (16,3% vs 17,5%). On en conclut que l'eau a été plus facile à extraire dans le matériel chaud que dans le matériel frais.
- 4° Dans le cas des essais réalisés avec des sous-produits de maïs sucré compressés avec une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa), l'effet combiné du hachage et d'un délai de pressage de 20 heures a été de faire passer la teneur en matière sèche finale de 23,3% (matériel frais non haché) à 24,5% (matériel chaud haché) en moyenne, soit une augmentation de 1,2%. Ce qui semble indiquer que globalement le hachage n'a pas eu d'effet marqué sur la teneur en matière sèche finale. Cependant, l'augmentation de la durée de pressage a eu un effet plus marqué dans le matériel haché et chaud que dans le matériel non haché et frais.

À la lumière de ces résultats, les conditions d'opération de la presse pilote du CRSAD qui ont le plus de chance de permettre d'obtenir un matériel à environ 25% de matière sèche, pour la réalisation du traitement 4 du volet 2 (ensilage en mini silos), semblent être l'application d'une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) pendant 3 minutes. Ce choix a aussi été fait en considérant le fait que le matériel utilisé pour réaliser les autres traitements du volet 2 n'était pas haché.

Tableau 1.3 Sommaire de l'essai préliminaire avec la presse pilote

Longueur	Pression (lbs/po ²)	Durée (minutes)	Teneur en MS initiale (%)	Teneur en MS finale (%)
Non haché ¹	1000	1	17,2	19,2
Non haché ¹	2000	1	17,6	22,6
Non haché ¹	2000	1-2-3	17,5	23,3
Haché ²	2000	1-2-3	16,3	24,5
Non haché ²	2000	1-2-3	16,3	24,8
Moyenne	2000	1	16,5	23,1
Moyenne	2000	2	16,6	23,9
Moyenne	2000	3	17,1	26,3

¹ Pressage effectué dans un délai de 2 heures après la livraison

² Pressage effectué dans un délai de 20 heures après la livraison

1.2 Pressage pour l'essai d'ensilage en mini silos

1.2.1 Presse de laboratoire du CRSAD

Les analyses effectuées sur un échantillon composite de chacune des fractions des sous-produits de maïs sucré pressés avec la presse de laboratoire du CRSAD (tableau 1.4) montrent que :

- 1° Le pressage a fait passer la teneur en matière sèche de 19,4% dans le produit initial à 30,75% dans la fraction solide du produit final et le jus ainsi obtenu a présenté une teneur en matière sèche de 6,6% et une densité de 1,01 g/ml.
- 2° Les teneurs en fibre par détergent acide (35,5% vs 30,7%) et en fibre par détergent neutre (69,3% vs 63,5%) ont été respectivement 4,8% et 5,8% plus élevées dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial.
- 3° La teneur en protéine brute a été comparable (7,1% vs 7,2%) mais la solubilité de la protéine a été plus faible (8,31% vs 11,94%) dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial puisque la partie la plus soluble de la protéine s'est retrouvée dans le jus de pressage.
- 4° Les teneurs en minéraux (P, K, Ca et Mg) ont été plus faibles dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial, puisqu'on en retrouve beaucoup dans le jus de

pressage. En fait, les teneurs en minéraux de la fraction solide du produit final représentent 65% à 70% des teneurs du produit initial.

- 5° La teneur en sucres solubles (6,49% vs 14,13%) a été beaucoup plus faible et la teneur en amidon (4,97% vs 7,37%) seulement un peu plus faible dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial puisqu'on en retrouve beaucoup dans le jus de pressage. En fait, la teneur en sucres solubles de la fraction solide du produit final représente moins de 50% de la teneur du produit initial et la teneur en amidon moins de 70%.
- 6° Le pH a été comparable (4,21 vs 4,17) dans la fraction solide du produit final et dans le produit initial.

Tableau 1.4 Densité de la fraction liquide et composition chimique des différentes fractions des sous-produits de maïs sucré traités avec la presse de laboratoire^{1,2}

Paramètre	Produit initial	Produit final	
		Fraction solide	Fraction liquide
Densité (g/ml)	---	---	1,01
Matière sèche (%)	19,4	30,75	6,6
Fibre par détergent acide (%)	30,7	35,5	---
Fibre par détergent neutre (%)	63,5	69,3	---
Protéine brute (%)	7,2	7,1	5,8
Solubilité de la protéine (%)	11,94	8,31	---
P (%)	0,25	0,18	0,76
K (%)	0,73	0,47	2,11
Ca (%)	0,07	0,05	0,15
Mg (%)	0,14	0,10	0,21
Sucres solubles (%)	14,13	6,49	30,60
Amidon (%)	7,37	4,97	24,28
pH	4,17	4,21	4,22

¹ lors de l'essai effectué le 23 septembre 2004

² conditions d'opération : pression de 1500 lbs/po² (10335 kPa) pendant 3 minutes

1.2.2 Presse pilote du CRSAD

Les analyses effectuées sur un échantillon composite de chacune des fractions des sous-produits de maïs sucré pressés avec la presse pilote du CRSAD (tableau 1.5) montrent que :

- 1° Le pressage a fait passer la teneur en matière sèche de 20,2% dans le produit initial à 26,4% dans la fraction solide du produit final et le jus ainsi obtenu a présenté une teneur en matière sèche de 9,1% et une densité de 1,03 g/ml.
- 2° Les teneurs en fibre par détergent acide (32,7% vs 30,8%) et en fibre par détergent neutre (67,7% vs 62,0%) ont été respectivement 1,9% et 5,7% plus élevées dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial.
- 3° La teneur en protéine brute a été comparable (6,3% vs 6,5%) mais la solubilité de la protéine a été plus faible (5,60% vs 8,66%) dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial puisque la partie la plus soluble de la protéine s'est retrouvée dans le jus de pressage.
- 4° Les teneurs en minéraux (P, K, Ca et Mg) ont été plus faibles dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial, puisqu'on en retrouve beaucoup dans le jus de pressage. En fait, les teneurs en minéraux de la fraction solide du produit final représentent 80% à 85% des teneurs du produit initial.
- 5° Les teneurs en sucres solubles (13,16% vs 16,94%) et en amidon (5,30% vs 7,52%) ont été plus faibles dans la fraction solide du produit final que dans le produit initial puisqu'on en retrouve beaucoup dans le jus de pressage. En fait, la teneur en sucres solubles de la fraction solide du produit final représente moins de 80% de la teneur du produit initial et la teneur en amidon moins de 70%.
- 6° Le pH a été comparable (4,43 vs 4,54) dans la fraction solide du produit final et dans le produit initial.

Tableau 1.5 Densité de la fraction liquide et composition chimique des différentes fractions des sous-produits de maïs sucré traités avec la presse pilote^{1,2}

Paramètre	Produit initial	Produit final	
		Fraction solide	Fraction liquide
Densité (g/ml)	----	----	1,03
Matière sèche (%)	20,2	26,4	9,1
Fibre par détergent acide (%)	30,8	32,7	----
Fibre par détergent neutre (%)	62,0	67,7	----
Protéine brute (%)	6,5	6,3	5,5
Solubilité de la protéine (%)	8,66	5,60	----
P (%)	0,21	0,16	0,51
K (%)	0,63	0,48	1,50
Ca (%)	0,06	0,05	0,08
Mg (%)	0,12	0,10	0,11
Sucres solubles (%)	16,94	13,16	42,90
Amidon (%)	7,52	5,30	33,64
pH	4,54	4,43	4,81

¹ lors de l'essai effectué le 22 septembre 2004

² conditions d'opération : pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) pendant 3 minutes

- VOLET 1 -

Extraction de l'eau par pressage

Conclusion

- 1- La presse rotative des Industries Fournier Inc. n'a pas permis d'obtenir la teneur en matière sèche visée (25%) lors de l'essai en laboratoire. Par contre, la presse de laboratoire du CRSAD a permis d'obtenir un matériel avec une teneur en matière sèche environ 5% plus élevée que la presse pilote du CRSAD (30,75% vs 26,40%).
- 2- Il en a résulté une perte environ 2 fois plus grande de sucres solubles (76 kg/tms vs 38 kg/tms) et de minéraux (P, K, Ca et Mg) qui se sont retrouvés dans le jus de pressage et une augmentation environ 2 fois plus importante de la teneur en fibre par détergent acide (4,8% vs 1,9%).
- 3- La teneur en protéine brute n'a pratiquement pas varié mais la solubilité de la protéine a diminué dans un cas comme dans l'autre, puisque seule la partie la plus soluble de la protéine s'est retrouvée dans le jus de pressage. Ce qui permet d'affirmer que le matériel compressé a une protéine de meilleure qualité que le matériel initial.
- 4- Cependant, suite à l'utilisation de l'une ou l'autre presse, la teneur en amidon a diminué de façon comparable (2,40% vs 2,22%) alors que la teneur en fibre par détergent neutre a augmenté de façon comparable (5,8% vs 5,7%) dans la fraction solide.
- 5- Ainsi, les composantes les plus affectées par un pressage énergétique avec la presse de laboratoire ont été les sucres solubles, les minéraux et la fibre par détergent acide. La diminution de la teneur en sucres solubles et en minéraux dans la fraction solide est due au fait qu'on en retrouve beaucoup dans le jus de pressage alors que l'augmentation de la teneur en fibre détergent acide est une conséquence de la perte des matières les plus solubles.

ANNEXE 1.1

Rapport de l'essai de pressage effectué en laboratoire par Les Industries Fournier Inc.

RÉSULTATS¹

SOUS-PRODUITS DE MAÏS SUCRÉ (Aliments Carrière Inc., Saint-Denis-sur-Richelieu)

PARAMÈTRES DE BASE	
Matières solides totales	16,21 %
Matières en suspension	10,59 %
Matières en solution	5,62 %
Matières volatiles / Matières solides totales	98 %
pH	4,02 à 23,2°C
ESSAI AU TORCHON	
Teneur en M.S. finale	21,28 %
SICCITÉ LIMITE	
Siccité limite avec polymère	28,02 % (2 heures)
Notes :	<ul style="list-style-type: none">- Degré de friction élevé.- Filtration lente.- Application pour canal CV- Matériel expédié le 29 août 2004, reçu le 30 août 2004 et analysé le 1 septembre 2004

¹ Les données énoncées sont basées sur des résultats obtenus en essais de laboratoire et ne doivent pas être interprétées comme une garantie contractuelle.

ANNEXE 1.2

Résultats détaillés de l'essai préliminaire avec la presse de laboratoire (1)

No éch.	OPÉRATION				SOLIDE INITIAL			SOLIDE FINAL		
	Longueur	Pression sur piston (lbs / po2) (2)	Pression sur maïs (lbs / po2) (3)	Durée (sec)	g MV initial	% MS initial	g MS initial	g MV final	% MS final	g MS final
1	Non haché	1000	250	20	2008	0,192	385,54	1288	0,260	334,88
2	Non haché	1000	250	40	2016	0,192	387,07	1189	0,263	312,71
3	Non haché	1000	250	60	2007	0,192	385,34	1130	0,286	323,18
4	Haché	1000	250	20	2023	0,197	398,53	1270	0,270	342,90
5	Haché	1000	250	40	2015	0,197	396,96	1194	0,279	333,13
6	Haché	1000	250	60	2021	0,197	398,14	1129	0,288	325,15
7	Non haché	1300	325	20	2009	0,183	367,65	1225	0,254	311,15
8	Non haché	1300	325	40	2026	0,183	370,76	1108	0,281	311,35
9	Non haché	1300	325	60	2029	0,183	371,31	1091	0,292	318,57
Moyenne	Non haché	1000	250			0,192			0,270	
Moyenne	Haché	1000	250			0,197			0,279	
Moyenne	Non haché	1300	325			0,183			0,276	
Moyenne				20		0,191			0,261	
Moyenne				40		0,191			0,274	
Moyenne				60		0,191			0,289	

(1) essai effectué le 8 septembre 2004

(2) cylindre hydraulique de 5 cm de diamètre

(3) maïs compressé dans un cylindre de 10 cm de diamètre

ANNEXE 1.3

Résultats détaillés de l'essai préliminaire avec la presse pilote (1)

No éch.	Délai (2) (heures)	Longueur	OPÉRATION			SOLIDE INITIAL			SOLIDE FINAL		
			Pression sur piston (lbs / po2) (3)	Pression sur maïs (lbs / po2) (4)	Durée (min)	kg MV initial	% MS initial	kg MS initial	kg MV final	% MS final	kg MS final
1	2	Non haché	1000	46	1	10	0,172	1,72	8,40	0,192	1,61
2	2	Non haché	2000	92	1	10	0,176	1,76	7,50	0,226	1,70
3	2	Non haché	2000	92	2	10	0,176	1,76	6,98	0,234	1,63
4	2	Non haché	2000	92	3	10	0,174	1,74	7,10	0,238	1,69
Moyenne	2	Non haché	2000	92			0,175			0,233	
5	20	Haché	2000	92	1	10	0,158	1,58	6,26	0,228	1,43
6	20	Haché	2000	92	2	10	0,168	1,68	6,14	0,228	1,40
7	20	Haché	2000	92	3	10	0,162	1,62	5,71	0,280	1,60
Moyenne	20	Haché	2000				0,163			0,245	
8	20	Non haché	2000	92	1	10	0,160	1,60	6,56	0,240	1,57
9	20	Non haché	2000	92	2	10	0,154	1,54	5,98	0,256	1,53
10	20	Non haché	2000	92	3	10	0,176	1,76	6,02	0,270	1,63
Moyenne	20	Non haché	2000	92			0,163			0,248	
Moyenne			2000		1		0,165			0,231	
Moyenne			2000		2		0,166			0,239	
Moyenne			2000		3		0,171			0,263	

(1) essai effectué les 14 et 15 septembre 2004

(2) délai après la livraison : 2 heures = matériel frais ; 20 heures = matériel chaud

(3) cylindre hydraulique de 7,5 cm de diamètre

(4) maïs compressé dans un cylindre de 35 cm de diamètre

- VOLET 2 -

Ensilage en mini silos

Méthodologie

Une partie des sous-produits de maïs sucré livrés à l'IRDA – Deschambault le 22 septembre 2004 a été utilisée pour effectuer un essai d'ensilage en mini silos. Cet essai avait pour but de d'étudier l'influence de la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré et de la méthode utilisée pour la faire passer à un niveau plus élevé (séchage, pressage, etc...) sur la qualité de l'ensilage obtenu, sa valeur nutritive et sa stabilité aérobie.

Traitements

Les traitements appliqués aux sous-produits de maïs sucré ont été :

- 1) Produit humide (environ 20% MS) tel que sorti de l'usine
- 2) Produit amené à 30% MS par séchage à l'air chaud
- 3) Produit amené à 30% MS par séchage à l'air ambiant
- 4) Produit amené à 30% MS en combinant pressage et séchage à l'air chaud
- 5) Produit amené à 30% MS par pressage.

Traitement 1

Environ 100 kg de matériel tel que reçu ont été utilisés pour réaliser un témoin humide.

Traitement 2

Un séchoir à l'air chaud adapté aux besoins de cette expérience par SNC-LAVALIN Audet a été utilisé pour préparer le matériel nécessaire à la réalisation du traitement 2. Ainsi, 158 kg de matériel humide ont été placés dans le séchoir de 1 m x 1 m, sur une couche d'environ 450 mm, et séchés à l'air chaud (105°C) pendant environ 2 heures, jusqu'à ce que le poids diminue jusqu'à 100 kg, de façon à ce que la teneur en matière sèche atteigne environ 30%.

Traitement 3

Deux séchoirs à l'air ambiant adaptés aux besoins de cette expérience par SNC-LAVALIN Audet ont été utilisés pour préparer le matériel nécessaire à la réalisation du traitement 3 : il s'agit de deux unités de 1 m x 1 m contenant chacune environ 90 kg de matériel humide placés entre deux grilles sur une couche de 300 mm d'épaisseur et disposées à l'horizontal à 1 m du sol (traitements 4 et 5 du protocole de séchage à l'air ambiant de SNC-LAVALIN Audet). De plus l'une des unités (traitement 5) comportait un paravent de façon à favoriser la circulation de l'air à travers de la masse et les deux traitements comportaient des retournements fréquents de façon à assurer une meilleure uniformité de séchage. Les retournements ont été effectués trois fois par jour au cours des deux premières journées et une fois par jour par la suite. Les séchoirs et leur contenu ont été pesés lors de chaque retournement de façon à suivre l'évolution de la perte de poids du matériel. Le séchage devait se poursuivre jusqu'à ce que le poids correspondant à une teneur en matière sèche de 30% soit atteint ou après trois jours s'il n'était pas atteint. Comme la perte de poids a été plus lente que prévu, le séchage a été poursuivi pendant deux jours supplémentaires (5 jours au lieu de 3). Les deux séchoirs ont alors été vidés et leur contenu a été mélangé à l'aide d'un mélangeur d'aliments de ferme (Rovibec).

Traitement 4

Le matériel utilisé pour le traitement 4 a été obtenu par pressage avec la presse pilote du CRSAD (cf. volet 1) suivi de séchage avec le séchoir à l'air chaud de SNC-LAVALIN Audet. La journée même de la livraison du 22 septembre 2004, 160 kg de matériel humide (20,2% MS) ont été compressés, 10 kg à la fois, avec la presse pilote du CRSAD opérée en appliquant une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) pendant 3 minutes. On a ainsi obtenu 107 kg de matériel à 26,4% MS. 105 kg de matériel asséché par pressage (26,4% MS) ont par la suite été séchés à l'air chaud (105°C) avec le séchoir expérimental de SNC-LAVALIN Audet, pendant environ 20 minutes, jusqu'à ce que le poids diminue jusqu'à 90 kg, de façon à ce que la teneur en matière sèche atteigne environ 30%.

Traitement 5

Le matériel utilisé pour le traitement 5 a été obtenu par pressage avec la presse de laboratoire du CRSAD (cf. volet 1). Dans les heures qui ont suivi la livraison du 22 septembre 2004, 16 seaux d'une capacité de 26 litres ont été remplis chacun avec 10 kg de sous-produits de maïs sucré, pour un total de 160 kg, et placés au réfrigérateur (4°C) jusqu'à leur utilisation. Le lendemain, 140 kg de matériel humide (19,4% MS) ont été compressés, 2 kg à la fois, avec la presse de laboratoire du CRSAD opérée en appliquant une pression de 1500 lbs/po² (10335 kPa) pendant 3 minutes. On a ainsi obtenu 76 kg de matériel à 30,75% MS.

Ordre et délai de réalisation

Les sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser l'expérience ont été chargés dans une voiture à ensilage à déchargement latéral et la quantité nécessaire pour réaliser chaque traitement a été prélevée à la vis de déchargement, selon un ordre établi au hasard.

Les traitements 1, 2, 3 et 4 ont été réalisés entre 14 h et 20 h le 22 septembre 2004. En supposant que les sous-produits sont sortis de l'usine vers 10h, le délai entre la sortie de l'usine et la réalisation des traitements a été de 4 à 10 heures. Quant au traitement 5, il a été réalisé seulement le lendemain entre 9h et 12h. Le délai a donc été de 23 à 26 heures, mais le matériel avait été placé au frigidaire peu de temps après la livraison, compte tenu du long délai prévu.

Inoculation

Les sous-produits de maïs sucré de chacun des cinq traitements ont été inoculés avec un inoculant bactérien commercial (Ener-sile 5, Coopérative Fédérée de Québec). Cet inoculant contient des bactéries productrices d'acide lactique (*Lactobacillus plantarum*, var PA-28^{MC} et K-270^{MC}, minimum 1 x 10¹¹ UFC / g). Il a été appliqué selon les recommandations du manufacturier : 50 g d'inoculant / 100 litres d'eau x 2 litres de solution / tonne d'ensilage = 1 g d'inoculant / tonne d'ensilage. Ce traitement fournit 1 x 10¹¹ UFC de bactéries productrices d'acide lactique par tonne d'ensilage (1 x 10¹¹ UFC / g d'inoculant x 1 g d'inoculant / tonne d'ensilage). Pour réaliser l'inoculation, les sous-produits de maïs sucré ont été placés en quantité plus que suffisante pour remplir quatre silos de laboratoire (100 à 150 kg selon le traitement) dans un mélangeur d'aliments de ferme (Rovibec) et l'inoculant a été vaporisé sur le matériel pendant que le mélangeur était en opération. On a utilisé un applicateur domestique d'une capacité de 5 litres, équipé d'un jet plat no 11001, qu'on a opéré à une pression de 20 lbs/po² (138 kPa). Exemple : pour traiter 100 kg de sous-produits, la durée d'application est de

43 secondes lorsque la dose d'application visée est de 200 ml / 100 kg et que le débit est de 280 ml / 60 secondes.

Mise en silo et fermentation

Après avoir été inoculés, les sous-produits de maïs sucré ont été utilisés pour réaliser une expérience comportant 20 mini silos (5 traitements x 4 répétitions). Le matériel de chaque traitement a été ensilé dans quatre silos de laboratoire d'environ 44 cm de hauteur et 27,5 cm de diamètre (26 litres) en le compressant à une densité d'environ 200 kg MS / m³ à l'aide d'une presse hydraulique conçue à cette fin. Le contenu de chaque silo a été pesé et des fils thermocouples ont été insérés dans chaque silo afin de suivre la température de fermentation. Les silos ont été entreposés dans une pièce dont la température a été maintenue à environ 20°C. Après 120 jours d'entreposage, soit le 18 janvier 2005, les silos ont été ouverts, leur contenu a été pesé et le développement du mycélium a été évalué visuellement selon une échelle de 0 à 5 (0 = aucune moisissure, 5 = complètement moisi, mycélium très dense).

Test de stabilité aérobie

Un test de stabilité aérobie a été réalisé en plaçant 1400-2200 g d'ensilage provenant de chaque silo, selon la teneur en matière sèche moyenne de l'ensilage de chaque traitement, dans deux bacs de polystyrène de 7,5 litres maintenus ouverts, coton fromage sur le dessus, à une température ambiante de 20°C pour une durée de 7 jours et de 14 jours respectivement. De plus, dix témoins inertes ont été préparés (deux par traitement), en traitant le matériel ensilé avec un mélange constitué de 311 g d'acide formique 85%, 345 g d'acide propionique 99% et 344 g d'eau distillée, le tout appliqué au taux de 25 ml/kg de sous-produits de maïs sucré. Le contenu de chaque bac a été pesé et des fils thermocouples ont été insérés dans les bacs à ouvrir après 14 jours, au centre du matériel sous observation, afin de suivre en continu la température pendant toute la durée du test. Après 7 jours et 14 jours d'exposition à l'air, le contenu de chaque bac a été pesé et le développement du mycélium a été évalué visuellement selon une échelle de 0 à 5. Le suivi de température a permis de déterminer les principaux critères utilisés pour caractériser la stabilité aérobie d'un ensilage soit le nombre d'heures pour une élévation de température de 2°C et 3°C par rapport aux témoins inertes, la température maximale et le temps pour l'atteindre, de même que l'élévation moyenne de température pendant 7 jours et 14 jours.

Prélèvement et préparation des échantillons

Cinq échantillons, soit un par traitement, ont été prélevés sur le matériel utilisé pour réaliser l'expérience, 1° avant de réaliser les traitements de pressage et/ou séchage et 2° après les avoir réalisés. Vingt échantillons, soit un pour chaque silo, ont été prélevés 1° lors du remplissage, de même que 2° lors du vidage des silos. Finalement, vingt échantillons, soit un pour chaque bac, ont été prélevés après 7 jours et 14 jours du test de stabilité aérobie. Chaque échantillon a généralement été séparé en trois sous-échantillons, l'un séché pour déterminer la teneur en matière sèche et réaliser les analyses de valeur nutritive, l'autre congelé pour la détermination du pH et des autres paramètres de la fermentation et le troisième conservé au réfrigérateur pour réaliser les analyses microbiologiques. Les échantillons destinés à l'analyse des paramètres de la valeur nutritive ont été séchés à 60°C puis broyés à 1 mm. Les échantillons destinés à l'analyse des paramètres de la fermentation ont été congelés, puis

broyés avec un robot culinaire en utilisant de la glace sèche pour éviter la perte des composantes volatiles. Les échantillons destinés aux analyses microbiologiques ont été placés au réfrigérateur (3°C) immédiatement après leur prélèvement et expédiés au laboratoire dans les meilleurs délais.

Analyses chimiques et microbiologiques

La teneur en matière sèche, le pH et les populations de levures totales et de moisissures totales ont été déterminées sur tous les échantillons prélevés, soit avant traitement, après traitement, après fermentation et après exposition à l'air de l'ensilage.

La protéine brute, la solubilité de la protéine, la protéine liée à la fibre, la fibre par détergent acide, la fibre par détergent neutre, les minéraux (P, K, Ca et Mg), l'amidon, les sucres solubles, l'azote ammoniacal, l'acide lactique et les acides gras volatils ont été déterminées avant traitement, après traitement et après fermentation. Des analyses de sucres solubles, d'amidon et de minéraux (P, K, Ca et Mg) ont aussi été faites sur un nombre limité d'échantillons de jus de pressage (cf. volet 1).

Le pouvoir tampon et les populations des bactéries lactiques ont été déterminées seulement sur les échantillons prélevés avant traitement et après traitement.

Le pH de même que les teneurs en matière sèche, en minéraux, en amidon, en protéines brutes (N x 6,25), en fibres par détergent acide (ADF), en fibres par détergent neutre (NDF) et en protéine liée (ADF-protéine) ont été déterminés selon les méthodes décrites au volet 1. Le pouvoir tampon a été déterminé de la façon suivante : on place 20 grammes d'ensilage dans un bécher et on ajoute 200 ml d'eau distillée. On abaisse le pH jusqu'à 4,0 avec du HCl, puis on le monte de 4,0 à 6,0 par titration avec du NaOH 0,2 N. Le pouvoir tampon est exprimé en mEq de NaOH/kg MS.

Les hydrates de carbone solubles (HCS), les acides organiques et l'azote ammoniacal (N-NH₃) 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 (glucose, fructose, sucrose, lactose et arabinose) et les acides organiques (lactique, acétique, propionique, butyrique, iso-butyrique) ont été séparés et quantifiés à l'aide d'un système de chromatographie liquide à haute performance (HPLC) Waters 600^E (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 0,025 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 réfraction (Waters 410) selon la méthode du CRSAD (communication personnelle). Le dosage de l'azote ammoniacal a été réalisé par colorimétrie (CPAQ, 1982) avec un spectrophotomètre de marque Milton Roy (modèle 1201).

Le compte des levures totales et des moisissures totales a été effectué selon la méthode de Santé Canada (2004) modifiée en utilisant comme milieu de culture une gélose d'extrait de malt additionnée de rose de Bengal (0,005%), de streptomycine (100 mg/ml) et néomycine (50 mg/ml) et en réalisant une incubation pendant 5 jours. Le compte des bactéries lactiques a été effectué selon la méthode de McDonald et al (1987).

Analyse statistique

Les paramètres suivants ont été mesurés en 4 répétitions et analysés statistiquement :

- A- Sur l'ensilage à la sortie du silo :
 - 1- Perte de matière sèche pendant l'entreposage ;
 - 2- Analyse des paramètres de la fermentation : teneur en matière sèche, pH, acide lactique, acides gras volatils, sucres solubles et azote ammoniacal ;
 - 3- Développement des microorganismes indésirables : observation visuelle du mycélium (échelle de 0 à 5), compte des levures totales et compte des moisissures totales ;
 - 4- Analyse des paramètres de la valeur nutritive : protéine brute, solubilité de la protéine, protéine liée à la fibre, fibre par détergent acide et fibre par détergent neutre.

