

**Effet du hachage, de la matière sèche  
et du stade sur la qualité de l'ensilage  
de luzerne en balles