- B- Sur l'ensilage exposé à l'air (test de stabilité aérobie) :
 - 1- Chauffage de l'ensilage : nombre d'heures pour une élévation de 2°C et 3°C, température maximale et temps pour l'atteindre, élévation moyenne de température pendant 7 jours et 14 jours ;
 - 2- Développement des microorganismes indésirables : observation visuelle du mycélium (échelle de 0 à 5), compte des levures totales et compte des moisissures totales ;
 - 3- Teneur en matière sèche, pH et perte de matière sèche.

L'expérience a été réalisée selon un dispositif complètement aléatoire et les résultats ont été analysés avec la procédure GLM de SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC) selon le modèle suivant :

	d. l.
4 répétitions	
5 traitements	4
erreur	15
total	19

Avant de faire les analyses statistiques, des transformations logarithmiques ont été réalisées sur les comptes microbiens et des transformations angulaires (arc sinus) sur les observations visuelles du développement du mycélium. Les moyennes des données transformées ont été rapportées dans le premier cas et les moyennes pondérées dans le second cas. Les moyennes ont été séparées statistiquement à l'aide du test de Duncan (DUNCAN option de SAS). Tous les tests ont été réalisés avec un niveau de probabilité $P < 0,05$.

- VOLET 2 -

Ensilage en mini silos

Résultats

2.1 Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré utilisés

Les caractéristiques des sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser l'expérience en mini silos, pour chacun des paramètres étudiés de la fermentation, de la valeur nutritive et de la microbiologie, sont présentées à l'annexe 2.1 et les valeurs moyennes pour les principaux paramètres au tableau 2.1. Ces sous-produits se caractérisent par une teneur en matière sèche (19,8%) plus faible que celle généralement recommandée pour réaliser un bon ensilage. Leur pouvoir tampon (139,9 mEq NaOH/kg MS) est comparable à celui généralement observé dans le maïs fourrager (plante entière) et plus faible que celui de la fléole des prés et de la luzerne, mais beaucoup plus élevée que celui du maïs-épi humide. Ce résultat indique que la quantité d'acide qui doit être produite pour abaisser le pH des sous-produits de maïs sucré de 6,0 à 4,0 est comparable à celle nécessaire dans le maïs fourrager (annexe 2.7). Compte tenu de leur pouvoir tampon relativement faible et de leur teneur en sucres solubles élevée (17,61%), les sous-produits de maïs sucré ont une ensilabilité très élevée. En effet, le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » des sous-produits de maïs sucré (1259 g/Eq) est comparable à celui du maïs-épi humide et beaucoup plus élevé que celui du maïs fourrager et des autres plantes fourragères (annexe 2.7). Par contre, leur teneur en amidon (8,01%) est beaucoup plus faible que celle du maïs fourrager (annexe 2.11).

Au moment de réaliser les traitements, le pH des sous-produits utilisés était déjà relativement bas (4,39), ce qui semble indiquer que la fermentation était déjà amorcée. Cependant, le pH de stabilité anaérobie n'était pas atteint. En effet, selon Wieringa (1969), un fourrage qui a une teneur en matière sèche de 20% doit avoir un pH de 4,0 ou moins pour inhiber la croissance des bactéries butyriques et assurer la stabilité de l'ensilage tant que les conditions anaérobies sont maintenues (annexe 2.9). De plus, selon Weibach et al (1974), un fourrage qui a une teneur en matière sèche de 20% et un pouvoir tampon de 142 mEq NaOH / kg MS a besoin de seulement 6% de sucres solubles pour permettre une telle acidification. Ainsi, les sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser cette expérience avaient environ trois fois plus de sucres solubles que la quantité nécessaire pour leur permettre d'atteindre le pH qui assure leur stabilité anaérobie. De plus, les sous-produits de maïs sucré utilisés ont présenté une population de bactéries lactiques très élevée (18,53 log UFC/g). Ce résultat indique qu'au moment de réaliser les traitements, la population de bactéries lactiques avait déjà atteint le niveau requis pour une production active d'acide lactique. En effet, une population de bactéries lactiques d'environ 8 log UFC/ g de fourrage frais doit être atteinte avant que le pH descende (Muck, 1988 ; cité par Jaster, 1995). Cependant, on y a trouvé aussi une population de levures élevée (6,81 log UFC/g) et une population de moisissures moyennement élevée (4,90 log UFC/g), ce qui en fait un matériel sujet à la détérioration.

Les analyses de valeur nutritive révèlent par ailleurs que les sous-produits de maïs sucré « non traités et non fermentés » ont présenté une teneur en protéine brute 2% plus faible (6,80% vs 8,8%), une teneur en fibre par détergent acide (ADF) 2,62% plus élevée (30,72% vs 28,1%) et une teneur en fibre par détergent neutre (NDF) 18,74% plus élevée (63,74% vs 45,0%) qu'un ensilage de maïs (plante entière) « normal » selon le Conseil National de Recherche (annexe 2.8). Cependant cette comparaison est trompeuse, puisqu'on compare un produit non fermenté avec un produit fermenté. Les analyses après fermentation seront donc plus révélatrices.

Tableau 2.1 Principales caractéristiques des sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser l'essai d'ensilage en mini silos

Paramètre	Valeur moyenne
Fermentation	
Matière sèche (%)	19,8
pH	4,39
Pouvoir tampon (mEq NaOH/kg MS)	139,9
Sucres solubles (%)	17,61
Sucres soluble / pouvoir tampon (g / Eq)	1259
Amidon (%)	8,01
Valeur nutritive	
Protéine brute (%)	6,80
Solubilité de la protéine (%)	8,41
Protéine liée à la fibre (%)	0,46
Fibre par détergent acide (%)	30,72
Fibre par détergent neutre (%)	63,74
Microbiologie	
Levures totales (log UFC/g)	6,81
Moisissures totales (log UFC/g)	4,90
Bactéries lactiques (log UFC/g)	8,53

2.2 Effet des traitements sur la fermentation

L'effet des traitements sur chacun des paramètres de la fermentation, de la valeur nutritive et de la microbiologie est présenté aux annexes 2.2 (caractéristiques au moment de la mise en silo) et 2.3 (caractéristiques après 120 jours d'entreposage). Nous analyserons ci-après les résultats obtenus pour chaque paramètre étudié.

2.2.1 Procédé d'ensilage

Matière sèche

Les mesures effectuées avant de réaliser les traitements indiquent que les sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser cette expérience avaient une teneur en matière sèche (19,8% en moyenne) relativement uniforme d'un traitement à l'autre.

Le séchage à l'air chaud (T2), le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) et le traitement avec la presse de laboratoire (T5) ont permis d'atteindre la teneur en matière sèche visée (30%) avec des valeurs de 31,55%, 32,10% et 30,75% respectivement. Par contre, ce ne fut pas le cas avec le séchage à l'air ambiant (T3) puisque la teneur en matière sèche du matériel ainsi traité a été de seulement 23,50% au moment de la mise en silo.

La fermentation a fait diminuer la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré de façon moins marquée dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = +0,05%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = -0,95%) que dans le témoin humide (T1 = -2,80%), le matériel séché à l'air chaud (T2 = -2,25%) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = -2,70%), ce qui semble la conséquence d'une fermentation moins intense des traitements 3 et 5.

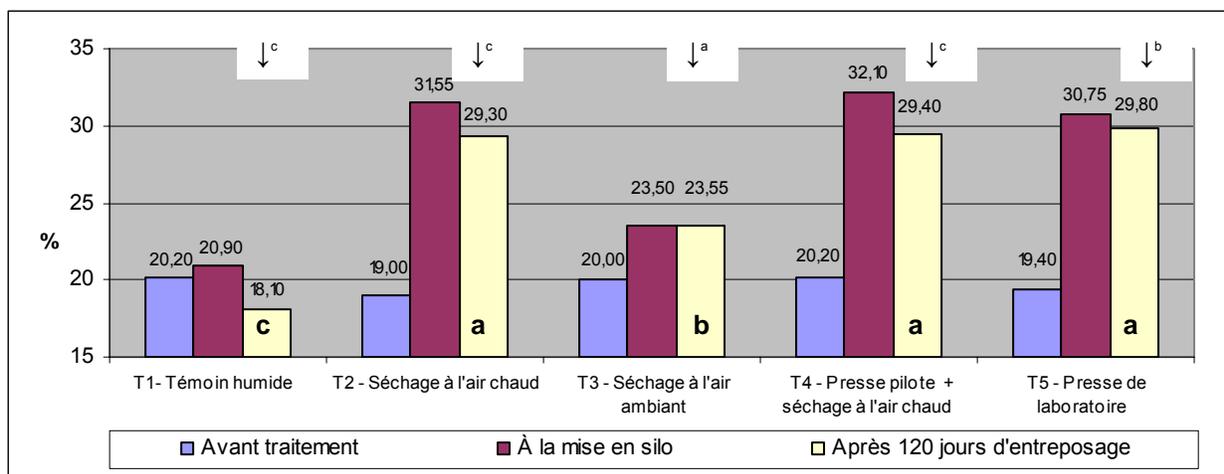


Figure 2.1 Effet des traitements sur la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Après 120 jours d'entreposage, la teneur en matière sèche de l'ensilage séché à l'air chaud (T2 = 29,30%), de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 29,40%) et de celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 29,80%) a été significativement plus élevée que celle du matériel séché à l'air ambiant (T3 = 23,55%) qui a été elle-même plus élevée que celle du témoin humide (T1 = 18,10%), tout comme lors de la mise en silo (figure 2.1).

Température de fermentation

Les courbes de température de fermentation laissent voir que le chauffage a été peu prononcé et de courte durée. Les sous-produits ensilés le 22 septembre (jour 266) ont vu leur température augmenter pour passer par un maximum de près de 25°C le 23 septembre (jour 267), soit 24,75°C pour le témoin humide (T1), 24,39°C pour le séchage à l'air chaud (T2) et 24,78°C pour la combinaison de la presse pilote et du séchage à l'air chaud (T4). Par la suite leur température a diminué rapidement pour se situer environ au même niveau que l'air ambiant 4 jours plus tard. Les sous-produits ensilés le 23 septembre (jour 267) après avoir été traités avec la presse de laboratoire (T5), ont chauffé un peu moins (maximum de 22,92°C le lendemain). Finalement les sous-produits séchés à l'air naturel pendant 5 jours (T3) et ensilés le 27 septembre (jour 271) ont présenté une température de 27,28°C au cours de cette journée, mais celle-ci a diminué rapidement par se situer à un niveau comparable aux autres traitements trois jours plus tard (figure 2.2).

Il est normal que le chauffage soit moins prononcé et de plus courte durée dans des silos de petites dimensions que dans des silos de grandes dimensions parce que la chaleur produite par la fermentation se perd rapidement à cause d'un rapport surface/volume élevé. Cependant, le très faible chauffage observé semble dû aussi au fait que l'acidification était déjà amorcée au moment de la mise en silo.

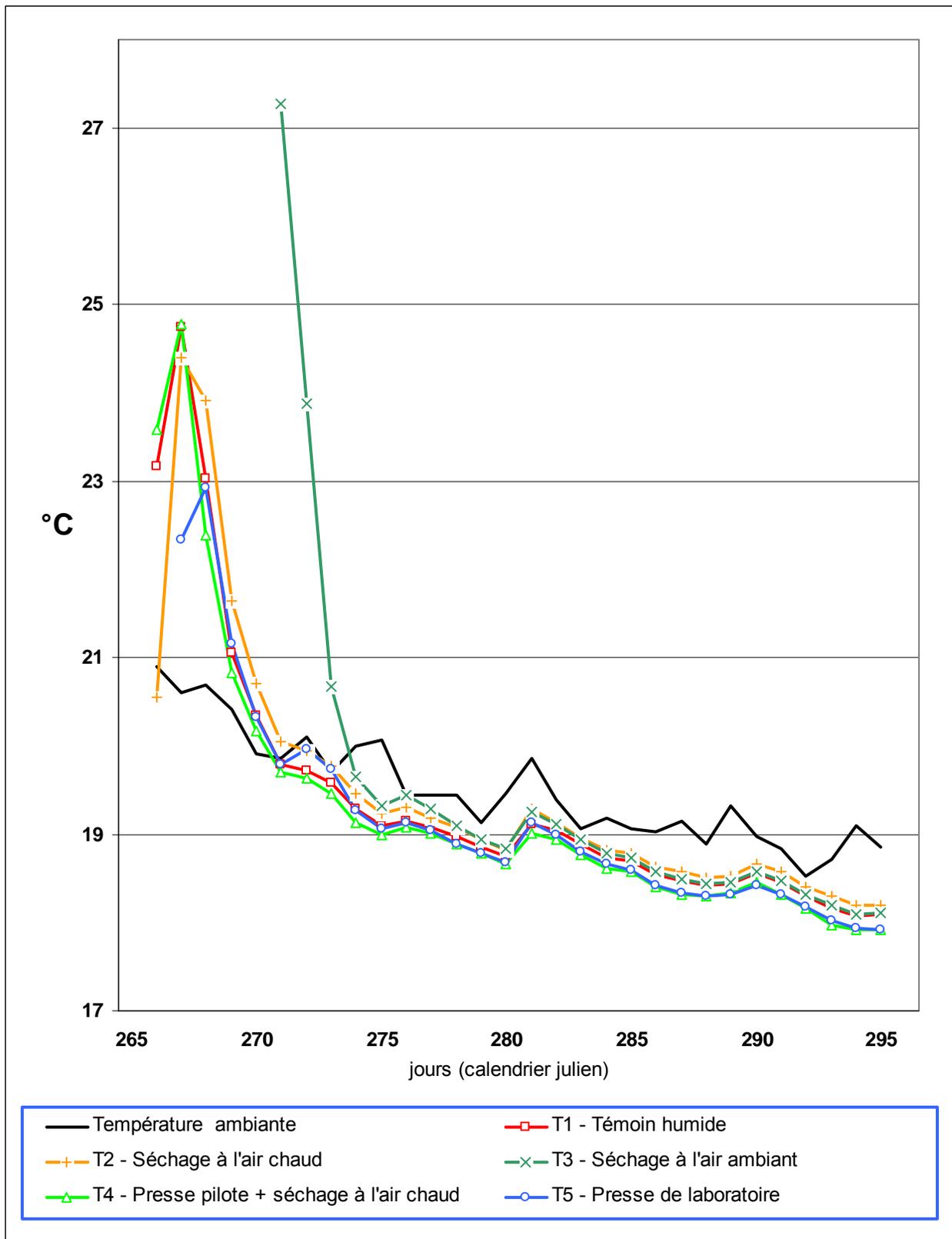


Figure 2.2 Effet des traitements sur la température de fermentation des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

pH

Le pH a été de 4,39 en moyenne dans les sous-produits non traités, ce qui indique que l'acidification était déjà amorcée au moment de réaliser les traitements. Cependant le pH des sous-produits traités avec la presse de laboratoire (T5 = 4,17) a été un peu plus faible que celui des autres traitements. Ceci peut être dû au plus long délai entre la réception et la mise en silo pour ce traitement.

Au moment de la mise en silo, le pH a été de 4,44 en moyenne et peu différent de celui avant traitement, si ce n'est dans le cas du séchage à l'air chaud (T2 = 4,45 vs 4,30) et du séchage à l'air ambiant (T3 = 4,68 vs 4,47). Ces traitements semblent avoir fait augmenter un peu le pH, possiblement suite à la perte d'une partie des acides gras volatils déjà produits.

Après 120 jours d'entreposage, tous les traitements ont donné un ensilage avec un pH inférieur à 3,60 et le pH moyen a été de 3,46, ce qui indique que la fermentation a été très poussée, quel que soit le traitement. Cependant, chacun des traitements a influencé le pH de façon significative. Celui-ci a été à son plus haut niveau dans le matériel séché à l'air chaud (T2 = 3,53) et celui séché à l'air ambiant (T3 = 3,53) et à son plus bas niveau dans le témoin humide (T1 = 3,37). À un niveau intermédiaire, on retrouve le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5 = 3,45) suivi de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 3,40) (figure 2.3).

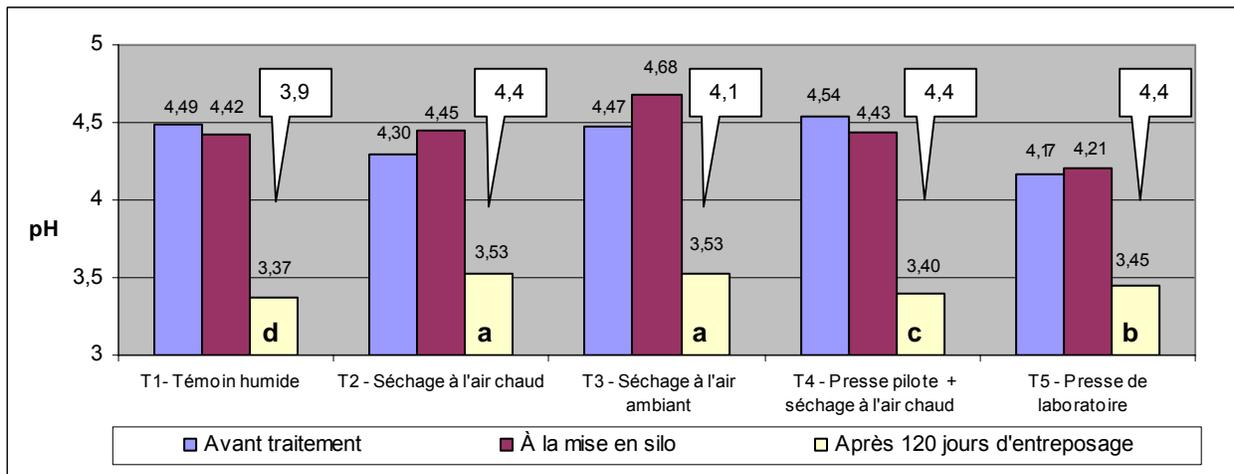


Figure 2.3 Effet des traitements sur le pH des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

 = pH de stabilité anaérobie selon la teneur en matière sèche après 120 jours d'entreposage (Wieringa, 1969).

Dans chaque cas, le pH a été beaucoup plus faible que le niveau nécessaire pour assurer la stabilité anaérobie de l'ensilage (annexe 2.9). L'écart a été d'environ 0,5 pour T1 et T3, 0,8 pour T2 et 1,0 pour T4 et T5. Ainsi, la concentration en ions hydrogène a été 3 à 4 fois plus élevée que celle qui correspond au pH de stabilité anaérobie dans le cas du témoin humide (T1) et du matériel séché à l'air ambiant (T3), alors qu'elle a été 7 à 8 fois plus élevée dans le cas du matériel séché à l'air chaud (T2) et 9 à 10 fois plus élevée pour celui traité avec la presse pilote et séché à l'air chaud (T4) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5).

Le pH est un bon indicateur pour juger de la qualité globale des ensilages fermentés naturellement, sauf dans le cas des ensilages à haute teneur en matière sèche. Cependant, les proportions relatives des acides produits par la fermentation apportent un éclairage supplémentaire, surtout dans le cas des ensilages à faible teneur en matière sèche.

Acide lactique

La teneur en acide lactique a été généralement inférieure à 1% dans les sous-produits non traités, de même qu'au moment de la mise en silo, ce qui semble indiquer que la fermentation lactique était à peine amorcée à ce moment.

Par contre, les mesures effectuées après 120 jours d'entreposage indiquent qu'il y a eu une bonne production d'acide lactique quel que soit le traitement. En fait, la teneur en acide lactique a été à son plus haut niveau dans le témoin humide (T1 = 16,34%) et à son plus bas niveau dans le matériel séché à l'air chaud (T2 = 8,54%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 8,97%). À un niveau intermédiaire, on retrouve le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séchés à l'air chaud (T4 = 11,94%) suivi de celui séché à l'air ambiant (T3 = 9,84%) (figure 2.4).

La plus forte production d'acide lactique du témoin humide (T1) est la conséquence de sa faible teneur en matière sèche qui favorise l'activité des bactéries lactiques, dans un matériel dont le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » élevé ne limite pas la fermentation. Par contre, la faible production d'acide lactique du matériel séché à l'air chaud (T2) peut être due au fait que la température de séchage élevée (105°C) a nuit à l'activité ultérieure des bactéries lactiques, puisque celles-ci ont leur activité maximale à 30°C (Lafrenière et al, 1998). Le séchage à haute température peut aussi avoir favorisé la dominance de bactéries hétérolactiques thermophiles.

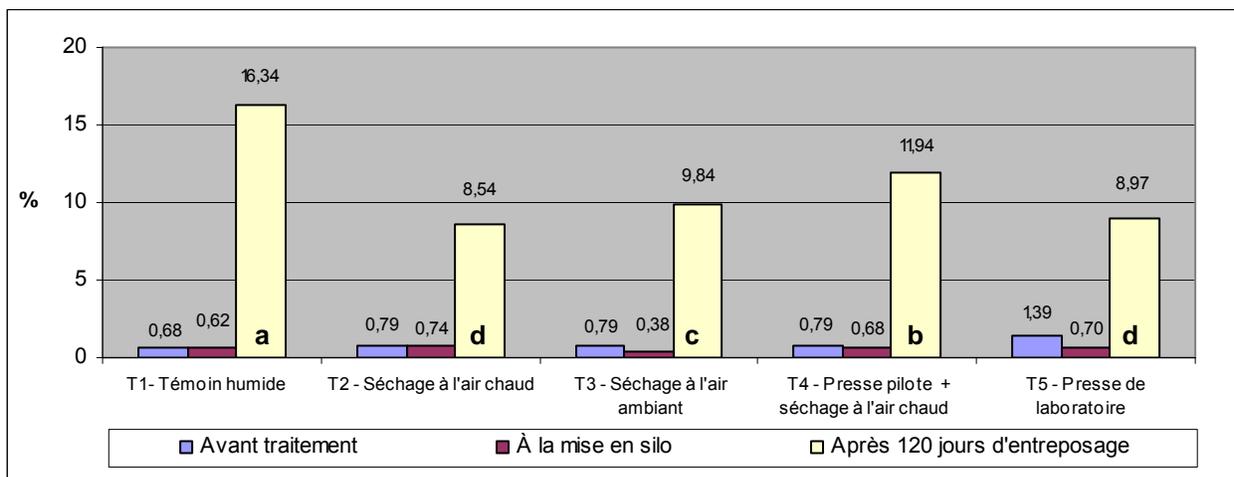


Figure 2.4 Effet des traitements sur la teneur en acide lactique des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Acide acétique

La teneur en acide acétique a été inférieure à 1% dans les sous-produits non traités, de même qu'au moment de la mise en silo, sauf pour le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5).

Après 120 jours d'entreposage, la teneur en acide acétique a été relativement élevée dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 3,40%) tout comme dans le témoin humide (T1 = 3,64%) alors qu'elle a été significativement plus faible dans le matériel séché à l'air chaud (T2 = 2,27%), celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 2,20%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 2,56%) (figure 2.5).

La teneur élevée en acide acétique du témoin humide (T1) est probablement liée au fait que la fermentation lactique des sous-produits sous étude a été réalisée principalement par des bactéries hétérolactiques, c'est-à-dire qui produisent de l'acide acétique en plus de l'acide lactique. Par contre, la teneur en acide acétique élevée du matériel séché à l'air ambiant (T3) est possiblement la conséquence de l'activité de bactéries spécifiquement productrices d'acide acétique, telles les entérobactéries, puis que la teneur en acide lactique de ce matériel est plus faible que celle du témoin humide.

Selon le barème d'appréciation qualitative des ensilages, un ensilage doit avoir une teneur en acide acétique inférieure à 2% pour être considéré d'excellente qualité, inférieure à 3,5% pour être de bonne qualité et inférieure à 5% pour être de qualité satisfaisante. Ainsi, aucun traitement n'a donné d'ensilage d'excellente qualité à l'égard de leur teneur en acide acétique. Le matériel séché à l'air chaud (T2), celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) seraient de bonne qualité alors que celui séché à l'air ambiant (T3) ne serait que de qualité satisfaisante tout comme le témoin humide (T1) (annexe 2.10).

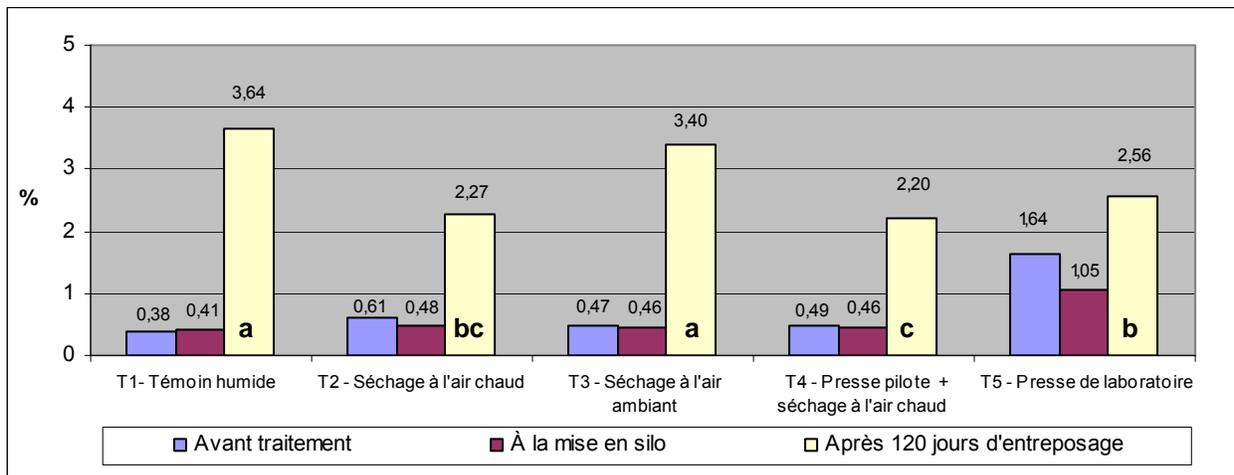


Figure 2.5 Effet des traitements sur la teneur en acide acétique des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos
a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Rapport « acide lactique / acide acétique »

Après 120 jours d'entreposage, le rapport « acide lactique / acide acétique » a été à son plus haut niveau dans le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 5,45) et à son plus bas niveau dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 2,90). À un niveau intermédiaire, on retrouve le témoin humide (T1 = 4,51) suivi de celui séché à l'air chaud (T2 = 3,82) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 3,51) (figure 2.6).

Le rapport « acide lactique / acide acétique » est utilisé pour caractériser le type de fermentation et son efficacité. Une fermentation dominée par des bactéries homolactiques se traduit en un rapport « acide lactique / acide acétique » élevé alors que si la fermentation est dominée par des bactéries hétérolactiques ce rapport est faible. La première est plus efficace que la seconde parce que l'acide lactique est un meilleur acidifiant que l'acide acétique. Le type de fermentation obtenu dans un ensilage dépend non seulement des proportions relatives des différentes bactéries productrices d'acide lactique présentes sur le fourrage, mais aussi des conditions de réalisation : teneur en matière sèche, sucres disponibles, longueur de hachage, délai de mise en silo, degré de compaction, etc.

Même s'il n'y a pas de norme établie pour le rapport « acide lactique / acide acétique », on peut considérer qu'un rapport >10 est excellent, 7,5-10 est bon, 5-7,5 est satisfaisant, 2,5-5 est médiocre et 1-2,5 est très mauvais. Ainsi, en terme d'efficacité de la fermentation, la cote n'est que de satisfaisante à médiocre, dans les conditions de cette expérience.

Ce résultat peut être dû au fait que le délai entre le déchiquetage des sous-produits (à l'usine) et la mise en silo a été relativement long. Une forte dominance de bactéries hétérolactiques dans la flore naturelle présente sur le maïs pourrait aussi expliquer ce résultat. Pour vérifier cette hypothèse, il aurait fallu faire l'identification et la quantification de chaque espèce de bactéries lactiques présentes.

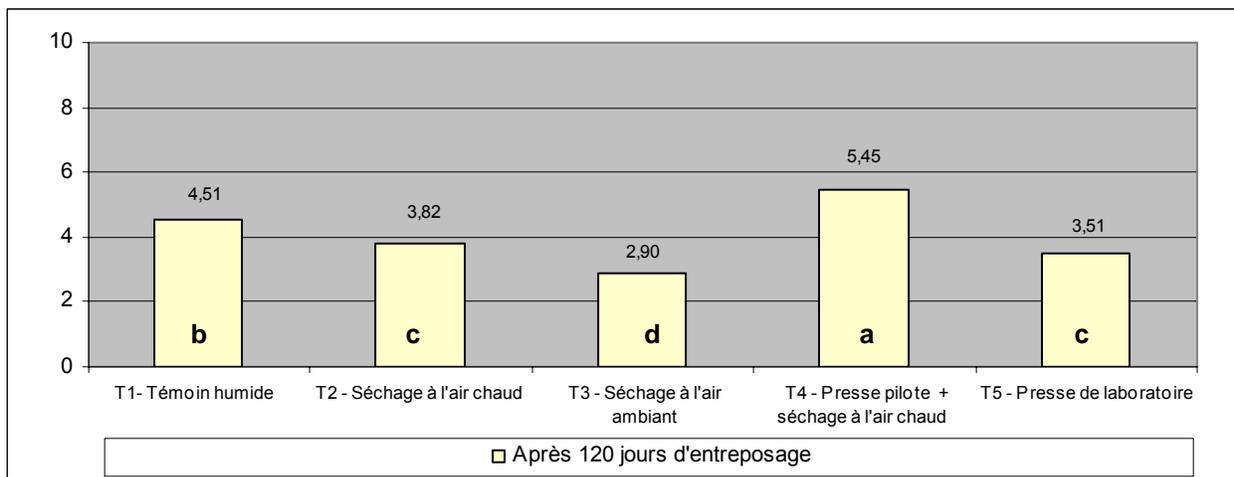


Figure 2.6 Effet des traitements sur le rapport « acide lactique / acide acétique » des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos
a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Azote ammoniacal

La teneur en azote ammoniacal (éq. P.B.) a été inférieure à 0,2% dans les sous-produits non traités, de même qu'au moment de la mise en silo, ce qui semble indiquer que la protéolyse a été négligeable avant la mise en silo.

Après 120 jours d'entreposage, la teneur en azote ammoniacal (éq. P.B.) a été significativement plus élevée dans le témoin humide (0,80%) que dans tous les autres traitements (0,56% à 0,64%), ce qui semble la conséquence de sa teneur en matière sèche plus faible (figure 2.7).

Le rapport « azote ammoniacal / azote total » indique que près de 10% de l'azote a été dégradé en ammoniac dans le témoin humide comparativement à 6 à 8% dans les autres traitements. Un tel niveau est normal dans un ensilage avec une faible teneur en matière sèche (figure 2.7).

Selon le barème d'appréciation qualitative des ensilages, un ensilage doit avoir un rapport « azote ammoniacal / azote total » de moins de 5% pour être considéré d'excellente qualité et entre 5% et 10% pour être de bonne qualité. Ainsi, selon ce critère, tous les ensilages réalisés seraient de bonne qualité (annexe 2.10).

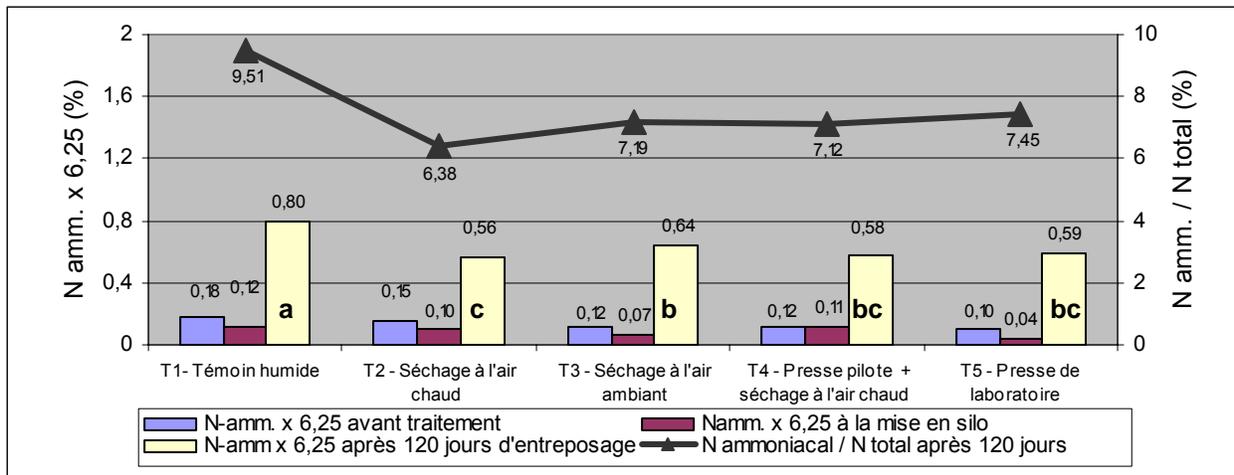


Figure 2.7 Effet des traitements sur la teneur en azote ammoniacal et le rapport « azote ammoniacal / azote total » des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

Sucres solubles

La teneur en sucres solubles a été de 17,61% en moyenne dans les sous-produits non traités. La teneur la plus élevée a été observée dans le témoin humide (T1 = 19,71%) et la teneur la plus faible dans le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5 = 14,13%).

Au moment de la mise en silo, la teneur en sucres solubles a été très faible dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 3,21%) ce qui indique que pratiquement tous les sucres solubles avaient déjà été utilisés par la respiration et l'activité des microorganismes aérobies. Elle a été réduite aussi, mais à un moindre degré, dans le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5 = 6,49%) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 12,17%), ce qui indique que le pressage a entraîné une perte importante de sucres solubles (figure 2.8).

La fermentation a fait diminuer de façon marquée la teneur en sucres solubles du témoin humide (T1), du matériel séché à l'air chaud (T2) et de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4), mais de façon négligeable celle du matériel séché à l'air ambiant (T3) et de celui traité avec la presse de laboratoire (T5). Néanmoins, après 120 jours d'entreposage la teneur en sucres solubles a été supérieure à 4% dans le témoin humide (T1 = 6,98%), le matériel séché à l'air chaud (T2 = 5,40%) et le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 4,37%) alors qu'elle a été inférieure à ce niveau dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 2,07%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 3,12%) (figure 2.8).

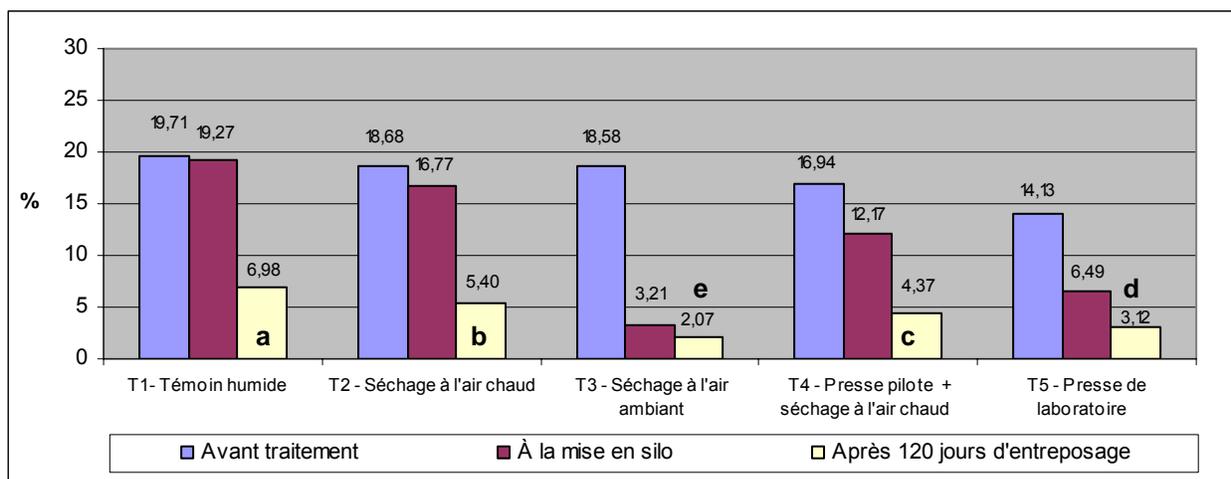


Figure 2.8 Effet des traitements sur la teneur en sucres solubles des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c, d, e : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

Pouvoir tampon et rapport « sucres solubles / pouvoir tampon »

Les mesures effectuées avant de réaliser les traitements indiquent que les sous-produits de maïs sucré utilisés pour réaliser cette expérience avaient un pouvoir tampon (139,9 mEq NaOH/kg MS en moyenne) relativement faible et uniforme d'un traitement à l'autre (125 à 153 mEq NaOH/kg MS selon le traitement). Le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » a été excessivement élevé quel que soit le traitement mais plus faible pour le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5 = 923 g/Eq) que pour les autres traitements (1201-1580 g/Eq). En effet, bien qu'il n'existe pas de norme établie pour le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon », on peut considérer qu'un rapport > 800 g/Eq est excessivement élevé, 600-800 g/Eq est très élevé, 400-600 g/Eq est bon, 200-400 g/Eq est acceptable et < 200 g/Eq est médiocre (figure 2.9).

Les traitements semblent avoir influencé légèrement le pouvoir tampon. Au moment de la mise en silo, celui-ci a été de 130,6 mEq NaOH/kg MS en moyenne. La valeur la plus faible a été observée dans le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 106 mEq NaOH/kg MS) et la plus élevée dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 171 mEq NaOH/kg MS). Ainsi, le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » a été excessivement élevé (> 800 g/Eq) dans le témoin humide (T1 = 1647 g/Eq), le matériel séché à l'air chaud (T2 = 1233 g/Eq) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 1148 g/Eq) alors qu'il a été seulement acceptable (200-400 g/Eq) dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 259 g/Eq) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 380 g/Eq) (figure 2.9).

Ainsi, c'est le faible rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » des traitements 3 et 5 qui explique leur faible efficacité de fermentation tel qu'indiqué par le rapport « acide lactique / acide acétique ». En fait, le séchage à l'air ambiant (T3) a épuisé les sucres solubles alors que le traitement avec la presse de laboratoire (T5) a réduit les sucres de façon moins prononcée mais ce matériel a aussi présenté un pouvoir tampon plus élevé.

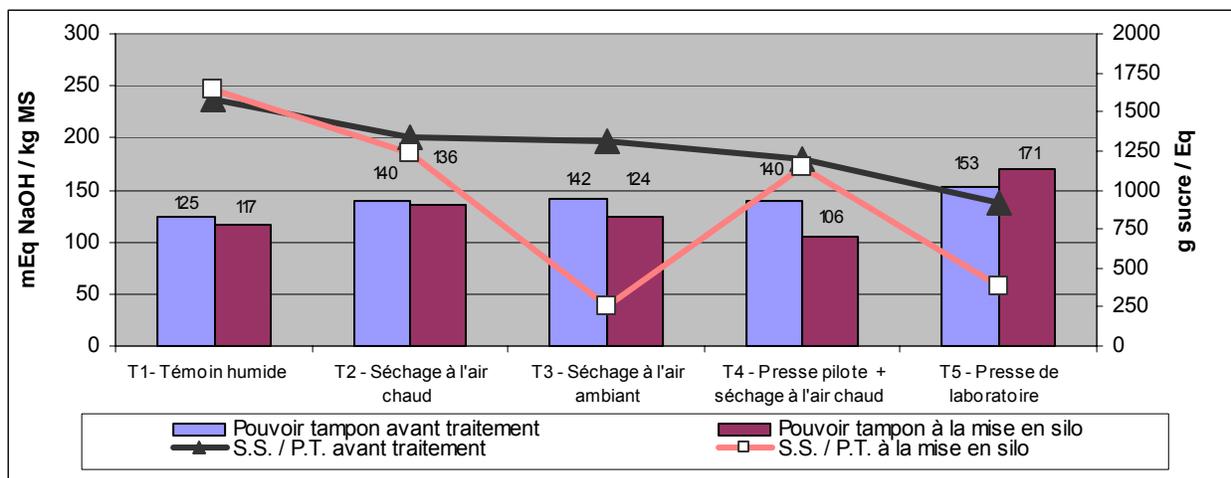


Figure 2.9 Effet des traitements sur le pouvoir tampon et le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

Amidon

Avant de réaliser les traitements, la teneur en amidon a été de 8,01% en moyenne dans les sous-produits de maïs sucré alors qu'au moment de la mise en silo elle a été de 6,13%. À ce moment, la teneur en amidon a été inférieure à 5% dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 3,06%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 4,97%) et supérieur à 6% dans les autres traitements (figure 2.10).

La fermentation a fait diminuer de plus de 6% la teneur en amidon du témoin humide (T1), d'environ 3,5% celle du matériel séché à l'air chaud (T2) et de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4); par contre, la diminution a été de moins de 2% dans le matériel séché à l'air ambiant (T3) et pratiquement nulle dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5). Ainsi, la diminution de la teneur en amidon a été importante dans les traitements qui ont présenté, au moment de la mise en silo, un rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » excessivement élevée (T1, T2 et T4) et faible dans ceux pour qui ce rapport a été seulement acceptable (T3 et T5).

Suite à ces modifications, la teneur en amidon a été inférieure à 4% quel que soit le traitement après 120 jours d'entreposage (figure 2.10).

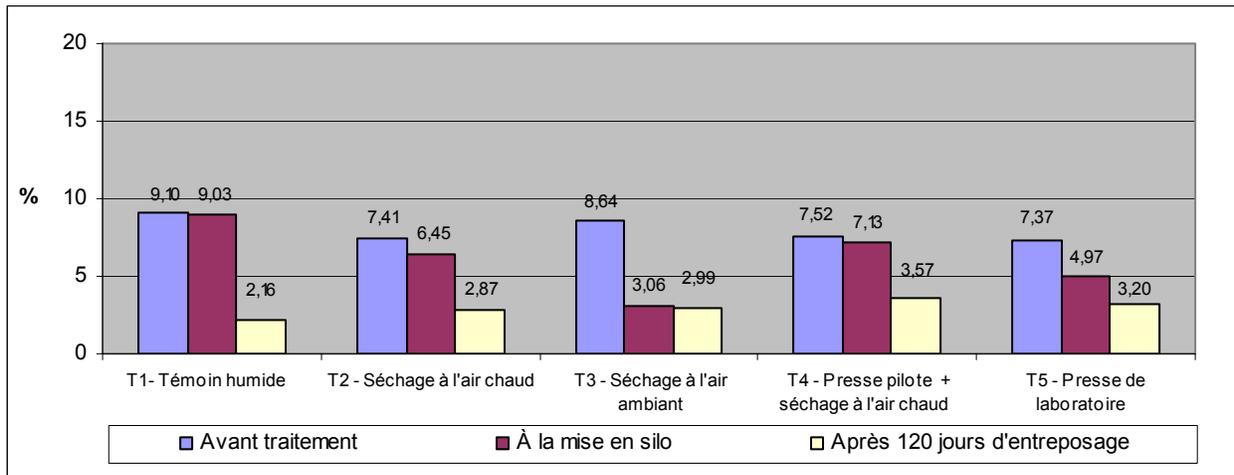


Figure 2.10 Effet des traitements sur la teneur en amidon des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

Perte de matière sèche

Les mesures effectuées au moment de la mise en silo indiquent que la perte de matière sèche directement attribuable à la réalisation des traitements a été supérieure à 10% dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 11,94%), celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 12,59%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 13,95%). Par contre, elle a été estimée nulle dans le matériel séché à l'air chaud, tout comme dans le témoin humide, puisqu'elle ne comprend pas la perte due aux manipulations (figure 2.11).

Les mesures effectuées après 120 jours d'entreposage indiquent par ailleurs que la perte de matière sèche attribuable au procédé d'ensilage a atteint le plus haut niveau dans le témoin humide (T1 = 17,78%) et le plus bas niveau dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 6,65%). À un niveau intermédiaire, on retrouve le matériel séché à l'air chaud (T2 = 14,51%) suivi de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 10,65%) et de celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 10,49%) (figure 2.11).

Ainsi, la perte de matière sèche totale, c'est-à-dire celle due à la réalisation du traitement plus celle attribuable au procédé d'ensilage, a été d'environ 24% dans le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 23,24%) et dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 24,44%), d'environ 18% dans le témoin humide (T1 = 17,78%) et dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 18,59%) et d'environ 14% dans le matériel séché à l'air chaud (T2 = 14,51%) (figure 2.11).

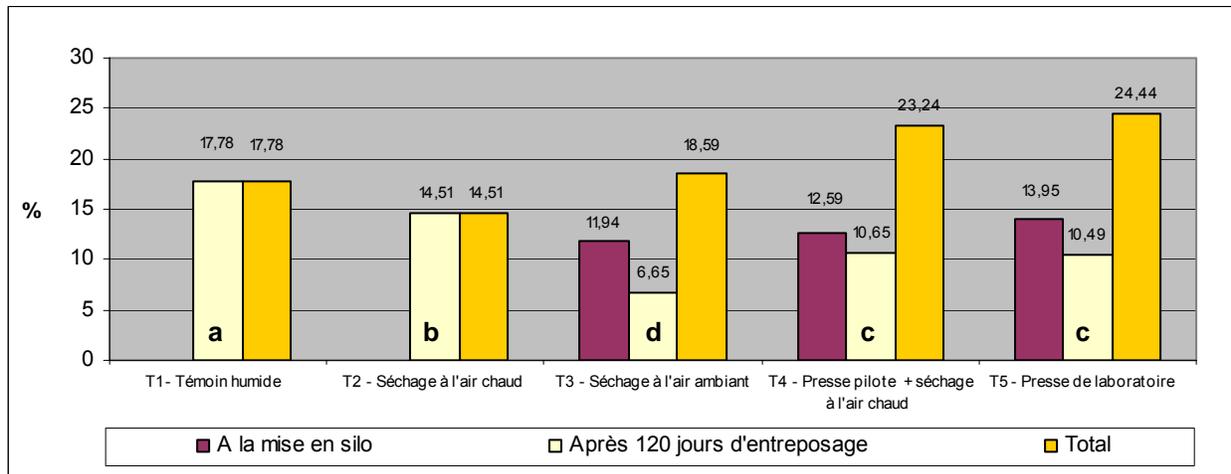


Figure 2.11 Effet des traitements sur la perte de matière sèche des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Perte de matière sèche vs fermentation

Le procédé d'ensilage a entraîné moins de perte de matière sèche dans le matériel séché à l'air chaud (T2) que dans le témoin humide (T1) (14,51% vs 17,78%) parce que la fermentation a été moins poussée (pH de 3,53 vs 3,37) suite à une teneur en matière sèche plus élevée au moment de la mise en silo (31,55% vs 20,90%).

Par contre, la perte de matière sèche due au procédé d'ensilage a été comparable dans le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5) et dans celui traité avec la presse de pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) (10,49% vs 10,65%) parce que la fermentation a été pratiquement aussi poussée dans un cas comme dans l'autre (pH de 3,45 vs 3,40), malgré une teneur en sucres solubles beaucoup plus faible pour le traitement 5 que pour le traitement 4 lors de la mise en silo (6,49% vs 12,17%). Cela s'explique par le fait que le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » du traitement 5 était acceptable (380 g/Eq) pour supporter la fermentation.

Finalement, la perte de matière sèche due au procédé d'ensilage a été très faible dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 1,29%). Au moment de la mise en silo, ce matériel avait aussi une très faible teneur en sucres solubles (3,21%) mais un rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » acceptable (259 g/Eq) pour supporter la fermentation. La faible teneur en sucres solubles a sûrement limité un peu la fermentation puisque le pH final a été le même que celui du matériel séché à l'air chaud (T2) (3,53) alors qu'il aurait dû être plus faible compte tenu de la plus faible teneur en matière sèche au moment de la mise en silo (23,50% vs 31,55%). Cependant, la très faible perte de matière sèche observée pour ce traitement est difficile à expliquer.

2.2.2 Développement des microorganismes

Bactéries lactiques

Les comptes bactériens indiquent que la population de bactéries lactiques a été élevée dans le matériel non traité (8,53 log UFC/g en moyenne) de même que dans le matériel traité, comme l'indiquent les mesures faites au moment de la mise en silo (8,61 log UFC/g en moyenne) et que celle-ci a été peu influencée par les traitements. En particulier, les comptes élevés des sous-produits séchés à l'air chaud indiquent que ce traitement n'a pas détruit les bactéries lactiques naturelles et que l'inoculation n'était pas nécessaire. En effet, l'apport de bactéries lactiques par ce traitement a été de 5 log UFC/g alors que le compte subséquent a été de 8 log UFC/g. De plus, les résultats indiquent qu'au moment de la mise en silo la population de bactéries lactiques avait déjà atteint le niveau requis pour une production active d'acide lactique. En effet, une population de bactéries lactiques d'environ 8 log UFC/g de fourrage frais doit être atteinte avant que le pH descende (Muck, 1988 ; cité par Jaster, 1995) (figure 2.12)

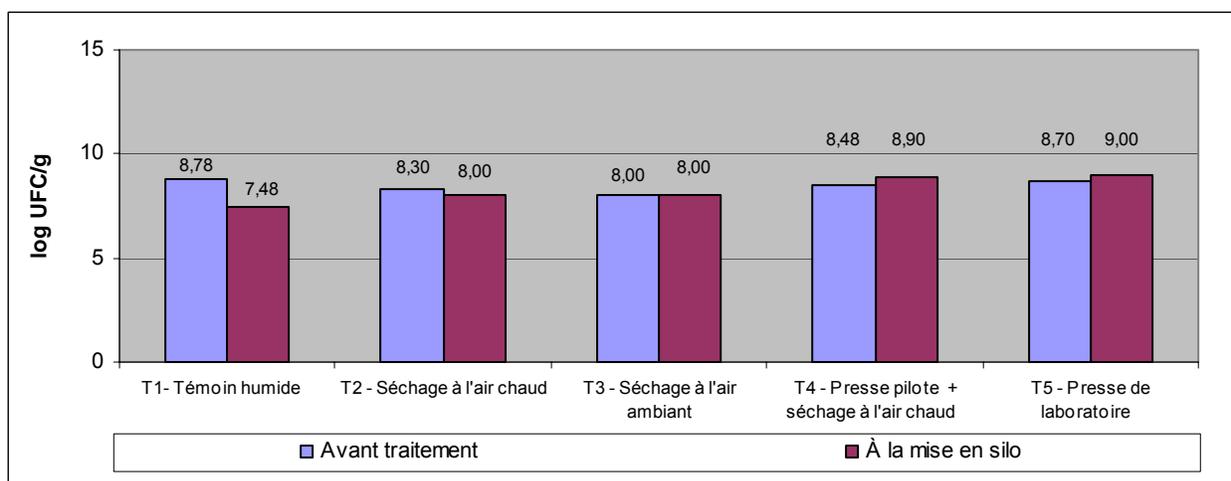


Figure 2.12 Effet des traitements sur la population de bactéries lactiques des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

Levures

Les populations de levures ont été élevées dans les sous-produits non-traités (6,81 log UFC/g en moyenne) de même que dans les sous-produits traités (à la mise en silo) (6,86 log UFC/g en moyenne) et comparables d'un traitement à l'autre dans les deux cas.

Après 120 jours d'entreposage, les populations de levures ont été relativement faibles (2,15 log UFC/g en moyenne), ce qui indique que l'acidification poussée a affecté ces populations. Cependant, les comptes ont été plus élevés dans les sous-produits séchés à l'air ambiant (T3 = 3,18 log UFC/g) et ceux traités avec la presse pilote avant d'être séchés à l'air chaud (T5 = 3,16 log UFC/g) que dans les autres traitements (T1, T2 et T4 = 1,48 log UFC/g), ce qui indique que les ensilages issus de ces deux traitements sont plus susceptibles de présenter des signes de détérioration (figure 2.13).

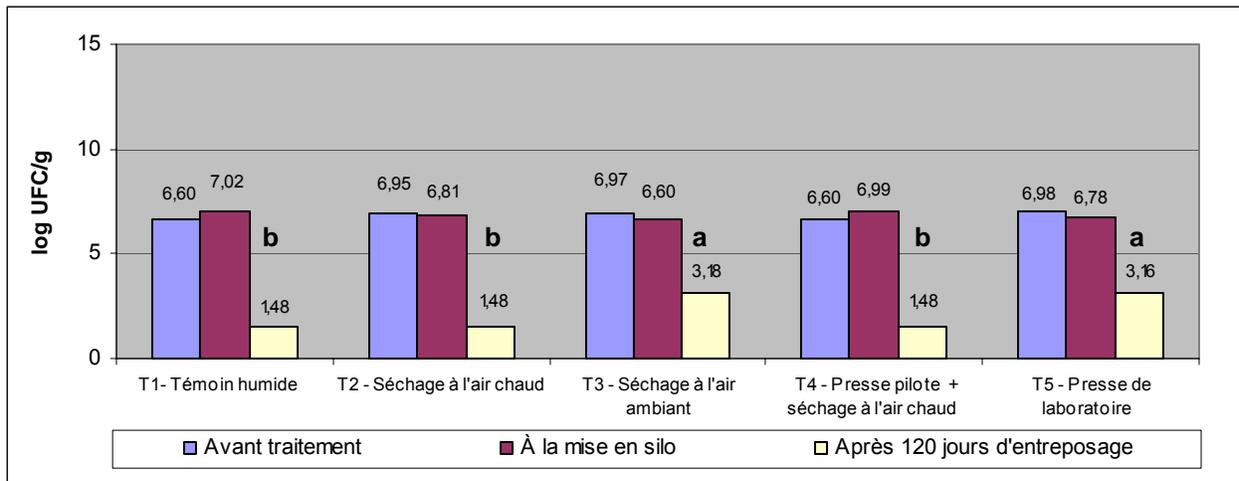


Figure 2.13 Effet des traitements sur la population de levures des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Moisissures et mycélium

Les populations de moisissures ont été moyennement élevées dans les sous-produits non-traités (4,90 log UFC/g en moyenne) de même que dans les sous-produits traités (à la mise en silo) (4,81 log UFC/g en moyenne) et comparables d'un traitement à l'autre dans les deux cas.

Après 120 jours d'entreposage, les populations de moisissures ont été relativement faibles (0,64-1,83 log UFC/g en moyenne), ce qui indique que l'acidification poussée et les conditions anaérobies ont affecté ces populations. Les comptes ont eu tendance (différence presque significative) à être plus élevés dans le témoin humide (T1 = 2,37 log UFC/g) et les sous-produits séchés à l'air ambiant (T3 = 2,13 log UFC/g) que pour les autres traitements (1,48-168 log UFC/g), ce qui indique que les ensilages issus de ces deux traitements sont possiblement plus susceptibles de présenter des signes de détérioration éventuellement. Cependant, nous n'avons noté aucun développement visible de mycélium au moment de l'ouverture des silos (figure 2.14).

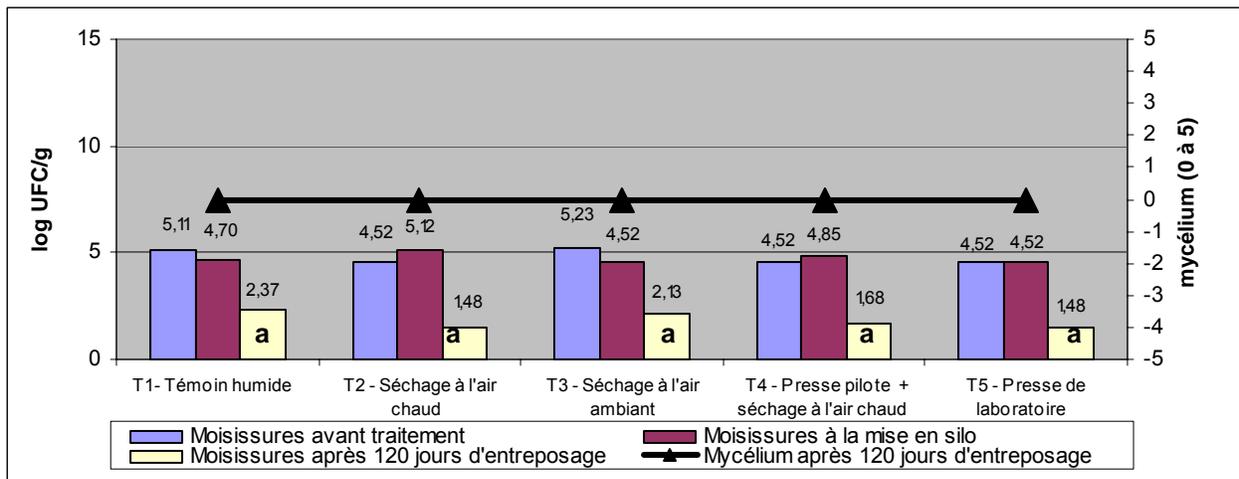


Figure 2.14 Effet des traitements sur la population de moisissures et le développement de mycélium dans les sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

2.2.3 Valeur nutritive

Fibre par détergent acide

Pour l'ensemble des traitements, la fibre par détergent acide est passée de 30,72% avant traitement, à 32,98% après traitement et 37,13% après fermentation. On a observé relativement peu de variation dans les sous-produits non traités (29,80% à 31,40%) alors qu'au moment de la mise en silo, les sous-produits séchés à l'air ambiant (T3 = 36,60%), ceux traités avec la presse pilote avant d'être séchés à l'air chaud (T4 = 33,70%) et ceux traités avec la presse de laboratoire (T5 = 35,50%) ont présenté une teneur en fibre par détergent acide un peu plus élevée que le témoin humide (T1 = 29,50%), alors que ce ne fut pas le cas pour ceux séchés à l'air chaud (T2 = 29,60%). Cette augmentation de la fibre par détergent acide semble due à la perte de matière sèche résultant de l'activité microbienne pendant les 5 jours d'exposition à l'air dans le cas du traitement 3 et à la perte de substances solubles lors du pressage dans le cas des traitements 4 et 5. Elle a d'ailleurs été moins grande dans le matériel pressé jusqu'à 26% de matière sèche (T4) que dans celui pressé jusqu'à 31% de matière sèche (T5) (figure 2.15).

Après 120 jours d'entreposage, les sous-produits séchés à l'air ambiant (T3 = 37,88%) et ceux traités avec la presse de laboratoire (T5 = 38,38%) ont présenté une teneur en fibre par détergent acide significativement plus élevée que le témoin humide (T1 = 35,73%) alors que ce ne fut pas le cas pour le matériel séché à l'air chaud (T2 = 37,00%) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séchés à l'air chaud (T4 = 36,65%). En fait, ceci résulte du fait que la fermentation a fait augmenter la teneur en fibre par détergent acide du témoin humide (T1) et des sous-produits séchés à l'air chaud (T2) de façon beaucoup plus marquée que dans les autres traitements. Dans le cas du traitement 1, ceci semble la conséquence d'une activité biologique intense résultant de la faible teneur en matière sèche, alors que pour le traitement 2 ce peut être dû au fait que le matériel a été maintenu à une température élevée pendant un certain temps juste avant de le mettre en silo (figure 2.15).

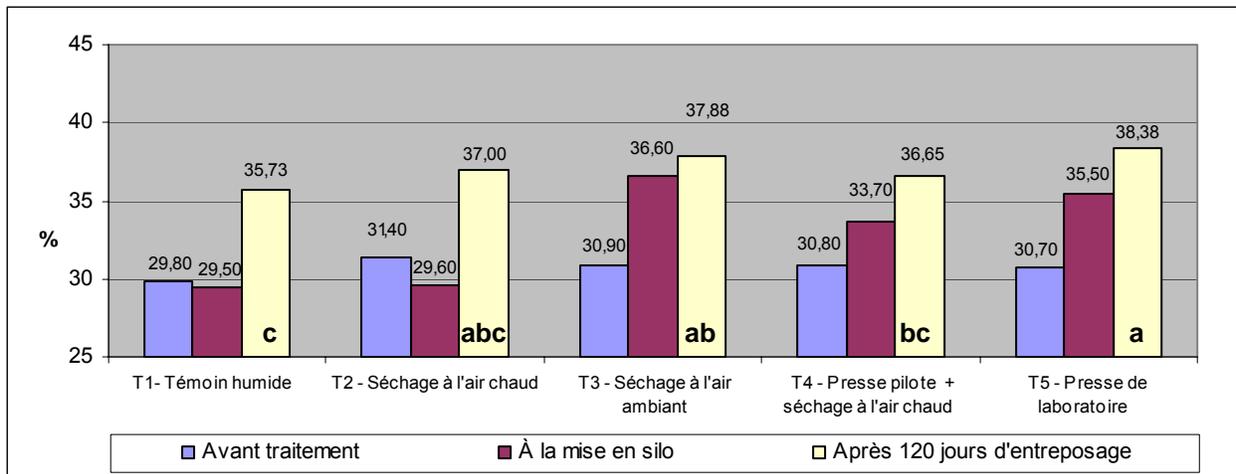


Figure 2.15 Effet des traitements sur la teneur en fibre par détergent acide des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Fibre par détergent neutre

Pour l'ensemble des traitements, la fibre par détergent neutre a peu varié, puisqu'elle a été de 63,74% avant traitement, 65,82% après traitement et 65,43% après fermentation. On a observé relativement peu de variation dans les sous-produits non traités (62,0% à 65,9%) alors qu'au moment de la mise en silo la teneur en fibre par détergent neutre a été 3% à 7% plus élevée dans le matériel traité que dans le témoin humide (T1 = 62,4%). L'augmentation observée dans les sous-produits séchés à l'air ambiant (T3) semble la conséquence d'une perte de matière sèche résultant de l'activité microbienne, alors que pour les sous-produits pressés (T4 et T5), elle serait plutôt la conséquence d'une perte importante de substances solubles lors du pressage. L'augmentation de fibre par détergent neutre a été comparable à l'augmentation de fibre par détergent acide dans le cas de T4 et T5 (environ 3% et 6% respectivement) alors que dans le cas de T3 elle a été beaucoup plus faible (2,1% vs 5,7%). Cela peut être dû à l'hydrolyse des substances les plus solubles de la fibre pendant les 5 jours d'exposition à l'air.

Après 120 jours d'entreposage, la teneur en fibre par détergent neutre a été significativement plus élevée dans le matériel traité par pressage (T4 = 68,83%) (T5 = 68,45%) que dans tous les autres traitements et dans le matériel séché (T2 = 64,40%) (T3 = 64,85%) que dans le témoin humide (T1 = 60,63%). Cela semble dû au fait que dans les sous produits traités, la teneur en fibre par détergent neutre a augmenté (T4) ou a diminué de façon moins marquée (T2, T3 et T5) que dans le témoin humide pendant la fermentation. En effet, une faible teneur en matière sèche favorise l'hydrolyse des substances les plus solubles de la fibre pendant la fermentation et fait généralement diminuer la teneur en fibre par détergent neutre même si la perte de matière sèche résultant de la fermentation est plus importante que dans un ensilage plus sec (figure 2.16).

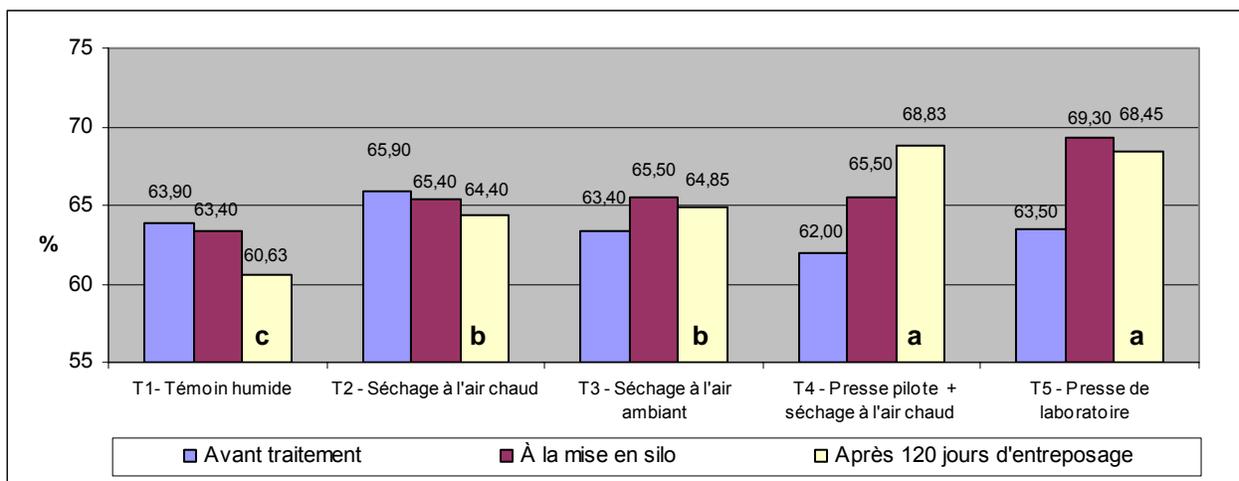


Figure 2.16 Effet des traitements sur la teneur en fibre par détergent neutre des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos
a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Protéine brute

La teneur en protéine brute a été de 6,80% en moyenne dans les sous-produits non traités et comparable dans le matériel utilisé pour réaliser chaque traitement.

Les mesures effectuées au moment de la mise en silo indiquent que la teneur en protéine brute a été modifiée par le séchage à l'air ambiant (T3 = 8,60% vs 6,90%) mais pas par les autres traitements (figure 2.17). L'augmentation de 1,70% observée pour ce traitement semble la conséquence d'une perte de matière sèche importante (11,94%) pendant les 5 jours d'exposition à l'air alors que le fait que la teneur en protéine brute n'a pas augmenté dans le matériel traité par pressage (T4 et T5) malgré une perte de matière sèche aussi importante (12,59% et 13,95% respectivement) semble dû au fait que la partie la plus soluble de la protéine a été perdue dans le jus de pressage (figure 2.11 et volet 1, tableaux 1.4 et 1.5).

La fermentation a fait augmenter la teneur en protéine brute quel que soit le traitement, mais l'augmentation a été de moins de 0,5% dans le matériel séché à l'air ambiant (T3), d'environ 1% dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5) et d'environ 2% dans le témoin humide (T1), le matériel séché à l'air chaud (T2) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) (figure 2.17). L'augmentation de la teneur en protéine brute pendant le procédé d'ensilage peut être mise en lien direct avec la perte de matière sèche que ce procédé a entraîné. En effet, celle-ci a été faible dans T3 (6,65%), moyennement élevée dans T4 et T5 (10-11%) et très élevée dans T1 et T2 (14-18%) (figure 2.11).

Suite à ces modifications, la teneur en protéine brute a été à son plus haut niveau dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 8,93%) et à son plus bas niveau dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 7,98%) après 120 jours d'entreposage. Cependant, aucun traitement n'a donné un ensilage avec une teneur en protéine brute significativement différente du témoin humide (T1 = 8,40%). Ainsi, l'effet sur la teneur en protéine brute finale a été relativement faible malgré des effets non négligeables du traitement lui-même (effet direct) et de la fermentation qui en a résulté (effet indirect) (figure 2.17).

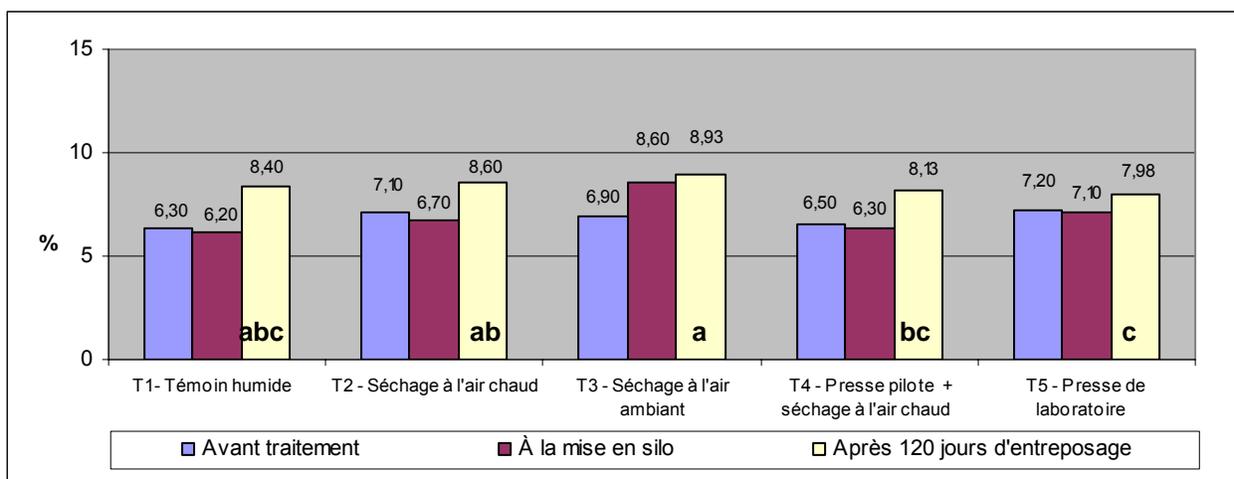


Figure 2.17 Effet des traitements sur la teneur en protéine brute des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$)

Solubilité de la protéine

La solubilité de la protéine a été de 8,41% en moyenne dans les sous-produits non traités et comparable dans le matériel utilisé pour réaliser chaque traitement. Cependant, les mesures effectuées au moment de la mise en silo indiquent que le séchage à l'air ambiant (T3 = 20,24% vs 7,35%) a fait augmenter de façon marquée la solubilité de la protéine. L'augmentation de 12,89% observée pour ce traitement indique que les organismes responsables de la protéolyse (dégradation de la protéine) ont été actifs pendant les 5 jours d'exposition à l'air. Par contre, le séchage à l'air chaud (T2 = 3,18% vs 6,52%), le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4 = 2,90% vs 8,66%) et le traitement avec la presse de laboratoire (T5 = 8,31% vs 11,94%) ont fait diminuer légèrement la solubilité de la protéine (figure 2.18).

La fermentation a fait augmenter la solubilité de la protéine du témoin humide (T1), du matériel séché à l'air chaud (T2), de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) et de celui traité avec la presse de laboratoire (T5) de façon plus importante que celle du matériel séché à l'air ambiant (T3) (environ 50% vs 28%) (figure 2.18). L'augmentation de la solubilité de la protéine pendant le procédé d'ensilage peut être mise en lien direct avec la diminution de la teneur en sucres solubles. En effet, celle-ci a été très importante dans T1 et T2 (environ 12%), moyennement élevée dans T4 (7,80%) et T5 (3,37%) et très faible dans T3 (1,14%) (figure 2.8).

Après 120 jours d'entreposage, la solubilité de la protéine a atteint un niveau de 54,05% en moyenne. Elle a alors été à son plus haut niveau dans le témoin humide (T1 = 59,50%) et le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5 = 56,67%), à son plus bas niveau dans le matériel séché à l'air ambiant (T3 = 47,87%) et à un niveau intermédiaire dans celui séché à l'air chaud (T2 = 52,69%) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 53,57%). Suite à ces modifications, la teneur en protéine soluble (protéine brute X solubilité de la protéine) a été à son plus haut niveau dans le témoin humide (T1 = 5,00%) et à son plus bas niveau dans le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5 = 4,26%), mais n'a pas été significativement différente d'un traitement à l'autre après 120 jours d'entreposage. Ainsi, l'effet sur la teneur en protéine soluble finale a été relativement faible malgré des effets non négligeables du traitement lui-même (effet direct) et de la fermentation qui en a résulté (effet indirect) sur la solubilité de la protéine (figure 2.18).

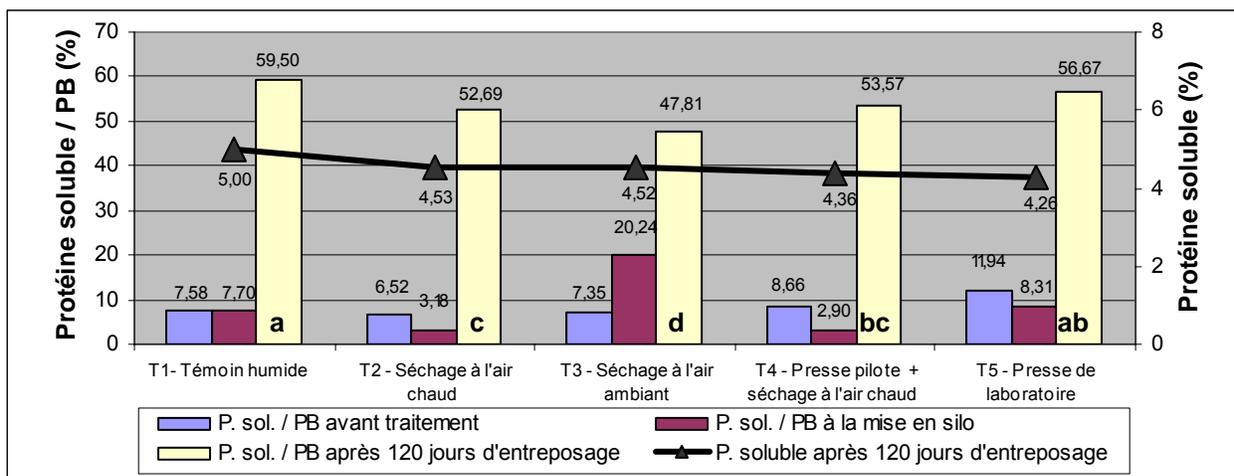


Figure 2.18 Effet des traitements sur la solubilité de la protéine des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos
a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Protéine liée à la fibre

La protéine liée à la fibre (PB-ADF) a été moyennement élevée dans les sous-produits non-traités (0,46% en moyenne) de même que dans les sous-produits traités, avant la mise en silo (0,55% en moyenne) et a peu varié d'un traitement à l'autre dans les deux cas.

Après 120 jours d'entreposage, la protéine liée à la fibre a été de 0,60% en moyenne. De plus, elle a été significativement plus élevée pour le matériel séché à l'air chaud (T2 = 0,65%) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5 = 0,71%) que pour les autres traitements (0,54%-0,56%). De plus, le rapport « PB-ADF/PB » a été inférieur à 10% quel que soit le traitement, ce qui indique que dans un cas comme dans l'autre, la digestibilité de la protéine est à un niveau « normal ». Dans ces conditions, il n'y a pas de correction à faire pour la protéine digestible lors de la formulation des rations (figure 2.19).

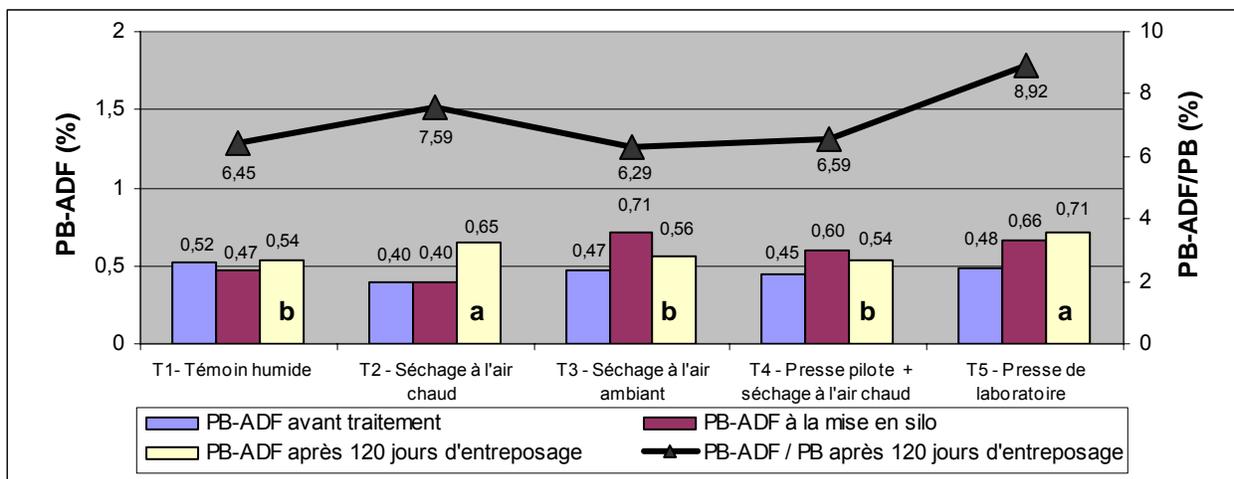


Figure 2.19 Effet des traitements sur la teneur en protéine liée à la fibre des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

a, b : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Minéraux

Les teneurs en phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca) et magnésium (Mg) ont été respectivement de 0,22%, 0,65%, 0,07% et 0,13% en moyenne dans les sous-produits de maïs sucré non traités. Au moment de la mise en silo, les teneurs en chacun de ces minéraux n'avaient pas varié ou avait très peu varié dans le témoin humide (T1) et dans le matériel séché à l'air chaud (T2). Elles avaient par contre augmenté de 17% à 42% dans le matériel séché à l'air ambiant (T3) suite à la perte de matière sèche importante enregistrée dans ce matériel, alors qu'elles avaient diminué de 17% à 24% dans le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) et de 28% à 36% dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5), suite à la perte dans le jus de pressage. La fermentation a fait augmenter les teneurs en minéraux de 24% à 40% dans le témoin humide (T1) et de 15% à 40% dans le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) alors que la variation a été plus faible voire même nulle pour les autres traitements. Ainsi, après 120 jours d'entreposage, la teneur en minéraux a été à son niveau le plus élevé dans le matériel séché à l'air ambiant (T3) et à son niveau le plus bas dans celui traité avec la presse de laboratoire (T5) (figure 2.20).

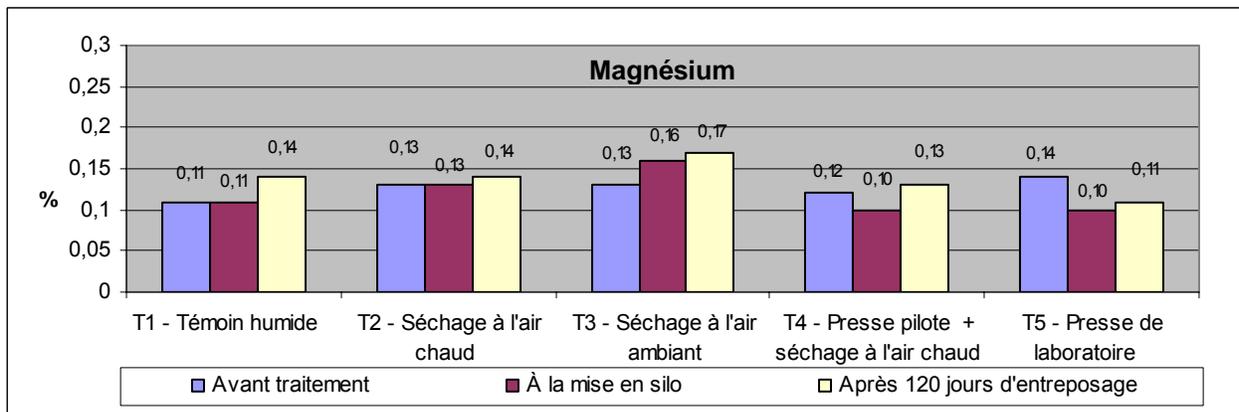
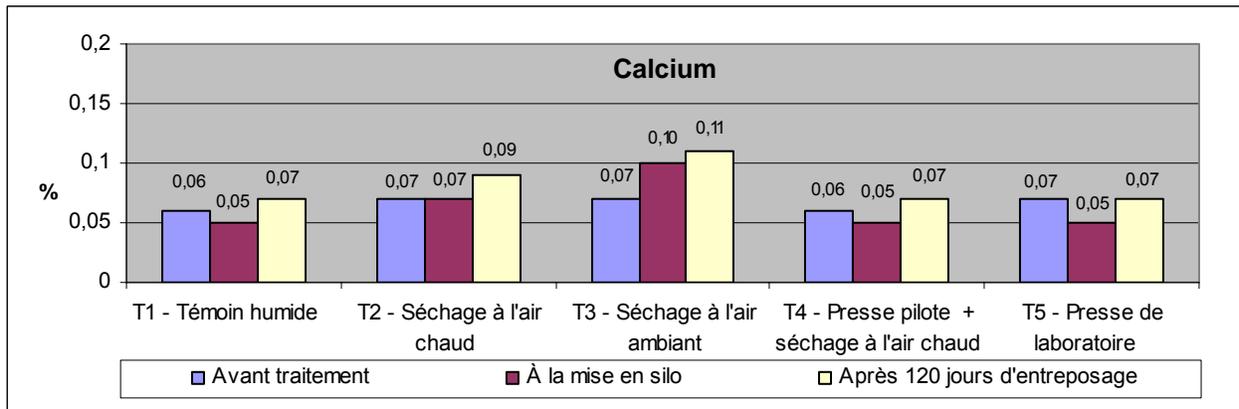
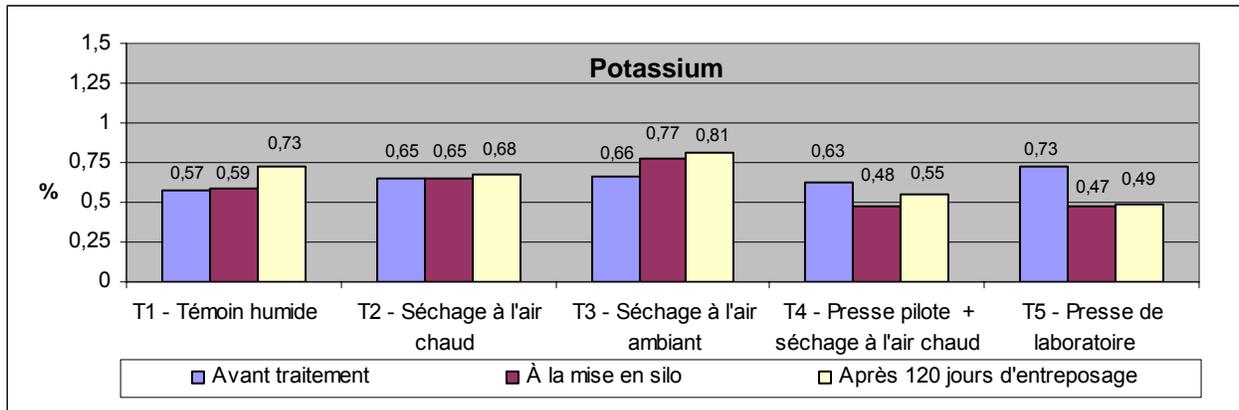
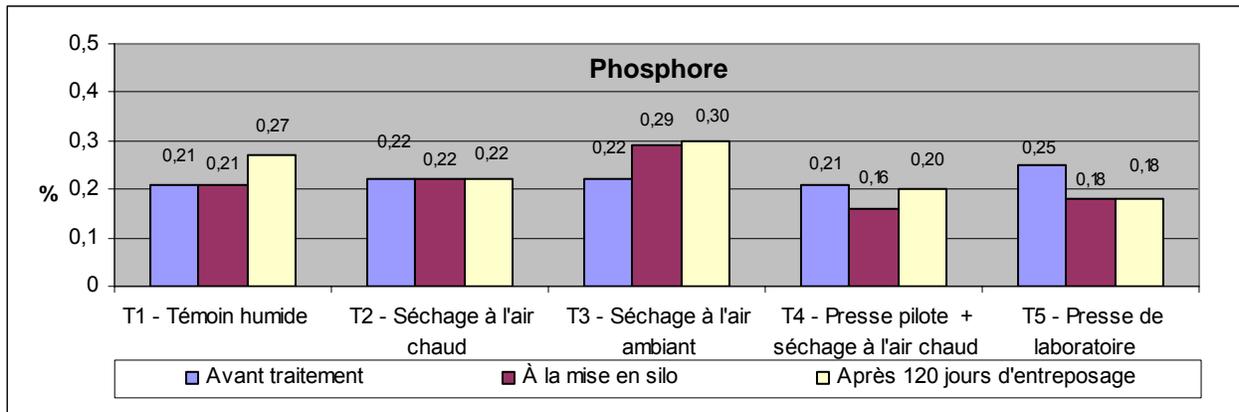


Figure 2.20 Effet des traitements sur les teneurs en minéraux (P, K, Ca et Mg) des sous-produits de maïs sucré dans l'essai d'ensilage en mini silos

2.2.4 Synthèse

Avant de réaliser les traitements

Les analyses effectuées sur les échantillons de sous-produits de maïs sucré prélevés avant de réaliser les traitements ne montrent pas de différence notable entre le matériel utilisé pour réaliser chaque traitement, au niveau de la valeur nutritive et de la microbiologie. Par contre, on trouve quelques différences au niveau des paramètres de la fermentation. Le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5) a présenté un pH un peu plus bas (4,17 vs 4,39 en moyenne), une teneur en acide acétique un peu plus élevée (1,64% vs 0,72% en moyenne) et une teneur en sucres solubles un peu plus faible (14,13% vs 17,61% en moyenne) que celui utilisé pour réaliser les autres traitements. Ceci semble la conséquence du plus long délai entre la réception et la réalisation du traitement 5 que pour les autres traitements (annexe 2.1).

Au moment de la mise en silo

Matière sèche

T2 (séchage à l'air chaud), T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et T5 (presse de laboratoire) ont permis d'atteindre la teneur en matière sèche visée (30%) avec des valeurs de 31,55%, 32,10% et 30,75% respectivement. Par contre, ce ne fut pas le cas avec T3 (séchage à l'air ambiant) puisque sa teneur en matière sèche a été de seulement 23,50% au moment de la mise en silo.

Perte de matière sèche

La perte de matière sèche liée directement à la réalisation du traitement, telle que mesurée au moment de la mise en silo, a été de 11,94% pour T3 (séchage à l'air ambiant), 12,59% pour T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et 13,95% pour T5 (presse de laboratoire) alors qu'elle a été estimée nulle ou négligeable pour T2 (séchage à l'air chaud), tout comme pour T1 (témoin humide).

Microbiologie

Les traitements n'ont pas influencé les populations de microorganismes. En particulier, la population de bactéries lactiques a été très élevée (8,00 log UFC/g) dans T2 (séchage à l'air chaud) tout comme dans les autres traitements (8,61 log UFC/g en moyenne) au moment de la mise en silo, ce qui indique que le séchage à l'air chaud ne l'a pas influencée.

Paramètres de la fermentation

T3 (séchage à l'air ambiant) a fait diminuer la teneur en sucres solubles de façon marquée (3,21%) puisque ceux-ci ont été utilisés par la respiration et l'activité des microorganismes aérobies. Elle a été réduite aussi, mais à un moindre degré, dans T5 (presse de laboratoire) (6,49%) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) (12,17%), ce qui indique que le pressage a entraîné une perte importante de sucres solubles. Ainsi, au moment de la mise en silo, le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » de T3 (séchage à l'air ambiant) et celui de T5 (presse de laboratoire) ont été seulement acceptables (200-400 g/Eq) alors que celui des autres traitements a été excessivement élevé (> 800 g/Eq). T3 et T5 ont aussi présenté des teneurs en amidon plus faibles que les autres traitements au moment de la mise en silo (< 5% vs > 6%). Finalement, les pH de T3 (séchage à l'air ambiant) et de T5 (presse de laboratoire) (4,68 et 4,21 respectivement) s'écartent un peu de la valeur moyenne (4,44) observée au moment de la mise en silo. Le pH un peu plus bas de T5 semble dû à une plus grande production d'acide acétique, alors que le pH un peu plus élevé de T3 pourrait être dû à la dégradation, pendant les 5 jours d'exposition à l'air, de l'acide lactique déjà produit.

Valeur nutritive

T3 (séchage à l'air ambiant), T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et T5 (presse de laboratoire) ont influencé de façon marquée la valeur nutritive des sous-produits de maïs sucré au moment de la mise en silo. En effet, on a observé dans chacun de ces traitements une augmentation (2 à 6%) des teneurs en fibre par détergent acide et en fibre par détergent neutre. Cela semble la conséquence de la perte de matière sèche importante pendant les 5 jours d'exposition à l'air pour T3 et dans le jus de pressage pour T4 et T5. De plus, la teneur en protéine brute a augmenté de 2,7% dans T3 pour la même raison, alors qu'elle n'a pas augmenté dans T4 et T5, parce qu'il y a eu une perte de protéine soluble dans le jus de pressage. T2 (séchage à l'air chaud) semble aussi avoir fait diminuer la solubilité de la protéine. Finalement, T3 (séchage à l'air ambiant) a fait augmenter la teneur en minéraux alors que T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et T5 (presse de laboratoire) l'ont fait diminuer.

Après 120 jours d'entreposage

Fermentation

Le chauffage a été peu prononcé et de courte durée. Cependant, tous les traitements ont donné un ensilage avec un pH inférieur à 3,60 et le pH moyen a été de 3,46 après 120 jours d'entreposage, ce qui indique que dans chaque cas la fermentation a été très poussée et a permis d'abaisser le pH beaucoup plus bas que le niveau qui assure la stabilité anaérobie de l'ensilage. Cependant, le profil de fermentation, c'est-à-dire les quantités des différents acides produits par la fermentation, a été fortement influencé par les traitements. La production d'acide lactique a été plus élevée dans T1 (témoin humide) que dans le matériel pressé et/ou séché (T2, T3, T4 et T5) (16% vs 8 à 12%). Par contre, la production d'acide acétique a été plus faible dans le matériel pressé et/ou séché à l'air chaud (T2, T4 et T5) que dans T1 (témoin humide) et T3 (séchage à l'air ambiant) (environ 2% vs 3,5%). Ainsi, l'efficacité de la fermentation, tel que mesurée par le rapport « acide lactique / acide acétique », a été à son niveau le plus élevé (5,45) dans T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et à son niveau le plus bas (2,90) dans T3 (séchage à l'air ambiant). De plus, la dégradation de la protéine en azote ammoniacal a été normale et jugée bonne à satisfaisante selon le barème d'appréciation qualitative de l'ensilage, puisque l'azote ammoniacal a représenté environ 10% de l'azote total pour T1 (témoin humide) et 7% à 8% pour les autres traitements.

La teneur en sucres solubles a diminué de façon marquée (8 à 12%) pendant la fermentation dans T1 (témoin humide), T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) mais très peu (1 à 3%) dans T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire). Cependant, vu la faible teneur en sucres solubles de T3 et T5 au moment de la mise en silo, celle-ci a été plus élevée dans T1, T2 et T4 (supérieure à 4%) que dans T3 et T5 (inférieure à 4%) après 120 jours d'entreposage. Ce résultat peut être mis en lien direct avec le faible rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » de T3 et T5 au moment de la mise en silo. La teneur en amidon a suivi le même patron que la teneur en sucres solubles, c'est-à-dire qu'elle a diminué de façon plus marquée dans T1, T2 et T4 que dans T3 et T5 (3 à 6% vs 0 à 2%) pendant la fermentation, mais après 120 jours d'entreposage elle a été comparable pour tous les traitements.

La perte de matière sèche due à la fermentation a été faible (7%) dans T3 (séchage à l'air ambiant), moyenne (10-11%) dans T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et T5 (presse de laboratoire), élevée (14%) dans T2 (séchage à l'air chaud) et très élevée (18%) dans T1 (témoin humide). Cependant, la perte de matière sèche totale, c'est-à-dire celle due au traitement lui-même plus celle due à la fermentation qui en a résulté, a été à son niveau maximum dans le

matériel pressé (T4 et T5 = environ 24%), à son niveau minimum dans le matériel uniquement séché à l'air chaud (T2 = environ 14%) et à un niveau intermédiaire dans le témoin humide et le matériel séché à l'air ambiant (T1 et T3 = environ 18%).

Microbiologie

Les populations de levures (2,15 log UFC/g en moyenne) et de moisissures (1,83 log UFC/g en moyenne) ont été relativement faibles et nous n'avons observé aucun mycélium dans l'ensilage au moment de l'ouverture des silos. Cependant, le compte de levures a été plus élevé dans T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire) que dans les autres traitements (environ 3,2 log UFC/g vs 1,48 log UFC/g), ce qui est un indice de leur plus grande susceptibilité à la détérioration aérobie.

Valeur nutritive

La fermentation a fait augmenter la teneur en fibre par détergent acide de façon beaucoup plus importante dans T1 (témoin humide) et T2 (séchage à l'air chaud) que dans les autres traitements (6-7% vs 1-3%). Ceci semble dû au fait que l'activité microbiologique a été plus grande dans T1 et T2 que dans les autres traitements à cause de la faible teneur en matière sèche (T1) ou de la température de séchage élevée (T2). Cependant, vu la teneur élevée en fibre par détergent acide de T3 et T5 au moment de la mise en silo, celle-ci a été plus élevée dans T3 et T5 (environ 38%) que dans T1 (environ 36%) après 120 jours d'entreposage alors que ce ne fut pas le cas pour les autres traitements. La fermentation a fait diminuer de façon marquée (environ 3%) la teneur en fibre par détergent neutre du témoin humide alors que ce ne fut pas le cas pour les autres traitements. Ainsi, après 120 jours d'entreposage, la teneur en fibre par détergent neutre a été plus élevée dans le matériel pressé (T4 et T5 = environ 68%) que dans le matériel séché (T2 et T3 = environ 64%) et que dans le témoin humide (T1 = environ 61%).

La fermentation a fait augmenter la teneur en protéine brute de façon plus marquée dans T1, T2 et T4 que dans T3 et T5 (environ 2% vs 0-1%). Ceci peut être mis en lien direct avec la perte de matière sèche due à la fermentation, puisque celle-ci a été très élevée dans T1 et T2 (14-18%), moyennement élevée dans T4 et T5 (10-11%) et faible dans T3 (6,65%). Ainsi, après 120 jours d'entreposage la teneur en protéine brute a été à son plus haut niveau dans T3 (8,93%) et à son plus bas niveau dans T5 (7,98%). Cependant, aucun traitement n'a donné un ensilage avec une teneur en protéine brute significativement différente du témoin humide (8,40%). Ainsi, l'effet sur la teneur en protéine brute finale a été relativement faible malgré des effets non négligeables du traitement lui-même (effet direct) et de la fermentation qui en a résulté (effet indirect). La fermentation a fait augmenter la solubilité de la protéine de T3 (séchage à l'air ambiant) de façon beaucoup moins importante que pour les autres traitements (environ 28% vs 50%). Cependant, malgré la solubilité de la protéine élevée de T3 au moment de la mise en silo, celle-ci a été maximale dans T1 et T5, à un niveau intermédiaire dans T2 et T4 et à son minimum dans T3 après 120 jours d'entreposage. Ainsi, l'effet sur la teneur en protéine soluble finale a été relativement faible malgré des effets non négligeables du traitement lui-même (effet direct) et de la fermentation qui en a résulté (effet indirect) sur la solubilité de la protéine. La protéine liée à la fibre (PB-ADF) a représenté moins de 10% de la protéine totale, quel que soit le traitement.

La fermentation a fait augmenter la teneur en minéraux (P, K, Ca et Mg) dans T1 et T4 alors que la variation a été plus faible voire même nulle dans les autres traitements. Cependant, après 120 jours d'entreposage la teneur en minéraux a été à son plus haut niveau dans T3 et à son plus bas niveau dans T5.

Comparaison avec l'ensilage de maïs (plante entière)

Les analyses de valeur nutritive révèlent que les sous-produits de maïs sucré « fermentés » ont présenté en moyenne une teneur en protéine brute 0,39% plus faible (8,41% vs 8,8%), une teneur en fibre par détergent acide 9,03% plus élevée (37,13% vs 28,1%) et une teneur en fibre par détergent neutre 20,43% plus élevée (65,43% vs 45,0%) qu'un ensilage de maïs (plante entière) « normal » selon le Conseil National de Recherche. De plus, les teneurs en phosphore (0,23% vs 0,26%) et en magnésium (0,14% vs 0,17%) des sous-produits de maïs sucré « fermentés » ont été comparables à celles de l'ensilage de maïs (plante entière) alors que ses teneurs en potassium (0,65% vs 1,20%) et en calcium (0,08% vs 0,28%) ont été beaucoup plus faibles (annexes 2.3 et 2.8).

On retient principalement que les sous produits de maïs sucré « fermentés » ont présenté une valeur protéique comparable à celle généralement rapportée pour l'ensilage de maïs. Cependant, ils sont beaucoup plus fibreux que l'ensilage de maïs de sorte qu'ils seront ingérés en plus faible quantité et auront une valeur énergétique plus faible que ce dernier.

2.3 Effet des traitements sur la stabilité aérobie de l'ensilage

L'effet des traitements sur chacun des paramètres étudiés dans le test de stabilité aérobie est présenté aux annexes 2.4 (chauffage de l'ensilage), 2.5 (caractéristiques de l'ensilage après 7 jours) et 2.6 (caractéristiques de l'ensilage après 14 jours). Nous présenterons ci-après les courbes de température pour chaque traitement et analyserons les résultats obtenus pour chaque paramètre étudié.

2.3.1 Chauffage de l'ensilage

L'évolution de la température de l'ensilage pendant les 14 jours du test de stabilité aérobie a été fortement influencée par les traitements (figure 2.21).

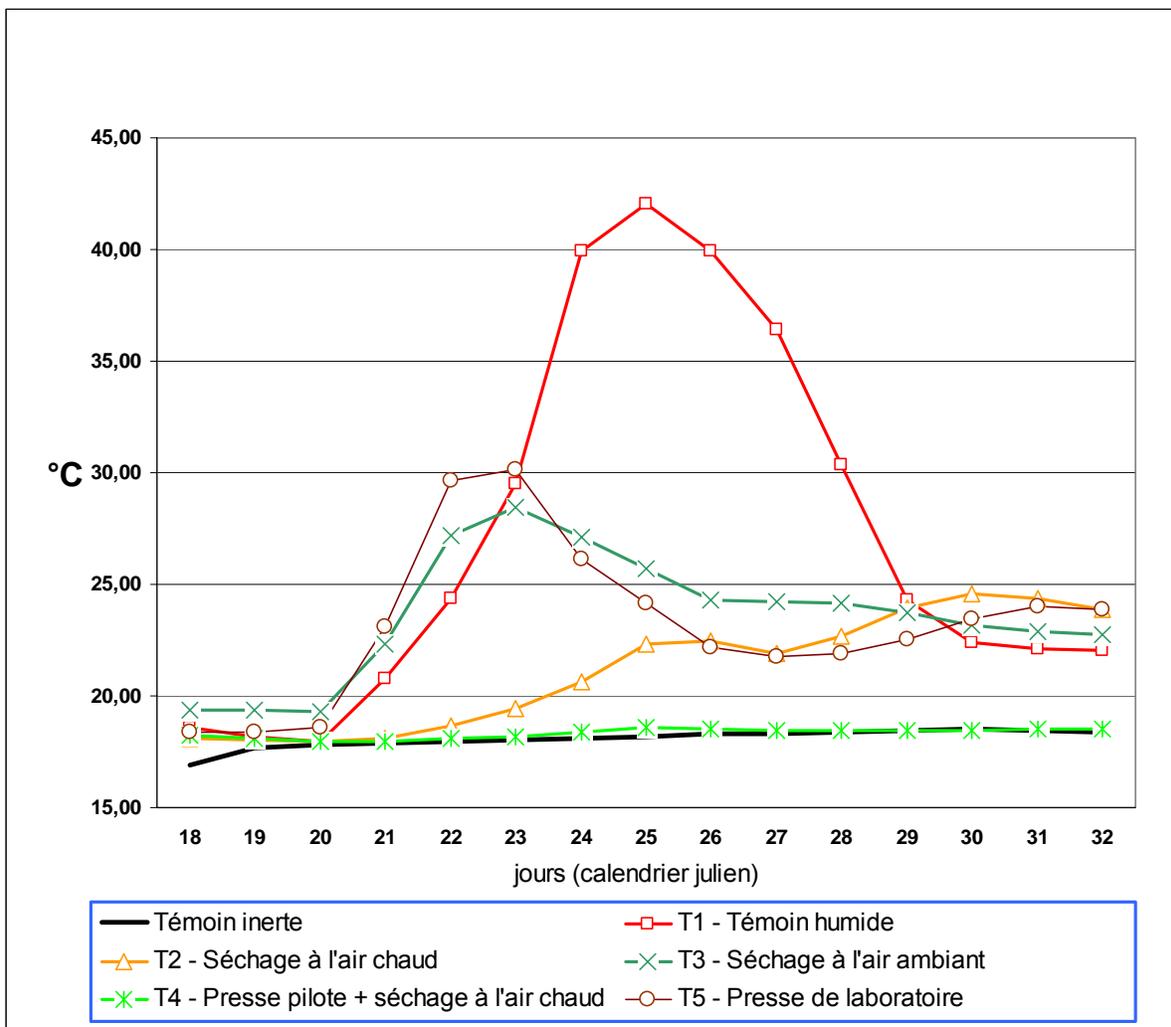


Figure 2.21 Effet des traitements sur l'évolution de la température de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré dans le test de stabilité aérobie

Le témoin inerte a maintenu une température d'environ 18°C pendant les 14 jours du test de stabilité aérobie. Le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) n'a pas manifesté non plus de signe de chauffage pendant toute la durée du test et le matériel séché à l'air chaud (T2) a commencé à chauffer seulement après 5 jours d'exposition à l'air et sa température n'a jamais dépassé 25°C. Par contre, le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) ont commencé à chauffer après 2 à 3 jours pour atteindre une température de 28°C et 30°C respectivement après 5 jours. Quant au témoin humide (T1), il a commencé à chauffer seulement après 3 jours mais sa température a atteint 42°C après 7 jours (figure 2.21).

Nombre d'heures pour une élévation de 2°C et 3°C

Le critère le plus fréquemment utilisé pour décrire la stabilité aérobie de l'ensilage est le nombre d'heures pour une élévation de 2°C ou 3°C par rapport à un témoin inerte. Le témoin humide a présenté une élévation de 2°C après 101 heures d'exposition à l'air. Le matériel séché à l'air chaud (T2), celui séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) ne se sont pas comportés différemment du témoin humide puisqu'une élévation de 2°C a été atteinte après 159 heures, 128 heures et 75 heures respectivement. Par contre, le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) a été beaucoup plus stable, puisqu'il n'avait pas encore présenté une élévation de 2°C après 308 heures d'exposition à l'air. Les résultats obtenus en prenant 3°C comme critère de comparaison sont sensiblement les mêmes (figure 2.22).

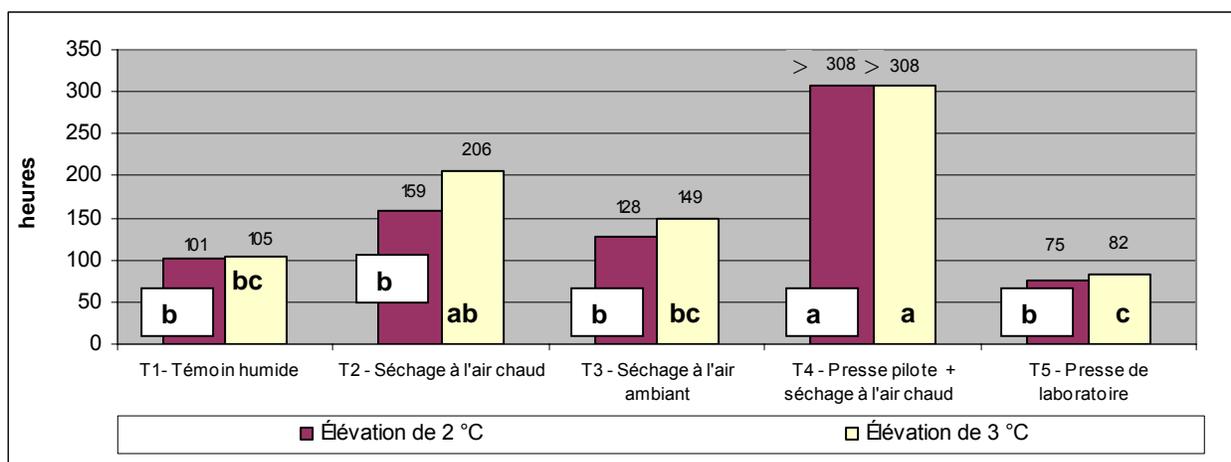


Figure 2.22 Effet des traitements sur le nombre d'heures pour une élévation de 2°C et de 3°C des sous-produits de maïs sucré dans le test de stabilité aérobie
a, b, c : pour chaque paramètre, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

Température maximale et temps pour l'atteindre

Le témoin humide a atteint une température 44,96°C après 137 heures d'exposition à l'air. Le matériel traité avec la presse de laboratoire (T5) s'est comporté de la même façon, puisqu'une température de 41,29°C a été atteinte après 110 heures d'exposition à l'air, alors que le matériel séché à l'air ambiant (T3) a atteint une température un peu moins élevée (31,54°C après 185 heures).

Par contre, le matériel séché à l'air chaud (T2 = 24,71°C après 299 heures) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4 = 18,72°C après 231 heures) ont atteint une température beaucoup moins élevée que le témoin humide et celle-ci a été atteinte après une période d'exposition à l'air beaucoup plus longue (figure 2.23).

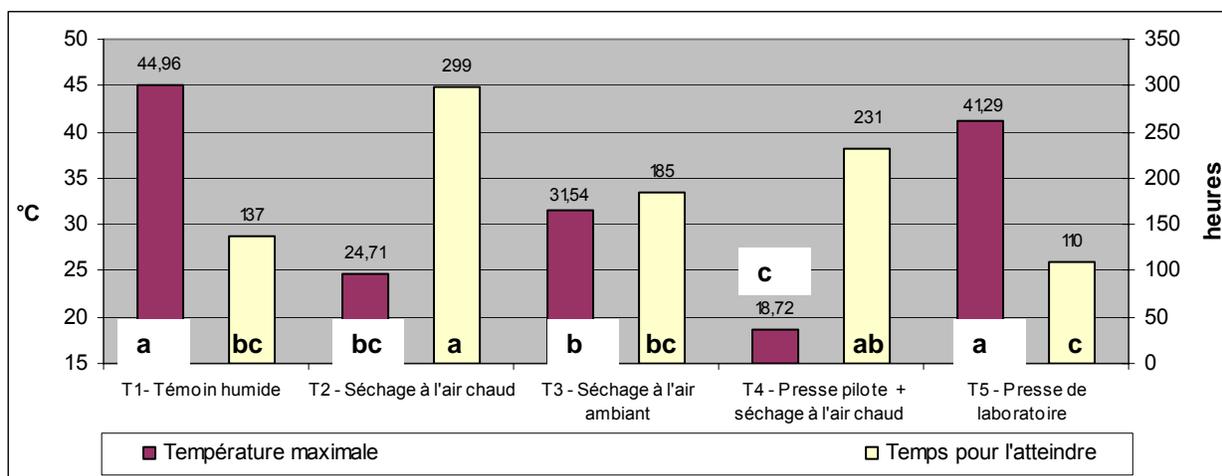


Figure 2.23 Effet des traitements sur la température maximale atteinte par les sous-produits de maïs sucré et le nombre d'heures pour l'atteindre dans le test de stabilité aérobie
a, b, c : pour chaque paramètre, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

Élévation moyenne de température pendant 7 jours et 14 jours

Pendant les 7 premiers jours du test de stabilité aérobie, l'élévation moyenne de température du témoin humide (T1) par rapport à un témoin inerte a été de 8,40°C. Le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) se sont comportés de la même façon, avec des élévations moyennes de 5,97°C et 6,09°C, alors que dans le cas du matériel séché à l'air chaud (T2) et de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) l'élévation de température a été beaucoup plus faible que chez le témoin humide (1,13°C et 0,21°C).

Pour l'ensemble des 14 jours du test de stabilité aérobie, l'élévation moyenne de température du témoin humide (T1) par rapport à un témoin inerte a été de 9,98°C. Tous les autres traitements ont donné des élévations de température plus faibles que le témoin humide, avec des valeurs de 5,83°C pour le séchage à l'air ambiant (T3), 5,21°C pour la presse de laboratoire (T5), 2,67°C pour le séchage à l'air chaud (T2) et 0,13°C pour le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) (figure 2.24).

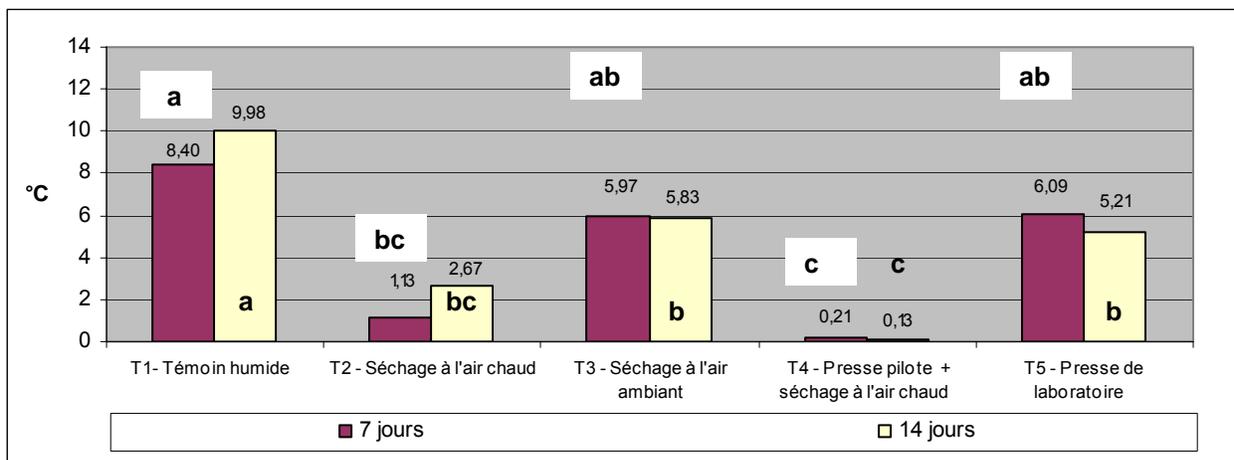


Figure 2.24 Effet des traitements sur l'élévation moyenne de température des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie

a, b, c : pour chaque paramètre, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

2.3.2 Caractéristiques de l'ensilage après 7 jours et 14 jours d'exposition à l'air

Matière sèche

La teneur en matière sèche du matériel séché à l'air chaud (T2), de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) et de celui traité avec la presse de laboratoire (T5) a été significativement plus élevée que celle du matériel séché à l'air ambiant (T3) qui a été elle-même plus élevée que celle du témoin humide (T1) et ce, quelle que soit la durée d'exposition à l'air (figure 2.25).

Cependant, la teneur en matière sèche a augmenté pendant le test de stabilité aérobie, suite au séchage de la couche superficielle. Et l'augmentation a été significativement plus faible dans le témoin humide (T1) et le matériel séché à l'air ambiant (T3) que dans celui séché à l'air chaud (T2), celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) quelle que soit la durée d'exposition à l'air. Ceci semble dû à la teneur en matière sèche plus faible de l'ensilage des traitements 1 et 3. En effet, plus la teneur en matière sèche est faible, plus il faut évaporer d'eau pour faire augmenter la teneur en matière sèche de 1% (figure 2.25).

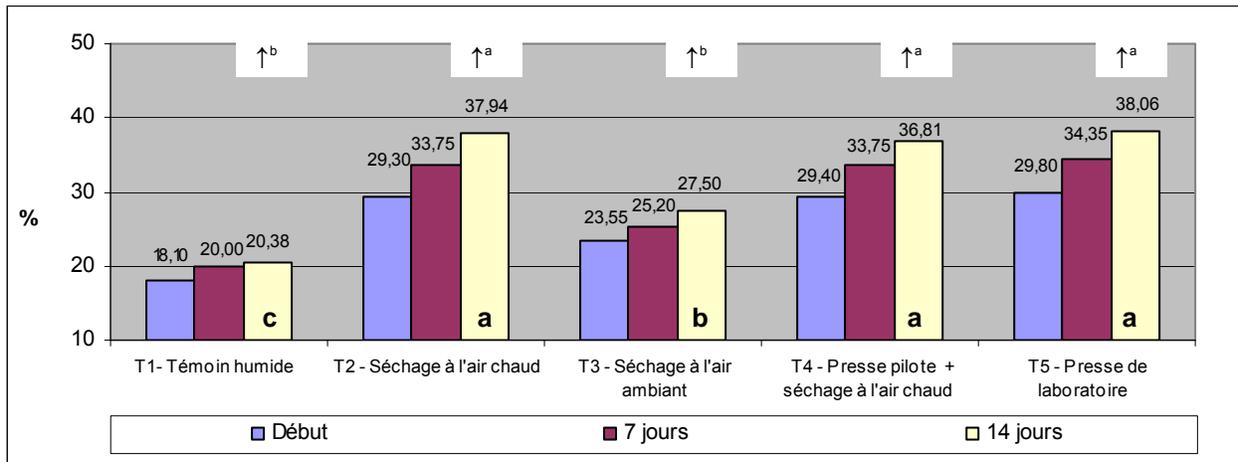


Figure 2.25 Effet des traitements sur l'évolution de la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie

a, b, c : pour chaque durée, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

pH

Pendant le test de stabilité aérobie, le pH a augmenté de façon marquée dans le témoin humide (T1), le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) alors qu'il a peu varié dans le matériel séché à l'air chaud (T2) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4). En fait, l'augmentation de pH s'est faite à un rythme différent d'un silo à l'autre, de sorte que les différences observées après 7 jours n'ont pas été significatives. Par contre, après 14 jours d'entreposage le pH a été significativement plus élevé dans T1 (témoin humide) et T3 (séchage à l'air ambiant) que dans T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud), avec des valeurs de 4,62 et 4,77 comparativement à 3,65 et 3,38 (figure 2.26).

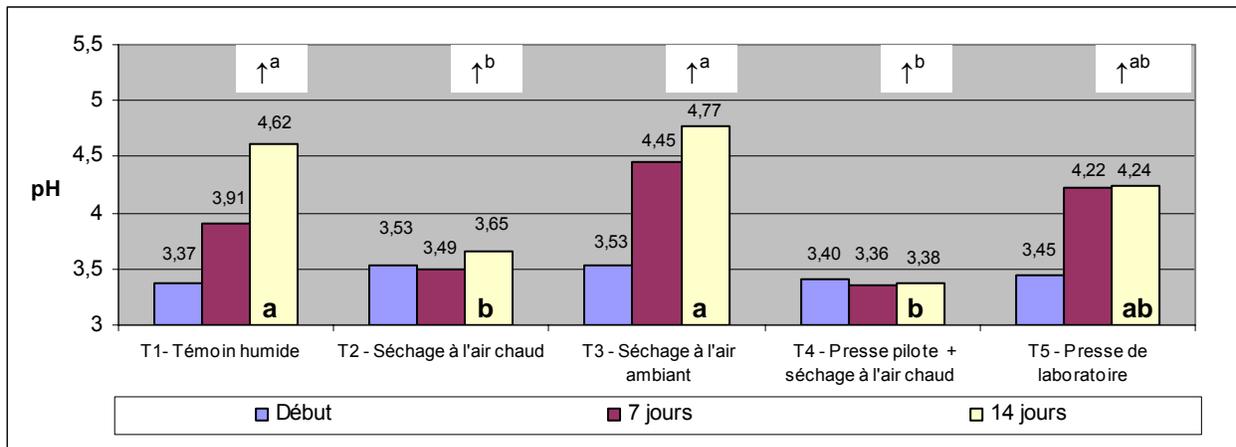


Figure 2.26 Effet des traitements sur l'évolution du pH des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie

a, b, c : pour chaque durée, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Perte de matière sèche

Après 7 jours d'exposition à l'air, la perte de matière sèche a été de 10,73% dans le témoin humide (T1). Le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) ont subi une perte de matière sèche comparable au témoin humide, avec des valeurs de 8,74% et 10,26% respectivement. Par contre, la perte de matière sèche du matériel séché à l'air chaud (T2) et de celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) a été significativement plus faible que celle du témoin humide, avec des valeurs de 2,77% et 2,42% respectivement.

Après 14 jours d'exposition à l'air, chacun des ensilages traités a présenté une perte de matière sèche beaucoup plus faible que le témoin humide (25,39%). De plus, le matériel séché à l'air chaud (T2) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) ont subi une perte de matière sèche (5,12% et 4,68% respectivement) significativement plus faible que celui séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) (15,57% et 14,56% respectivement) (figure 2.27).

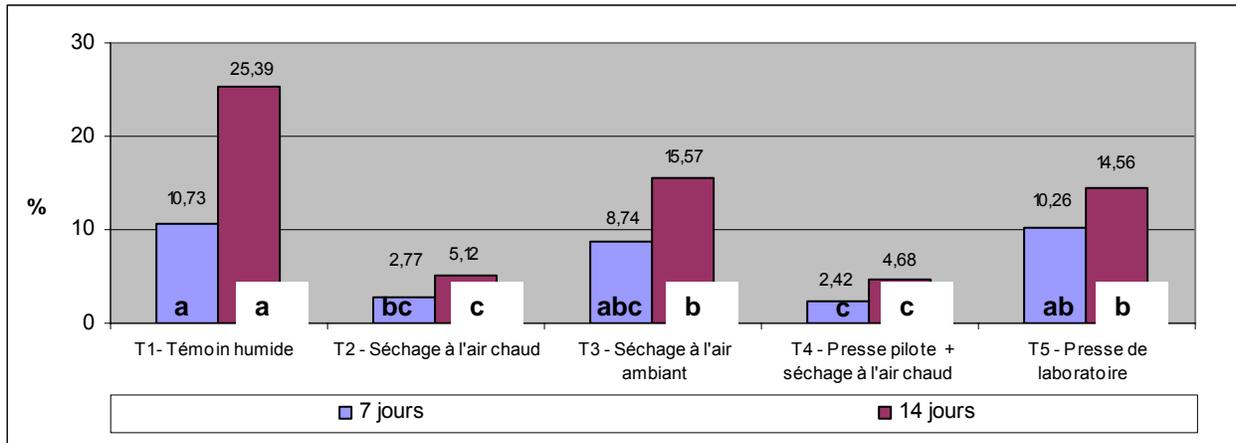


Figure 2.27 Effet des traitements sur la perte de matière sèche des sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie

a, b, c : pour chaque durée, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Mycélium

Après 7 jours d'exposition à l'air, nous n'avons observé aucun développement de mycélium. Par contre, après 14 jours il y avait un développement significatif de mycélium dans le témoin humide (T1), le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) alors qu'il n'y en avait pas dans celui séché à l'air chaud (T2) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) (figure 2.28).

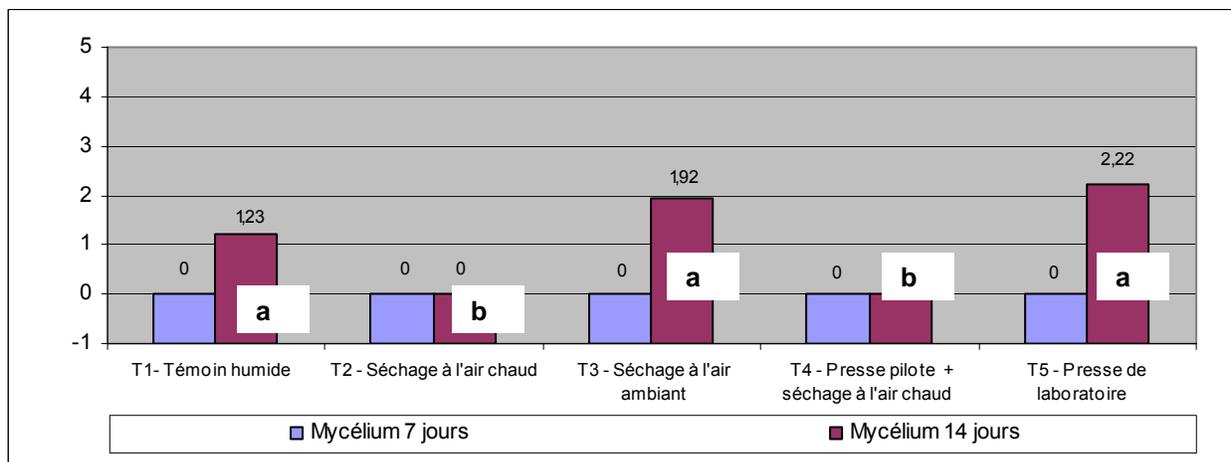


Figure 2.28 Effet des traitements sur le développement de mycélium dans les sous-produits de maïs sucré pendant 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie
a, b : pour chaque paramètre, les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

Levures et moisissures

Après 14 jours d'exposition à l'air, la population de moisissures viables a été importante dans le témoin humide (6,76 log UFC/g). Elle a été encore plus élevée dans le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) (8,47 log UFC/g et 8,64 log UFC/g respectivement). Par contre, elle a été significativement plus faible dans celui séché à l'air chaud (T2) et celui traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) (2,90 log UFC/g et 2,77 log UFC/g respectivement).

Quant à la population de levures viables, elle a été plus élevée dans le matériel séché à l'air ambiant (T3) et celui traité avec la presse de laboratoire (T5) (7,47 log UFC/g et 8,92 log UFC/g respectivement) que dans le témoin humide (5,20 log UFC/g), comparable à ce dernier dans le matériel traité avec la presse pilote avant d'être séché à l'air chaud (T4) (5,15 log UFC/g), mais significativement plus faible dans celui séché à l'air chaud (T2) (2,82 log UFC/g) (figure 2.29).

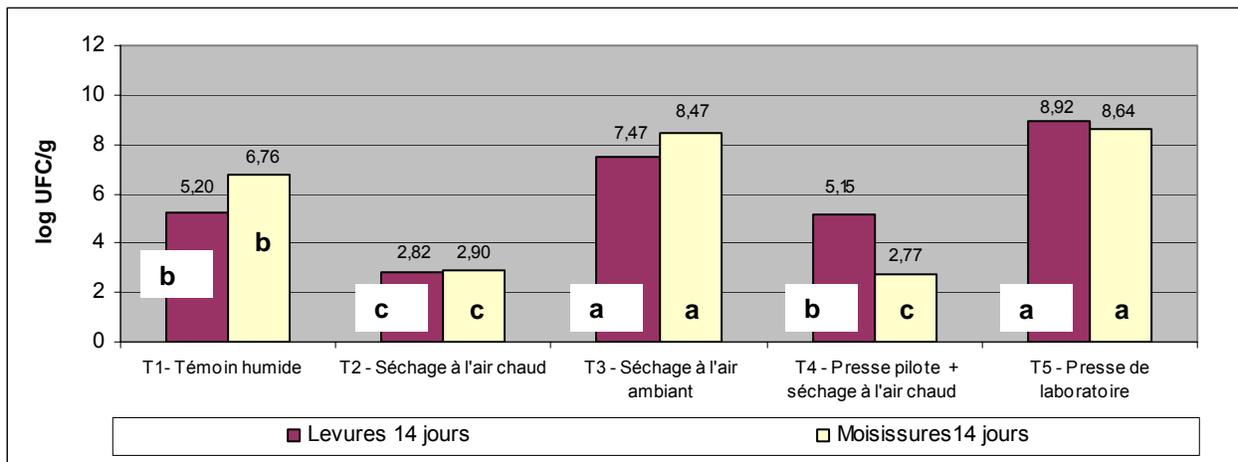


Figure 2.29 Effet des traitements sur les populations de levures et de moisissures dans les sous-produits de maïs sucré après 7 jours et 14 jours dans le test de stabilité aérobie

a, b, c : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan ($P < 0,05$).

2.3.3 Synthèse

Chauffage de l'ensilage

Les sous-produits de maïs sucré ont présenté une stabilité aérobie relativement bonne quel que soit le traitement appliqué. En effet, aucun traitement n'a chauffé de façon significative avant 75 heures (2°C) à 82 heures (3°C) d'exposition à l'air. Cependant, seul T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) a retardé de façon significative le chauffage de l'ensilage comparativement au témoin humide (élévation de 2°C après >308 heures vs 101 heures).

La température maximale de T5 (presse de laboratoire) a été comparable à celle du témoin humide (41,29°C vs 44,96°C) alors que celles de T2 (séchage à l'air chaud), T3 (séchage à l'air ambiant) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) ont été inférieures à celle du témoin humide (24,71°C, 31,54°C et 18,72°C respectivement vs 44,96°C).

L'élévation moyenne de température de T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) a été inférieure à celle du témoin humide après 7 jours (1,13°C et 0,21°C respectivement vs 8,40°C) et 14 jours (2,67°C et 0,13°C vs 9,98°C) d'exposition à l'air alors que dans le cas de T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire) elle a été comparable au témoin humide après 7 jours (5,97°C et 6,09°C vs 8,40°C) mais inférieure à celui-ci après 14 jours (5,83°C et 5,21°C vs 9,98°C).

Caractéristiques de l'ensilage après 7 jours et 14 jours d'exposition à l'air

La teneur en matière sèche de T3 (séchage à l'air ambiant) a augmenté relativement peu tout comme celle du témoin humide après 7 jours (1,65% vs 1,90%) et 14 jours (3,95% vs 2,28%) d'exposition à l'air. Par contre, celles de T2 (séchage à l'air chaud), T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) et T5 (presse de laboratoire) ont augmenté beaucoup après 7 jours (4,45%, 4,35% et 4,55% respectivement) et 14 jours (8,64%, 7,41% et 8,26% respectivement) d'exposition à l'air.

Les pH de T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire) ont augmenté pendant le test de stabilité aérobie tout comme celui du témoin humide alors que ceux de T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) ont été stables et significativement inférieurs à celui du témoin humide après 14 jours d'exposition à l'air (3,65 et 3,38 vs 4,62).

La perte de matière sèche de T3 (séchage à l'air ambiant) et celle de T5 (presse de laboratoire) ont été comparables à celle du témoin humide après 7 jours (8,74% et 10,26% vs 10,73%) alors qu'elles ont été inférieures à celle-ci après 14 jours (15,57% et 14,56% vs 25,39%). Par contre, la perte de matière sèche de T2 (séchage à l'air chaud) et celle de T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) ont été inférieures à celle du témoin humide aussi bien après 7 jours (2,77% et 2,42% vs 10,73%) qu'après 14 jours (5,12% et 4,68% vs 25,39%).

Nous n'avons observé aucun développement de mycélium après 7 jours d'exposition à l'air quel que soit le traitement, alors qu'après 14 jours il y a eu un développement significatif de mycélium dans T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire) tout comme dans le témoin humide (1,92 et 2,22 vs 1,23) mais pas dans T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud).

La population de levures viables de T3 (séchage à l'air ambiant) et celle de T5 (presse de laboratoire) ont été supérieures à celle du témoin humide (7,94 log UFC/g et 8,92 log UFC/g vs 5,20 log UFC/g) après 14 jours d'exposition à l'air alors que celle de T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) lui a été comparable (5,15 log UFC/g vs 5,20 log UFC/g) et celle de T2 (séchage à l'air chaud) lui a été inférieure (2,82 log UFC/g vs 5,20 log UFC/g).

Quant à la population de moisissures viables, elle a été supérieure à celle du témoin humide dans T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire) (8,47 log UFC/g et 8,64 log UFC/g vs 6,76 log UFC/g) mais inférieure à celle-ci dans T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) (2,90 log UFC/g et 2,77 log UFC/g vs 6,76 log UFC/g).

Ce qu'il faut retenir

L'analyse de l'ensemble des paramètres étudiés démontre clairement que T3 (séchage à l'air ambiant) et T5 (presse de laboratoire) n'ont pas amélioré la stabilité aérobie des sous-produits de maïs sucré alors que T2 (séchage à l'air chaud) et T4 (presse pilote + séchage à l'air chaud) ont donné un ensilage beaucoup plus stable que le témoin humide.

- VOLET 2 -

Ensilage en mini silos

Conclusion

- 1- Le séchage à l'air chaud (T2), le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) et le traitement avec la presse de laboratoire (T5) ont permis d'atteindre la teneur en matière sèche visée (30%) mais pas le séchage à l'air ambiant (T3).
- 2- Le séchage à l'air ambiant (T3), le traitement avec la presse de laboratoire (T5) et à un moindre degré le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) ont entraîné une perte importante de sucres solubles, de sorte qu'au moment de la mise en silo l'aptitude à l'ensilage de T3 et T5, tel que définie par le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon », a été seulement acceptable (200-400 g/Eq) alors que celle des autres traitements a été excessivement élevée (>800 g/Eq).
- 3- Malgré une ensilabilité différente, tous les traitements ont donné un ensilage avec un pH inférieur à 3,6 et ne présentant pas de signe de détérioration après 120 jours d'entreposage, ce qui indique que dans chaque cas la fermentation a été très poussée et a fortement limité le développement des microorganismes indésirables tant que les conditions anaérobies ont été maintenues. Cependant, seul le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) a permis une efficacité de la fermentation, tel que mesuré par le rapport « acide lactique / acide acétique », supérieure au témoin humide (T1) (5,45 vs 4,51). Le séchage à l'air chaud jusqu'à 31% de matière sèche (T2) semble au contraire avoir réduit l'efficacité de la fermentation (3,82 vs 4,51).
- 4- La perte de matière sèche totale, soit celle due au traitement lui-même plus celle due à la fermentation qui en a résulté, a été à son niveau maximum dans le matériel pressé (T4 et T5 = environ 24%), à son niveau minimum dans le matériel séché à l'air chaud (T2 = environ 14%) et à un niveau intermédiaire dans le témoin humide et le matériel séché à l'air ambiant (T1 et T3 = environ 18%).
- 5- Au chapitre de la valeur nutritive, les sous produits de maïs sucré « fermentés » ont présenté en moyenne une valeur protéique comparable à celle généralement rapportée pour l'ensilage de maïs (PB = 8 à 9%). Cependant, ils sont beaucoup plus fibreux que l'ensilage de maïs (ADF = 37% vs 28%) (NDF = 65% vs 45%) de sorte qu'ils seront ingérés en plus faible quantité et auront une valeur énergétique plus faible que ce dernier. L'effet global des traitements sur la protéine brute et la protéine soluble a été relativement faible malgré des effets non négligeables des traitements eux-mêmes (effet direct) et de la fermentation qui en a résulté (effet indirect). Par contre, tous les ensilages traités ont présenté une teneur en fibre par détergent neutre supérieure au témoin humide (environ 68% pour T4 et T5 et 64% pour T2 et T3 vs 61% pour T1) alors que seuls T3 et T5 ont présenté une teneur en fibre par détergent acide supérieure à ce dernier (environ 38% vs 36%). Finalement, la teneur en minéraux a été maximale dans T3 et minimale dans T5.
- 6- La stabilité aérobie des sous-produits de maïs sucré a été relativement bonne quel que soit le traitement appliqué. En effet, aucun traitement n'a entraîné une élévation de 2°C avant 75 h d'exposition à l'air et n'a permis le développement de mycélium après 7 jours

d'exposition à l'air. Cependant, l'analyse de l'ensemble des paramètres étudiés démontre clairement que le séchage à l'air ambiant (T3) et le traitement avec la presse de laboratoire (T5) n'ont pas amélioré la stabilité aérobie des sous-produits de maïs sucré alors que le séchage à l'air chaud (T2) et le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) ont donné un ensilage beaucoup plus stable que le témoin humide.

- 7- Toutes ces données indiquent que le séchage à l'air chaud (T2) et le traitement avec la presse pilote suivi du séchage à l'air chaud (T4) sont les deux traitements qui ont le plus de chance de donner un ensilage de bonne qualité quelles que soient les conditions entre le moment de la mise en silo et le moment de l'alimentation. La combinaison pressage-séchage (T4) présente plusieurs avantages, notamment de maintenir un rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » élevé au moment de la mise en silo (comme T1 et T2 et contrairement à T3 et T5), d'améliorer l'efficacité de la fermentation (contrairement à tous les autres traitements) et finalement de ne pas faire augmenter la teneur en fibre par détergent acide et d'améliorer beaucoup la stabilité aérobie de l'ensilage (comme T2 et contrairement à T3 et T5). Ce traitement a par contre l'inconvénient d'impliquer une perte de matière sèche totale plus élevée que le témoin humide (comme T5 et contrairement à T2 et T3) et de donner un ensilage avec une teneur en fibre par détergent neutre plus élevée que ce dernier (autant que T5 et plus que T2 et T3). Le séchage à l'air chaud (T2) présente, quant à lui, l'avantage d'impliquer une perte en matière sèche plus faible que tous les autres traitements et de donner un ensilage avec une teneur en fibre par détergent neutre plus faible que la combinaison pressage-séchage (T4). De plus, il ne fait pas augmenter la teneur en fibre par détergent acide et améliore beaucoup la stabilité aérobie comme T4. Par contre, la fermentation de T2 est moins efficace que celle de T4 malgré une ensilabilité comparable.
- 8- Quant au séchage à l'air ambiant (T3) et au pressage jusqu'à 30% de matière sèche (T5), on ne peut pas les recommander même s'ils permettent une acidification pratiquement aussi poussée que les autres traitements, à cause principalement de leurs effets négatifs sur la valeur nutritive et la stabilité aérobie de l'ensilage. En effet, puisqu'ils ne permettent pas d'obtenir un rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » élevé au moment de la mise en silo, ces traitements donnent lieu à une fermentation peu efficace et à une perte de matière sèche totale comparable (T3) ou plus élevée (T5) que le témoin humide. Il en résulte l'obtention d'un ensilage qui a une teneur en fibre par détergent acide plus élevée et une stabilité aérobie moins bonne que T2 et T4.

Avertissement

Les résultats de cette expérience doivent être utilisés en considérant que :

- 1- Seules les mesures et analyses effectuées sur les sous-produits de maïs sucré fermenté (après 120 jours d'entreposage) ont été faites en 4 répétitions et analysées statistiquement.
- 2- Les mesures et analyses effectuées avant de réaliser les traitements et au moment de la mise en silo doivent être considérées uniquement pour expliquer l'effet global des traitements, tel que mesuré après 120 jours d'entreposage.
- 3- Les conditions d'ensilage en silos de grandes dimensions s'éloignent souvent beaucoup des conditions en mini silos, de sorte que la réussite d'un ensilage en mini silos ne constitue pas une garantie de réussite en silos de grandes dimensions.

ANNEXE 2.1

Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré avant de réaliser les traitements dans l'essai d'ensilage en mini silos

Paramètre	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3	Trait. 4	Trait. 5	Moyenne
	Témoin humide	Séchage à l'air chaud	Séchage à l'air ambiant	Presse pilote + air chaud	Presse de laboratoire	
Fermentation						
Matière sèche (%)	20,2	19,0	20,0	20,2	19,4	19,8
pH	4,49	4,30	4,47	4,54	4,17	4,39
Pouvoir tampon (mEq NaOH/kg MS)	124,7	139,5	142,0	140,1	153,1	139,9
Sucres solubles (%)	19,71	18,68	18,58	16,94	14,13	17,61
Sucres solubles / pouvoir tampon (g/Eq)	1580	1339	1308	1201	923	1259
Amidon (%)	9,10	7,41	8,64	7,52	7,37	8,01
Azote ammoniacal (ég. P.B.) (%)	0,18	0,15	0,12	0,12	0,10	0,13
Acide lactique (%)	0,68	0,79	0,79	0,79	1,39	0,89
Acide acétique (%)	0,38	0,61	0,47	0,49	1,64	0,72
Acide propionique (%)	0	0	0,30	0	0,51	0,16
Valeur nutritive						
Protéine brute (%)	6,3	7,1	6,9	6,5	7,2	6,80
Solubilité de la protéine (%)	7,58	6,52	7,35	8,66	11,94	8,41
Protéine liée à la fibre (%)	0,52	0,40	0,47	0,45	0,48	0,46
Fibre par détergent acide (%)	29,8	31,4	30,9	30,8	30,7	30,72
Fibre par détergent neutre (%)	63,9	65,9	63,4	62,0	63,5	63,74
Phosphore (%)	0,21	0,22	0,22	0,21	0,25	0,22
Potassium (%)	0,57	0,65	0,66	0,63	0,73	0,65
Calcium (%)	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
Magnésium (%)	0,11	0,13	0,13	0,12	0,14	0,13
Microbiologie						
Levures totales (log UFC/g)	6,60	6,95	6,97	6,60	6,98	6,81
Moisissures totales (log UFC/g)	5,11	4,52	5,23	4,52	4,52	4,90
Bactéries lactiques (log UFC/g)	8,78	8,30	8,00	8,48	8,70	8,53

ANNEXE 2.2

Effet des traitements sur les caractéristiques des sous-produits de maïs sucré au moment de la mise en silo dans l'essai d'ensilage en mini silos

Paramètre	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3	Trait. 4	Trait. 5	Moyenne
	Témoin humide	Séchage à l'air chaud	Séchage à l'air ambiant	Presse pilote + air chaud	Presse de laboratoire	
Fermentation						
Matière sèche (%)	20,90 ^d	31,55 ^{ab}	23,50 ^c	32,10 ^a	30,75 ^b	27,76 (0,27) ²
Perte de matière sèche (%)	---	---	11,94	12,59	13,95	---
pH	4,42	4,45	4,68	4,43	4,21	4,44
Pouvoir tampon (mEq NaOH/kg MS)	116,7	135,9	124,0	105,9	170,7	130,6
Sucres solubles (%)	19,27	16,77	3,21	12,17	6,49	11,58
Sucres solubles / pouvoir tampon (g/Eq)	1647	1233	259	1148	380	933
Amidon (%)	9,03	6,45	3,06	7,13	4,97	6,13
Azote ammoniacal (ég. P.B.) (%)	0,12	0,10	0,07	0,11	0,04	0,09
Acide lactique (%)	0,62	0,74	0,38	0,68	0,71	0,63
Acide acétique (%)	0,41	0,48	0,46	0,46	1,05	0,57
Acide propionique (%)	0	0	0	0	0,31	0,06
Valeur nutritive						
Protéine brute (%)	6,2	6,7	8,6	6,3	7,1	6,98
Solubilité de la protéine (%)	7,70	3,18	20,24	2,90	8,31	8,47
Protéine liée à la fibre (%)	0,47	0,40	0,71	0,60	0,66	0,57
Fibre par détergent acide (%)	29,5	29,6	36,6	33,7	35,5	32,98
Fibre par détergent neutre (%)	63,4	65,4	65,5	65,5	69,3	65,82
Phosphore (%)	0,21	0,22	0,29	0,16	0,18	0,21
Potassium (%)	0,59	0,65	0,77	0,48	0,47	0,59
Calcium (%)	0,05	0,07	0,10	0,05	0,05	0,06
Magnésium (%)	0,11	0,13	0,16	0,10	0,10	0,12
Microbiologie						
Levures totales (log UFC/g)	7,02	6,81	6,60	6,99	6,78	6,86
Moisissures totales (log UFC/g)	4,70	5,12	4,52	4,85	4,52	4,81
Bactéries lactiques ¹ (log UFC/g)	7,48	8,00	8,00	8,90	9,00	8,61

¹ après inoculation ; ² erreur type ;

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

ANNEXE 2.3

Effet des traitements sur les caractéristiques de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré après 120 jours d'entreposage dans l'essai d'ensilage en mini silos

Paramètre	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3	Trait. 4	Trait. 5	Moyenne	Erreur type
	Témoin humide	Séchage à l'air chaud	Séchage à l'air ambiant	Presse pilote + air chaud	Presse de laboratoire		
Fermentation							
Matière sèche (%)	18,10 ^c	29,30 ^a	23,55 ^b	29,40 ^a	29,80 ^a	26,03	0,23
Perte de matière sèche (%)	17,78 ^a	14,51 ^b	6,65 ^d	10,65 ^c	10,49 ^c	12,02	1,00
pH	3,37 ^d	3,53 ^a	3,53 ^a	3,40 ^c	3,45 ^b	3,46	0,01
Sucres solubles (%)	6,98 ^a	5,40 ^b	2,07 ^e	4,37 ^c	3,12 ^d	4,39	0,17
Amidon (%) *	2,16	2,87	2,99	3,57	3,20	2,96	
Azote ammoniacal (éq. P.B.) (%)	0,80 ^a	0,56 ^c	0,64 ^b	0,58 ^{bc}	0,59 ^{bc}	0,63	0,02
Acide lactique (%)	16,34 ^a	8,54 ^d	9,84 ^c	11,94 ^b	8,97 ^d	11,13	0,28
Acide acétique (%)	3,64 ^a	2,27 ^{bc}	3,40 ^a	2,20 ^c	2,56 ^b	2,81	0,11
Acide propionique (%)	0	0	0	0	0	0	
Acide lactique / acide acétique	4,51 ^b	3,82 ^c	2,90 ^d	5,45 ^a	3,51 ^c	4,04	0,19
Valeur nutritive							
Protéine brute (%)	8,40 ^{abc}	8,60 ^{ab}	8,93 ^a	8,13 ^{bc}	7,98 ^c	8,41	0,19
Solubilité de la protéine (%)	59,50 ^a	52,69 ^c	47,81 ^d	53,57 ^{bc}	56,67 ^{ab}	54,05	1,21
Protéine liée à la fibre (%)	0,54 ^b	0,65 ^a	0,56 ^b	0,54 ^b	0,71 ^a	0,60	0,02
Fibre par détergent acide (%)	35,73 ^a	37,00 ^{abc}	37,88 ^{ab}	36,65 ^{bc}	38,38 ^a	37,13	0,44
Fibre par détergent neutre (%)	60,63 ^c	64,40 ^b	64,85 ^b	68,83 ^a	68,45 ^a	65,43	0,59
Phosphore (%) *	0,27	0,22	0,30	0,20	0,18	0,23	
Potassium (%) *	0,73	0,68	0,81	0,55	0,49	0,65	
Calcium (%) *	0,07	0,09	0,11	0,07	0,07	0,08	
Magnésium (%) *	0,14	0,14	0,17	0,13	0,11	0,14	
Microbiologie							
Levures totales (log UFC/g)	0-1,48 ^b	0-1,48 ^b	2,81-3,18 ^a	0-1,48 ^b	2,79-3,16 ^a	1,12-2,15	0,71
Moisissures totales (log UFC/g)	1,63-2,37 ^a	0-1,48 ^a	1,02-2,13 ^a	0,58-1,68 ^a	0-1,48 ^a	0,64-1,83	0,69-0,41
Développement du mycélium (0 à 5)	0	0	0	0	0	0	

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

* les teneurs en amidon et en minéraux (P, K, Ca et Mg) ont été déterminées seulement sur un échantillon composite de chaque traitement

ANNEXE 2.4

Effet des traitements sur le chauffage de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré dans le test de stabilité aérobie

Paramètre	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3	Trait. 4	Trait. 5	Moyenne	Erreur type
	Témoin humide	Séchage à l'air chaud	Séchage à l'air ambiant	Presse pilote + air chaud	Presse de laboratoire		
Temps pour une élévation de 2°C ¹ (heures)	101 ^b	159 ^b	128 ^b	> 308 ^a	75 ^b	154	31,64
Temps pour une élévation de 3°C ¹ (heures)	105 ^{bc}	206 ^{ab}	149 ^{bc}	> 308 ^a	82 ^c	170	34,62
Température maximale (°C)	44,96 ^a	24,71 ^{bc}	31,54 ^b	18,72 ^c	41,29 ^a	32,24	2,98
Temps pour atteindre la température maximale (heures)	137 ^{bc}	299 ^a	185 ^{bc}	231 ^{ab}	110 ^c	192	36,03
Élévation moyenne de température pendant les 7 premiers jours ¹ (°C)	8,40 ^a	1,13 ^{bc}	5,97 ^{ab}	0,21 ^c	6,09 ^{ab}	4,36	1,69
Élévation moyenne de température pendant les 14 jours ¹ (°C)	9,98 ^a	2,67 ^{bc}	5,83 ^b	0,13 ^c	5,21 ^b	4,77	1,07

¹ par rapport à un témoin inerte

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

ANNEXE 2.5

Effet des traitements sur les caractéristiques de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré après 7 jours d'exposition à l'air dans le test de stabilité aérobie

Paramètre	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3	Trait. 4	Trait. 5	Moyenne	Erreur type
	Témoin humide	Séchage à l'air chaud	Séchage à l'air ambiant	Presse pilote + air chaud	Presse de laboratoire		
Fermentation							
Matière sèche (%)	20,00 ^c	33,75 ^a	25,20 ^b	33,75 ^a	34,35 ^a	29,41	0,44
Perte de matière sèche (%)	10,73 ^a	2,77 ^{bc}	8,74 ^{abc}	2,42 ^c	10,26 ^{ab}	6,98	2,39
pH	3,91 ^a	3,49 ^a	4,45 ^a	3,36 ^a	4,22 ^a	3,89	0,34
Microbiologie							
Développement du mycélium (0 à 5)	0	0	0	0	0	0	

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

ANNEXE 2.6

Effet des traitements sur les caractéristiques de l'ensilage de sous-produits de maïs sucré après 14 jours d'exposition à l'air dans le test de stabilité aérobie

Paramètre	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3	Trait. 4	Trait. 5	Moyenne	Erreur type
	Témoin humide	Séchage à l'air chaud	Séchage à l'air ambiant	Presse pilote + air chaud	Presse de laboratoire		
Fermentation							
Matière sèche (%)	20,38 ^c	37,94 ^a	27,50 ^b	36,81 ^a	38,06 ^a	32,14	0,79
Perte de matière sèche (%)	25,39 ^a	5,12 ^c	15,57 ^b	4,68 ^c	14,56 ^b	13,06	2,43
pH	4,62 ^a	3,65 ^b	4,77 ^a	3,38 ^b	4,24 ^{ab}	4,13	0,28
Microbiologie							
Levures totales (log UFC/g)	5,20 ^b	2,82 ^c	7,47 ^a	5,15 ^b	8,92 ^a	5,91	0,58
Moisissures totales (log UFC/g)	6,76 ^b	2,90 ^c	8,47 ^a	2,77 ^c	8,64 ^a	5,91	0,18
Développement du mycélium (0 à 5)	1,25 ^{ab}	0,00 ^b	2,25 ^a	0,00 ^b	2,25 ^a	1,15	0,58

a, b, c, d : les moyennes qui n'ont pas une lettre commune sont statistiquement différentes, selon le test de Duncan (P < 0,05).

ANNEXE 2.7

Teneur en sucres solubles et pouvoir tampon de quelques plantes fourragères

Espèces	Source	Conditions	Sucres solubles (%)	Pouvoir tampon (mEq NaOH / kg MS)	Sucres solubles / pouvoir tampon (g / Eq)
Maïs-épi humide	Amyot, non publié		2,8	28	975
Maïs fourrager	MAPAQ, 1990			200	
	Pioneer, 1990	1/3 ligne d'amidon 2/3 ligne d'amidon Point noir	9,8 7,1 6,6		
	Amyot et al, 2003		5,7	129	442
	Amyot et al, 2000		4,3	176	244
Fléole	MAPAQ, 1990			288	
	Amyot, 2004	Coupe 2 Coupe 2	13,7 10,4	204 234	671 444
	Amyot, 2005	Épiaison Floraison	9,9 9,3	300 229	330 407
Dactyle	MAPAQ, 1990			300	
Luzerne	MAPAQ, 1990			480	
	Amyot et al, 1995	Coupe 2 Coupe 3	8,4 17,7	262 325	321 545
	Amyot, 2001a	Coupe 1 Coupe 2 Coupe 3	9,1 5,6 10,6	350 249 302	260 225 351
	Amyot, 2001b	Coupe 1	9,2	396	232
	Amyot, 2004	Coupe 2 Coupe 3 Coupe 3	9,6 10,8 14,3	264 189 214	364 571 668
Trèfle blanc	MAPAQ, 1990			512	
Trèfle rouge	MAPAQ, 1990			560	
Luzerne / fléole (50 / 50)	Amyot, 2001b	Coupe 2 Coupe 2 Coupe 3	10,6 11,7 16,2	332 290 258	319 403 628
	Amyot, 2004	Coupe 2 Coupe 2	11,7 9,4	290 342	403 275

ANNEXE 2.8

Valeur nutritive standard du maïs ensilage et des sous-produits de maïs sucré

Critère	(NRC, 2001)			(Agri-Gestion Laval, 2000 ; CPAQ, 1991)				Sous-produits de maïs sucré
	Maïs ensilage			Maïs ensilage				
	Immature < 25% MS	Normal 32-38%MS	Mature >40% MS	Laiteux	Pâteux	Denté	Denté dur	
M.S. (%)	23,5	35,1	44,2	25,4	29,8	34,1	38,5	23,0
ENI (Mcal/kg)	1,36-1,28	1,45-1,38	1,35-1,28	1,50	1,54	1,60	1,64	1,46
ENe (Mcal/kg)				1,51	1,57	1,64	1,69	1,46
ENg (Mcal/kg)	0,89	0,97	0,87	0,91	0,97	1,03	1,08	0,87
HCNS (%)				30,5	33,6	37,6	40,5	34,3
P.B. (%)	9,7	8,8	8,5	10,9	9,9	9,0	8,1	8,8
Dégrad. de PB (%)				78,0	74,0	69,0	64,0	75,0
PB-ADF (%)	0,9	0,8	0,9					
PB-NDF (%)	1,4	1,3	1,3					
Fibre ADF (%)	34,1	28,1	27,5	33,3	31,0	28,3	26,0	29,0
Fibre NDF (%)	54,1	45,0	44,5	53,0	51,0	48,0	46,0	52,0
Fibre efficace (%)				75	75	75	80	75
Lignine (%)	3,5	2,6	3,1					
Gras (%)				2,9	3,0	3,1	3,2	2,3
Ca (%)	0,29	0,28	0,26	0,42	0,34	0,26	0,18	0,30
P (%)	0,24	0,26	0,25	0,32	0,28	0,24	0,20	0,72
Mg (%)	0,19	0,17	0,16	0,26	0,22	0,18	0,14	0,24
Na (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Cl (%)	0,30	0,29	0,17	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00
K (%)	1,30	1,20	1,10	1,24	1,24	1,24	1,24	1,15
S (%)	0,14	0,14	0,10	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11

ANNEXE 2.9

pH de stabilité anaérobie de l'ensilage et quantité de sucres solubles nécessaire pour l'atteindre

Teneur en matière sèche (%)	pH de stabilité anaérobie ¹	Quantité de sucres solubles (%) nécessaire pour l'atteindre selon le pouvoir tampon (mEq NaOH/kg MS) ²		
		150	250	350
15	3,8	7,6	12,7	17,7
20	4,0	6,3	10,6	14,8
25	4,2	5,1	8,4	11,8
30	4,4	3,8	6,3	8,9
35	4,6	2,5	4,2	5,9
40	4,8	1,3	2,1	3,0

¹ Selon Wieringa, 1969.

² Selon Weibbach et al, 1974

ANNEXE 2.10

Barème d'appréciation qualitative des ensilages

Appréciation	Acides gras volatils (millimoles /kg M.S.)	Acide acétique (% de M.S.)	Acide butyrique (% de M.S.)	Azote ammoniacal (% azote total)	Azote soluble (% azote total)
Excellent	< 330	< 2	0	< 5	< 55
Bon	330-660	2-3,5	< 0,5	5-10	55-60
Satisfaisant	660-1000	3,5-5	> 0,5	10-15	60-65
Médiocre	1000-1330	5-6,5	> 0,5	15-20	65-75
Très mauvais	> 1330	> 6,5	> 0,5	> 20	> 75

Adapté de : Institut Technique de l'Élevage Bovin, 1980.

ANNEXE 2.11

Composition moyenne du maïs fourrager et de ses constituants avant fermentation

Paramètre	Plante entière (%)	Grains (%)	Rafle (%)	Tige, feuilles et spathes (%)
Amidon	31,8	68,0	0,0	5,0
Sucres solubles	9,5	4,5	3,0	14,0
Cellulose et hémicellulose	37,0	10,5	86,0	59,0
Lignine	3,7	1,0	3,0	4,0
Matières grasses	3,2	4,4	1,0	2,5
Protéines	9,0	10,0	4,0	6,5
Matière minérale	5,8	1,6	3,0	9,0

Source : INRA, 1989 et CPAQ, 1997.

- VOLET 3 -

Ensilage en grosses balles

Méthodologie

Sous-produits séchés naturellement au sol

Lors de chaque livraison de sous-produits de maïs sucré à l'IRDA – Deschambault, soit les 14, 22 et 29 septembre 2004, une partie du matériel a été épandu au sol en vue de le faire sécher jusqu'à environ 30% de matière sèche et de confectionner des grosses balles.

À chaque occasion, le matériel a été chargé dans une voiture à ensilage sans toit à l'aide d'un tracteur équipé d'un chargeur frontal, puis déchargé dans le champ à l'aide de la vis de déchargement latérale, en se déplaçant à basse vitesse de façon à réaliser un andain. Chaque andain a été ensuite épandu sur une largeur de 2 à 3 mètres à l'aide d'un faneur à toupie.

Lors de la livraison du 14 septembre (essai 1), les sous-produits ont été épandus dans une prairie de graminées fraîchement fauchée et ont été fanés une seule fois, peu de temps après l'épandage. Par contre, lors des deux autres livraisons l'épandage a été réalisé sur une pelouse et sur une surface en béton. De plus, le matériel livré le 22 septembre (essai 2) a été fané deux fois par jour alors que celui livré le 29 septembre (essai 3) l'a été trois fois par jour, jusqu'à ce que la teneur en matière sèche désirée soit atteinte.

Grosses balles cylindriques

Deux presses à grosses balles cylindriques ont été mises à l'essai le 16 septembre (essai 1), l'une à chambre fixe équipée d'un enrouleur à chaînes et barrettes métalliques et d'un lieur à ficelle (Morra, modèle MRI1200) et l'autre à chambre variable équipée d'un enrouleur à courroies et d'un lieur à ficelle (Vicon, modèle RV157), alors que c'est une presse à chambre fixe équipée d'un enrouleur à rouleaux et d'un lieur à filet (Vicon, modèle RF125) qui a été mise à l'essai le 1^{er} octobre (essai 3). Le principe de fonctionnement de ces trois types de presse est illustré à l'annexe 3.1 (illustrations A, B et C). Les balles ainsi confectionnées ont été enrubannées avec 6 épaisseurs de film étirable de 25 microns d'épaisseur et transportées au site d'entreposage immédiatement après leur confection.

Grosses balles rectangulaires

Une presse à grosses balles rectangulaires (Case International, modèle 8575) a été mise à l'essai le 24 septembre (essai 2). Pour réaliser cet essai, les sous-produits ont été chargés dans un camion et transportés au site d'opération de la presse (Saint-Casimir). Les balles ainsi confectionnées ont été placées dans des sacs de plastique de 100 microns d'épaisseur.

Sous-produits séchés artificiellement

Lors de la livraison de sous-produits de maïs sucré du 29 septembre 2004, une partie du matériel a été séchée à l'air chaud jusqu'à environ 30% de matière sèche en utilisant le séchoir adapté aux besoins de cette expérience par SNC-LAVALIN Audet. Ce séchoir a été rempli 5 fois avec 100 kg de sous-produits qui ont été séchés pendant 45-50 minutes de façon à obtenir la teneur en matière sèche désirée.

Des sous-produits de maïs sucrés livrés le 29 septembre 2004 ont également été séchés jusqu'à environ 27% de matière sèche en utilisant la presse pilote du CRSAD (cf. volet 2). Celle-ci a été remplie 122 fois avec 12 kg de matériel et une pression de 2000 lbs/po² (13780 kPa) a été appliquée sur le matériel pendant 3 minutes. Le matériel ainsi obtenu a ensuite été porté jusqu'à environ 32% de matière sèche par séchage à l'air chaud (9 remplissages du séchoir avec environ 100 kg de sous-produits séchés pendant 20-25 minutes à chaque fois).

Le matériel obtenu par séchage à l'air chaud de même que celui obtenu par pressage et séchage ont été inoculés avec l'inoculant Ener-sile 5 selon la méthode décrite précédemment (volet 2).

Grosses balles rectangulaires

Les sous-produits de maïs sucré ainsi traités ont été chargés dans un camion et transportés au site d'opération de la presse à grosses balles rectangulaires (Saint-Casimir) (essai 4).

- VOLET 3 -

Ensilage en grosses balles

Résultats

3.1 Sous-produits séchés naturellement au sol

Conditions de séchage

Dans l'essai 1, réalisé du 14 au 16 septembre, le matériel a été fané 2 fois et le séchage a été lent parce que la température a été peu favorable au séchage la seconde journée (annexe 3.2). De plus le séchage a été inégal, parce que dans les parties des andains où il y avait plus de 2 cm d'épaisseur de matériel, celui-ci s'est tapé au sol, a rendu impossible la circulation de l'air et a « fermenté » plutôt que de sécher. La teneur en matière sèche désirée a néanmoins été atteinte, pour l'ensemble du matériel (tableau 3.1)

Dans l'essai 2, réalisé du 22 au 24 septembre, les conditions ont été favorables au séchage à chaque jour (annexe 3.2) et le séchage a été plus égal puisque le matériel a été fané deux fois par jour (tableau 3.1).

Dans l'essai 3, réalisé du 29 septembre au 1 octobre, les conditions ont également été favorables au séchage à chaque jour (annexe 3.2) et le séchage a été rapide et égal puisque le matériel a été fané trois fois par jour (tableau 3.1).

Opération des presses

Lors de l'essai 1, il n'a pas été possible de confectionner de balle avec la presse à chambre fixe équipée d'un enrouleur à chaînes et barrettes métalliques et d'un lieur à ficelle (Morra, modèle MRI1200). L'enroulement de la balle ne s'amorçait pas, probablement à cause de la densité du matériel et de la présence d'une trop grande quantité de particules fines. Par contre, deux balles de 90 cm de diamètre ont pu être confectionnées, non sans difficultés, avec la presse à chambre variable équipée d'un enrouleur à courroies et d'un lieur à ficelle (Vicon, modèle RV157). Contrairement à la précédente, cette presse permet d'amorcer l'enroulement de la balle, mais on assiste à des glissements de courroies à cause de la forte humidité du matériel.

Dans l'essai 2, deux balles d'environ 1,5 mètres de longueur ont pu être confectionnées, sans aucune difficulté, avec la presse à grosses balles rectangulaires (Case International, modèle 8575).

Dans l'essai 3, deux balles de 120 cm de diamètre ont été confectionnées avec la presse à chambre fixe équipée d'un enrouleur à rouleaux et d'un lieur à filet (Vicon, modèle RF125).

Tableau 3.1 Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré séchés naturellement au sol, des presses utilisées pour confectionner des grosses balles cylindriques ou rectangulaires, des balles confectionnées et des ensilages ainsi réalisés

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Séchage des sous-produits			
Réception	14 sept. 13 h	22 sept. 13 h	29 sept 11h
Mise en andains	14 sept. 15 h	22 sept. 15 h	29 sept. 11 h
Pressage	16 sept. 16 h	24 sept. 16 h	1 oct. 12 h
M.S. à la réception (%)	17,0	20,0	19,0
M.S. au pressage (%)	28,8	42,0	39,6
pH à la réception	5,86	4,45	6,12
pH à la mise en andains	5,66	----	6,02
pH au pressage	4,11	3,97	4,00
Presses utilisées			
Marque	Vicon, modèle RV157	Case International, modèle 8575	Vicon, modèle RF125
Type de balles	Cylindriques	Rectangulaires	Cylindriques
Type de chambre	Chambre variable	-----	Chambre fixe
Type d'enrouleur	Courroies	-----	Rouleaux
Balles confectionnées			
Nombre	2	2	2
Dimensions	0,9 m x 1,2 m	0,8 m x 0,85m x 1,5 m	1,2 m x 1,2 m
Poids total (kg)	1100	915	
Ensilage (balles ouvertes le 6 mai 2005)			
Moisissures (0-5)	0	0 et 0,2 ¹	0
Matière sèche (%)	31,1	42,7	36,2
pH	3,59	3,80	3,66
Acide lactique (%)	6,01	3,73	3,18
Acide acétique (%)	2,36	1,65	1,75
Acide lactique / acide acétique	2,54	2,27	1,82
Sucres solubles (%)	3,21	1,80	3,22
Azote ammoniacal (éq. P.B.) (%)	0,50	0,38	0,31
Valeur nutritive			
Fibre par détergent acide (%)	42,65	40,30	41,25
Fibre par détergent neutre (%)	57,35	60,20	54,15
Protéine brute (%)	7,95	7,35	7,60
Solubilité de la protéine (%)	42,23	32,92	29,81
Protéine liée à la fibre (%)	0,57	0,38	0,45

¹ présence très localisée de moisissures dans une des deux balles de l'essai 2, attribuable au fait que le plastique avait été perforé et donnant lieu à moins de 5% de matériel inconsommable

Analyse de l'ensilage

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur les sous-produits de maïs sucré séchés naturellement au sol et ensilés en grosses balles cylindriques ou rectangulaires (tableau 3.1) indiquent que :

- 1° Au moment de la réception, la teneur en matière sèche des sous-produits de maïs sucré a été comparable d'un essai à l'autre (17% à 20%) mais le pH a été plus bas dans l'essai 2 (4,45) que dans l'essai 1 (5,86) et l'essai 3 (6,12).
- 2° Au moment du pressage, la teneur en matière sèche a été plus élevée dans l'essai 2 et l'essai 3 que dans l'essai 1 (42,0% et 39,6% vs 28,8%) mais le pH a été d'environ 4 dans chaque cas.
- 3° Après 7 à 8 mois d'entreposage, le pH a été inférieur à 3,9 dans chaque cas (3,59 à 3,80), ce qui indique que l'acidification a été suffisamment poussée pour assurer une bonne conservation à long terme. Cependant, la fermentation a été un peu moins poussée (pH de 3,80 et 3,66 vs 3,59) et moins efficace (rapport « acide lactique / acide acétique » de 2,27 et 1,82 vs 2,54), mais a un peu moins dégradé la protéine (rapport « azote ammoniacal / azote total » de 5,17% et 4,08% vs 6,29%) dans l'essai 2 et l'essai 3 que dans l'essai 1. Ceci semble la conséquence de la teneur en matière sèche plus élevée dans l'essai 2 et l'essai 3 comparativement à l'essai 1.
- 4° Les teneurs en fibre par détergent acide (40,30% à 42,65%) et en fibre par détergent neutre (54,15% à 60,20%) ont été relativement élevés. Par ailleurs, la teneur en protéine brute a été faible (7,35% à 7,95%) mais la solubilité de la protéine a été faible (29,81% à 42,23%), ce qui est un signe d'une bonne qualité de la protéine.

La comparaison de l'ensilage en grosses balles rectangulaires (essai 2) et de l'ensilage en mini silos (moyenne des 5 traitements du volet 2) réalisés avec les sous-produits de maïs sucré reçus le 22 septembre 2004 (tableau 3.2) indiquent par ailleurs que :

- 1° La fermentation a été moins poussée et moins efficace dans l'ensilage en grosses balles rectangulaires que dans l'ensilage en mini silos, tel qu'indiqué par un pH plus élevé (3,80 vs 3,46), une plus faible teneur en acide lactique (3,73% vs 11,13%), acide acétique (1,65% vs 2,81%) et azote ammoniacal (0,38% vs 0,63% éq. P.B.), de même qu'une moindre solubilité de la protéine (32,92% vs 54,05%) et un rapport « acide lactique / acide acétique » plus faible (2,27% vs 4,04%). Ceci semble dû principalement à la teneur en matière sèche plus élevée de l'ensilage en grosses balles rectangulaires (42,7% vs 26,03%).
- 2° En ce qui concerne la valeur nutritive, la teneur en fibre par détergent acide a été plus élevée dans l'ensilage en grosses balles rectangulaires que dans l'ensilage en mini silos (40,30% vs 37,13%), mais la teneur en fibre détergent neutre (60,20% vs 65,43%) et la teneur en protéine brute (7,35% vs 8,41%) de l'ensilage en grosses balles rectangulaires ont été plus faibles que celles de l'ensilage en mini silos. Ces différences semblent dues principalement aux pertes quantitatives et qualitatives pendant le séchage au champ.

Tableau 3.2 Comparaison de l'ensilage en grosses balles rectangulaires (essai 2) et de l'ensilage en mini silos (volet 2) réalisés avec les sous-produits de maïs sucré reçus le 22 septembre 2004

Critère	Matériel non traité et non fermenté	Ensilage en mini silos (volet 2) ¹	Ensilage en grosses balles (essai 2)
Fermentation			
Matière sèche (%)	19,8	26,03	42,7
pH	4,49	3,46	3,80
Acide lactique (%)	0,89	11,13	3,73
Acide acétique (%)	0,72	2,81	1,65
Acide lactique / acide acétique	----	4,04	2,27
Sucres solubles (%)	17,61	4,39	1,80
Azote ammoniacal (éq. P.B.) (%)	0,13	0,63	0,38
Valeur nutritive			
Fibre par détergent acide (%)	30,72	37,13	40,30
Fibre par détergent neutre (%)	63,74	65,43	60,20
Protéine brute (%)	6,80	8,41	7,35
Solubilité de la protéine (%)	8,41	54,05	32,92
Protéine liée à la fibre (%)	0,46	0,60	0,38

¹ moyenne des 5 traitements

3.2 Sous-produits séchés artificiellement

Conditions du matériel

Les données prélevées lors de la préparation des sous-produits de maïs sucré (séchage à l'air chaud ou pressage et séchage) en vue de confectionner des ensilages en grosses balles rectangulaires à partir de matériel séché artificiellement (tableau 3.3) indiquent que :

- 1° Les 500 kg de matériel humide (17,8% MS) séchés à l'air chaud pour donner 300 kg de matériel à environ 30% de matière sèche avaient un pH de 6,02 avant séchage, mais s'étaient déjà acidifiés jusqu'à 3,87 au moment de réaliser le pressage, le lendemain après-midi.
- 2° Les 1440 kg de matériel humide (17,2% MS) qui ont été compressés avec la presse pilote pour donner 920 kg de matériel à environ 27% de matière sèche et par la suite séchés à l'air chaud pour donner 770 kg de matériel à environ 32% de matière sèche avaient un pH « avant pressage » beaucoup plus faible dans la partie compressée le lendemain de la livraison que dans celle compressée la journée même (3,74 vs 5,96). De plus, le pH moyen de ce matériel a été de 3,40 au moment du séchage et de 3,31 au moment de confectionner des grosses balles.
- 3° À cause de leur très grand pouvoir acidifiant et possiblement aussi de leur densité élevée qui limite l'infiltration d'air, les sous-produits de maïs sucré s'acidifient rapidement après avoir été mis en tas, jusqu'à un niveau qui permet leur conservation à long terme (sauf dans la partie exposée à l'air).
- 4° La combinaison pressage-séchage semble favoriser une meilleure acidification que le séchage uniquement, tout comme on a pu le constater dans l'expérience en mini silos (volet 2).

Opération de la presse à grosses balles rectangulaires

Trois balles d'environ 1 mètre de longueur ont pu être confectionnées, sans aucune difficulté, avec la presse à grosses balles rectangulaires (Case International, modèle 8575) (essai 4). Cependant, au sortir de la presse les cordes n'étaient pas tendues et les balles ne pouvaient pas être manipulées sans se défaire. L'essai n'a pas pu être mené plus loin.

Tableau 3.3 Caractéristiques des sous-produits de maïs sucré séchés artificiellement (ou pressés et séchés) en vue de confectionner des ensilages en grosses balles

Période	Opération	Quantité (kg)	Matière sèche ¹ (%)	pH
29 sept. (13 h)	Réception		17,5	6,12
Matériel séché à l'air chaud				
29 sept. (15h-20h)	Avant séchage	500	17,8	6,02
	Après séchage	300	31,6 (30)	
30 sept. (15h)	Avant ensilage			3,87
Matériel pressé et séché à l'air chaud				
29 sept. (15h-20h) et 30 sept. (9h-12h)	Avant pressage	1440	17,2	5,96
				et 3,74
30 sept. (9h-15h)	Avant séchage	920	25,5 (27)	3,40
	Après séchage	770	31,3 (32)	
30 sept. (15h)	Avant ensilage			3,31
Matériel à ensiler				
1070				

¹ les teneurs en matière sèche entre parenthèse ont été obtenues par calcul

3.3 Discussion

Performance des équipements

Les observations faites lors de la réalisation des essais permettent de faire les remarques suivantes concernant les équipements utilisés :

- 1- La confection de grosses balles cylindriques ou rectangulaires avec des sous-produits de maïs sucré pose certains problèmes. Nous en avons observé deux principaux. D'abord ces sous-produits contiennent peu de fibres longues et beaucoup de particules fines, ce qui rend les balles confectionnées très fragiles. On pourrait certainement manipuler plus facilement les balles rondes ou rectangulaires si les sous-produits de maïs sucré utilisés pour les confectionner comportaient moins de particules fines c'est-à-dire les spathes (feuilles de l'épi) et seulement une partie des rafles (coton de l'épi) déchiquetées. De plus, lorsqu'on les compresse beaucoup, comme c'est le cas avec la presse à grosses balles rectangulaires, ces sous-produits ne reprennent pas de volume rapidement au sortir de la presse comme un fourrage conventionnel, de sorte que les ficelles ne sont pas tendues, ce qui rend les balles encore plus fragiles.
- 2- La presse à grosses balles rectangulaires utilisée lors des essais a permis de confectionner des balles avec des sous-produits de maïs sucré à 30-40% de matière sèche, que le matériel contienne toutes les particules fines (matériel séché à l'air chaud et/ou pressé pour extraire de l'eau) ou seulement une partie (matériel séché au champ). Cependant, seules les balles contenant peu de particules fines ont pu être manipulées sans se briser. Pour être en mesure d'utiliser une telle presse à l'usine, il faudrait remplacer le « pick-up » par un tablier d'alimentation, introduire la balle dans un filet (comme pour les sapins de Noël) directement au sortir de la presse et probablement avoir un système qui permet d'enrober les balles avant de les manipuler. Il faudrait aussi vider la presse lors de chaque arrêt prolongé, puisque le matériel très humide risque de coller dans la presse. Des essais supplémentaires s'imposent pour déterminer si un ajustement adéquat de la presse pour ce type de produit permet d'éviter d'utiliser un filet.
- 3- Le type de presse à grosses balles cylindriques qui semble convenir le mieux pour ensiler des sous-produits de maïs sucré à environ 30% de matière sèche est celui à chambre fixe équipé d'un enrouleur à rouleaux métalliques et d'un lieur à filet. Cette presse a permis d'amorcer la formation de la balle même avec un fourrage comportant beaucoup de particules fines, contrairement à la presses à chambre variable équipée d'un enrouleur à chaînes et barrettes. De plus, contrairement aux presses à courroies, elle ne pose pas de problème dans un matériel relativement humide. Le liage par enroulement d'un filet est préférable au liage par enroulement de ficelle et probablement le seul qui pourra permettre d'éviter le bris des balles confectionnées avec des sous-produits comportant beaucoup de particules fines. Cependant ce type de presse occasionne plus de pertes de particules fines que les autres types de presse à balles cylindriques, ce qui pourrait s'avérer un inconvénient important. Et il n'est pas certain que ce type de presse convient pour ensiler le matériel comportant toutes les particules fines, puisque les essais réalisés jusqu'à date avec ce type de presse ont été faits avec un matériel séché au champ et comportant moins de particules fines que le matériel original c'est-à-dire tel qu'il sort de l'usine. De plus, la capacité de pressage (tonnes/heure) des presses à balles cylindriques « conventionnelles » est beaucoup moins grande que celle des presses à grosses balles rectangulaires et pourrait s'avérer un facteur limitant. Pour

être opérée à l'usine de façon efficace, la presse à balles cylindriques devrait être de type « non-stop » c'est-à-dire capable de poser le filet et d'éjecter une balle tout en commençant la balle suivante, ce qui signifie un investissement plus important que pour une presse à balles cylindriques conventionnelle (annexe 3.1, illustration D).

- 4- Devant les difficultés rencontrées pour ensiler les sous-produits de maïs sucré en grosses balles cylindriques ou rectangulaires, on peut se demander s'il ne serait pas préférable d'utiliser des appareils appelés « automated baler », tel que celui développé par Premier Tech, qui permettent de compresser et de mettre en sacs divers produits comme la mousse de tourbe, la ripe de bois, du foin sec et de la pulpe de betterave par exemple. Cependant de tels appareils sont très dispendieux et peuvent servir à mettre en ballot seulement de l'ensilage à matière sèche élevée (50%). De plus, une étude récente a démontré que ce système devrait être peaufiné afin de permettre une étanchéité parfaite à tout coup (Tremblay et Michaud, 2001). Ainsi, malgré les difficultés rencontrées, il semble préférable de confectionner des grosses balles cylindriques ou rectangulaires avec les équipements communément utilisés pour l'ensilage et de les enrubanner avec du film étirable, puisque c'est un système qui a fait ses preuves pour la conservation de l'ensilage.

Qualité de l'ensilage réalisé avec du matériel séché au champ

Vu les conditions de réalisation des essais, les remarques suivantes s'imposent concernant la qualité de l'ensilage réalisé avec du matériel séché au champ :

- 1- Les essais d'ensilage en grosses balles cylindriques ou rectangulaires à partir de matériel séché au champ avaient pour but principal d'évaluer la faisabilité de ces techniques d'ensilage pour les sous-produits de maïs sucré et comme second but d'évaluer la qualité de l'ensilage ainsi obtenu. Cependant, puisque les sous-produits de maïs sucré « déchiquetés » comportent beaucoup plus de particules fines et sont beaucoup plus denses qu'un fourrage conventionnel « non haché », ils sèchent lentement et s'acidifient rapidement après avoir été épandus au champ. En effet, le pH a été relativement bas (environ 4,0) au moment de la mise en balles, plus de 48 heures après la réception des sous-produits. Malgré des conditions de réalisation jugées non idéales, les sous-produits de maïs sucré ont présenté un pH de 3,6 à 3,8 et ont été bien conservés après 7 à 8 mois d'entreposage. Cela vient du fait que les deux conditions essentielles à la réussite d'un bon ensilage ont malgré tout été rencontrées : une acidification poussée et un enrobage étanche.
- 2- Il n'est pas surprenant que les sous-produits de maïs sucré séchés au champ aient présenté une moindre valeur nutritive que ceux ensilés en mini silos (volet 2), puisque le séchage au champ pendant 2 jours s'est traduit en une perte importante de particules fines et a nécessairement entraîné le « brûlage » des substances les plus solubles. La valeur nutritive des sous-produits de maïs sucré ensilés après avoir été séchés au champ peut avoir été réduite dû au fait que leur teneur en matière sèche (essai 2) a été plus élevée que celle de l'ensilage en mini silos (volet 2). De plus, la valeur nutritive obtenue n'est pas représentative de celle des sous-produits qui seraient ensilés en grosses balles au sortir de l'usine immédiatement après avoir été pressés et/ou séchés.

- VOLET 3 -

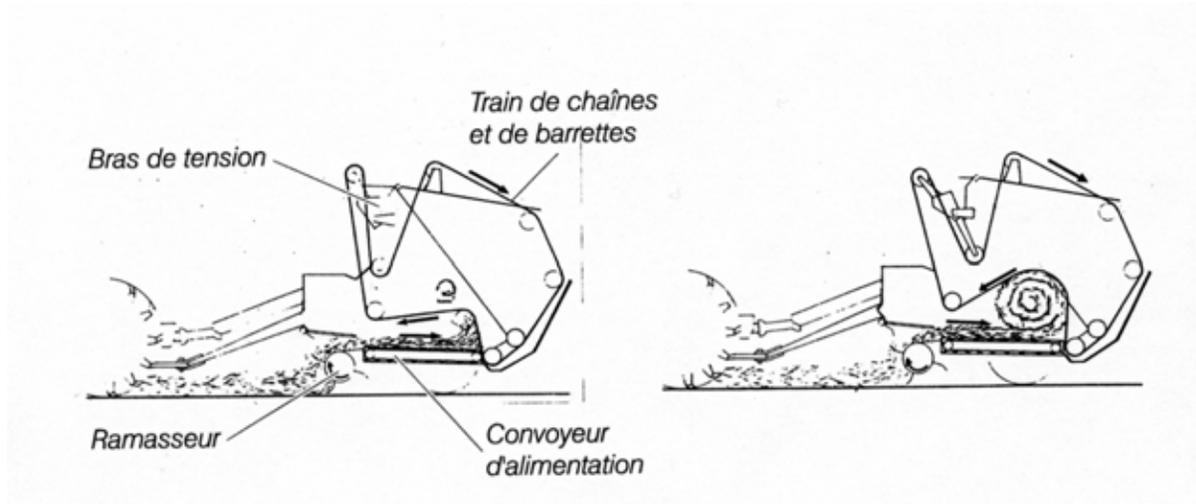
Ensilage en grosses balles

Conclusion

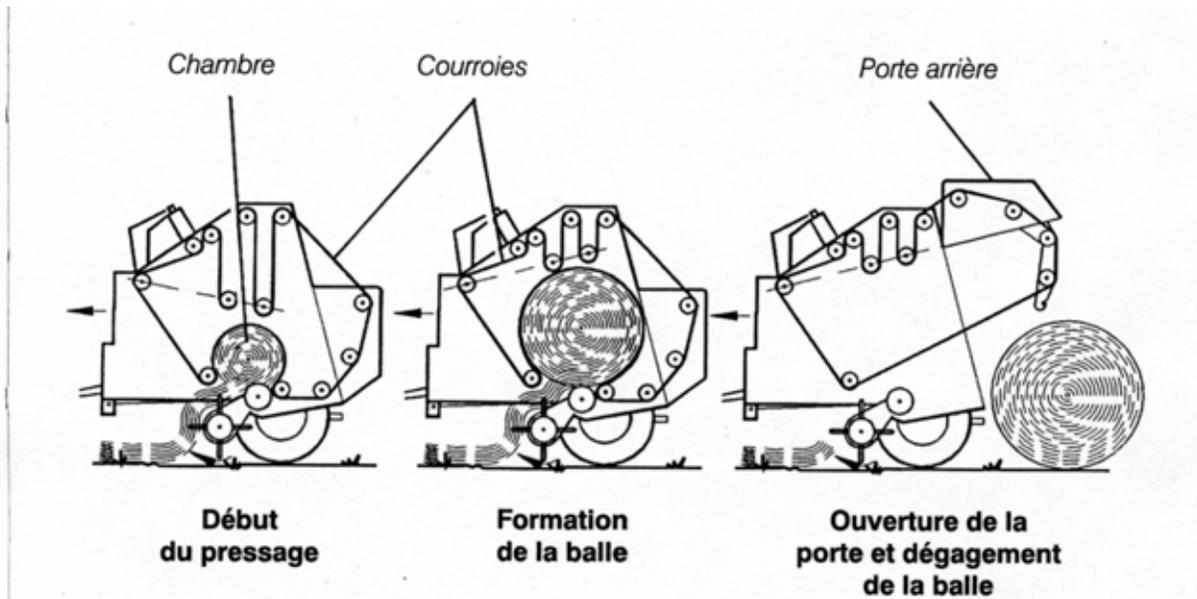
- 1- La confection de grosses balles cylindriques ou rectangulaires avec des sous-produits de maïs sucré « déchiquetés » pose certains problèmes. En effet, puisque ces derniers contiennent peu de fibres longues et beaucoup de particules fines, la confection de grosses balles cylindriques est difficile et celles-ci sont très fragiles. De plus, lorsqu'on compresse beaucoup ces sous-produits avec une presse à grosses balles rectangulaires, ils ne reprennent pas de volume au sortir de la presse comme un fourrage conventionnel.
- 2- La presse à grosses balles rectangulaires est celle qui semble la mieux adaptée pour le pressage de sous-produits de maïs sucré à environ 30% de matière sèche. Cependant, des essais supplémentaires s'imposent afin de déterminer les ajustements ou modifications nécessaires pour fonctionner de façon efficace.
- 3- Parmi les presses à balles cylindriques, c'est celle à chambre fixe, équipé d'un enrouleur à rouleaux métalliques et d'un lieur à filet, qui semble présenter les meilleures chances de réussite pour le pressage de sous-produits de maïs sucré à environ 30% de matière sèche. Cependant, pour être opérée à l'usine de façon efficace, cette presse devrait être de type « non-stop » c'est-à-dire capable de poser le filet et d'éjecter une balle tout en commençant la balle suivante. De plus, des essais supplémentaires s'imposent avec des sous-produits de maïs sucré dont la teneur en matière sèche aura été augmentée par le traitement (pressage et/ou séchage) qu'on choisira pour une utilisation éventuelle à l'usine.
- 4- La méthode d'ensilage en grosses balles enrubannées avec du film étirable permet d'assurer une bonne conservation des sous-produits de maïs sucré entreposés à l'extérieur pendant 7 à 8 mois.
- 5- Le séchage au sol des sous-produits de maïs sucré « déchiquetés », tel que pratiqué dans ces essais, ne semble pas recommandable puisqu'il en résulte l'obtention d'un ensilage de plus faible valeur nutritive.

ANNEXE 3.1

Principe de différentes presses à balles cylindriques

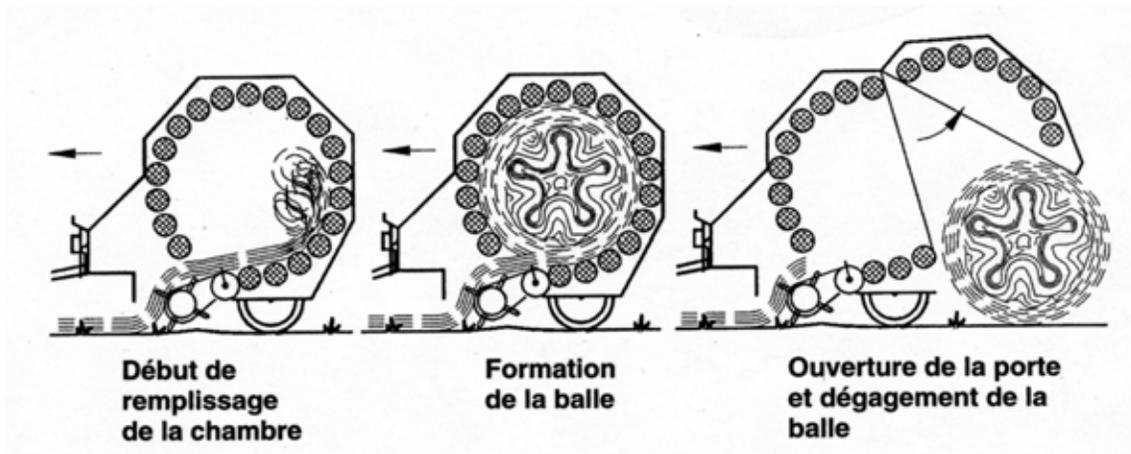


- A. Principe d'une presse à balles cylindriques à chambre variable à chaînes et barrettes métalliques (Cédra, 1995)

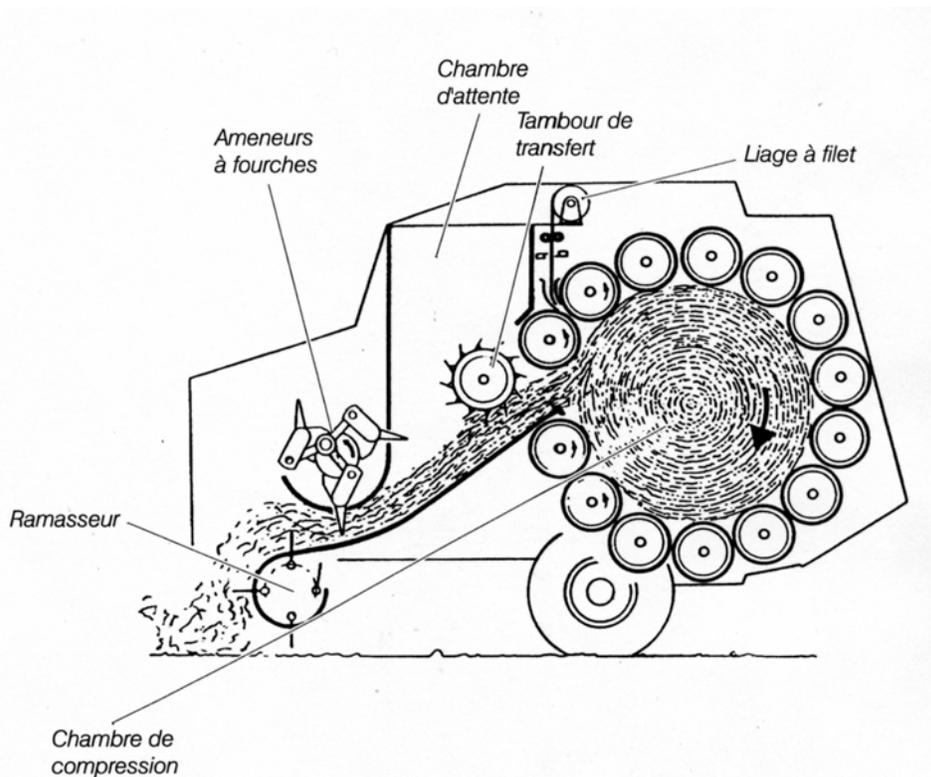


- B. Principe d'une presse à balles cylindriques à chambre variable et à courroies (Cédra, 1995)

ANNEXE 3.1 (SUIVE)



- C. Principe d'une presse à balles cylindriques à chambre fixe et à rouleaux (Cédra, 1995)



- D. Principe d'une presse à balles cylindriques « non-stop » à chambre fixe et à rouleaux (Cédra, 1995)

ANNEXE 3.1 (SUITE)



- E. Principe de la presse à balles cylindriques Taarup BIO à chambre fixe et à rouleaux (Lamarre, 2004)

ANNEXE 3.2

Sommaire des conditions météorologiques enregistrées à la station météorologique du Centre de recherche de Deschambault lors des trois essais de séchage naturel au sol des sous-produits de maïs sucré

	Données journalières			Données à 9 heures				Données à 19 heures			
	Précipi- tations	Temp. min.	Temp. max.	Temp.	Nébu- losité	Vent	Vent	Temp.	Nébu- losité	Vent	Vent
	(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	Direction	(km/h)	(°C)	(%)	Direction	(km/h)
ESSAI 1											
Mardi 14 sept.	0,0	4,0	21,0	11,0	20	Nord est	15	19,5	20	Calme	0
Mercredi 15 sept.	0,0	9,0	23,0	15,0	100	Calme	0	21,0	100	Calme	0
Jeudi 16 sept.	0,0	13,5	25,5	18,0	50	Sud ouest	10	24,0	60	Calme	0
ESSAI 2											
Mercredi 22 sept.	0,0	9,0	23,0	13,5	50	Sud	5	20,0	10	Calme	0
Jeudi 23 sept.	0,0	7,5	21,0	14,0	0	Nord	5	14,5	0	Calme	0
Vendredi 24 sept.	0,0	7,5	24,5	13,0	30	Sud	5	18,0	0	Calme	0
ESSAI 3											
Mercredi 29 sept.	0,0	2,0	17,0	7,0	10	Calme	0	12,0	0	Calme	0
Jeudi 30 sept.	0,0	3,0	19,0	8,0	30	Calme	0	12,0	70	Calme	0
Vendredi 1 oct.	0,0	3,5	19,0	7,5	10	Calme	0	13,5	0	Calme	0

Bibliographie

- Amyot, A. 2001a. Ensilabilité de la luzerne. Rapport final. Projet de recherche # 110104. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. 34 p.
- Amyot, A. 2001b. Fermentation de l'ensilage de luzerne traité avec de faibles doses d'acide formique. Rapport final. Projet de recherche # 110103, partie 1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. 80 p.
- Amyot, A. 2004. Effet des inoculants bactériens, des produits sucrés et de l'acide formique sur la fermentation de l'ensilage de luzerne et/ou de fléole des prés à 30-35% de matière sèche. Rapport final. Projet de recherche # 110103, partie 2. IRDA. ISBN 2-922851-29-X. 118 p.
- Amyot, A. 2005. Effet du hachage, de la matière sèche et du stade sur la qualité de l'ensilage de fléole des prés en balles rondes. Rapport final. Projet de recherche # 110102, partie 1. IRDA. 58 p.
- Amyot, A. et R. Grégoire. 1995. Qualité de l'ensilage d'herbe selon les doses d'acide propionique et les dimensions du silo 1- Profil de fermentation et stabilité aérobie. Rapport final. Projet # R-1105-92-057. Direction de la recherche et du développement, MAPAQ. 48 p.
- Amyot, A. et R. Grégoire. 2000. 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'ammoniaque 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. 35 p.
- Amyot, A., P. Denoncourt, B. Ouattara et M. Lacroix. 2003. Évaluation des biofilms à ensilage 5. Qualité de l'ensilage de maïs entreposé à l'extérieur. Rapport final. Projet de recherche # 110121. IRDA, 53 p.
- Amyot, A., L. Couture et D. Ouellet. 2005. Efficacité des additifs à ensilage dans le maïs-épi humide en fonction du degré de contamination par *Fusarium graminearum* et de l'étanchéité du silo. Rapport final. Projet de recherche # 110124. IRDA.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- ASAE. 2000. Moisture measurement – forages. ASAE S358.2. In ASAE Standards 2000, 565. St-Joseph, MI : American Society of Agricultural Engineers.
- Cédra, C.,1995. Les matériels de récolte des fourrages, ensilage et distribution. Cemagref, Institut de l'élevage et Lavoisier Tec et Doc (coéditeurs). Collection Formagri, volume 6, France. 395 p.

- CPAQ. 1982. Répertoire des Méthodes d'analyse des Aliments du Bétail. Conseil des Productions Animales du Québec, Québec, Canada. Agdex 400-55, 32 p.
- CPAQ. 1997. Le maïs ensilage, un atout. Symposium sur les bovins laitiers. 30 octobre, p. 15-47.
- Gouet, P. 1985. La microbiologie des ensilages. *In* Symposium « L'ensilage : nouveaux aspects biologiques », p. 38-50. Éditeur : Sanofi Santé animale. Paris, 18 janvier.
- Institut Technique de l'Élevage Bovin. 1980. Utilisation des ensilages d'herbe pour la production de taurillons. Paris.
- INRA. 1989. Le maïs ensilage. Les cahiers techniques de France Maïs. Pioneer, France Maïs
- Jaster, E.H. 1995. Legume and grass preservation. Pages 91-115 in Post-harvest physiology and preservation of forages, CSSA Special publication n° 22.
- 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. Conseil des productions végétales du Québec, 17 et 18 novembre, p.57-108.
- Lamarre, V. 2004. La presse Taarup BIO, un deux dans un. Producteur Plus. 13 (7) : 45-50.
- McCleary, B.V., T.S. Gibson et D.C. Mugford. 1997. Measurement of total starch in cereal products by amyloglucosidase – α -amylase method. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 80 : 571-579.
- McDonald, L.C., R.F. McFeters, M.A. Daeschel et H.P. Fleming. 1987. Appl.Envr. Microbiol. 53 : 1382.
- MAPAQ. 1990. L'ensilage de balles rondes. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec. 107 pages. ISBN : 2-551-12341-0.
- Muck, R.E. 1988. Factors influencing silage quality and their implications management. J. dairy Sci. 71 : 2992-3002.
- Santé Canada. 2004. Dénombrement des levures et des moisissures dans les aliments (méthode MFHPB-22). Direction générale des produits de santé et des aliments. Santé Canada. Ottawa.

- Smith, D., G.M. Paulsen et C.A. Raguse. 1964. Extraction of Total Available Carbohydrates from Grass and Legume Tissue. *Plant Physiology* 39(6):960-962.
- Trembaly, G. et R. Michaud. 2001. Ensilages à teneur en matière sèche élevée, compressés et conservés en sacs de plastique. Rapport de Recherche. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Centre de recherche sur les sols et les grandes cultures, Sainte-Foy, Québec. 28 p.
- Weibbach, F., L. Schmidt et E. Hein. 1974. Method of anticipation of the run of fermentation in silage making based on chemical composition of green fodder. Pages 663-672 in *Proceedings of the 12th International Grassland Congress*, Moscou.
- Wieringa, G. W. 1969. Influence of moisture and nutrient content of forage plants on fermentation process. Pages 133-137 *in Proceedings of the 3rd General Meeting of the European Grassland Federation*, Braunschweig, Allemagne.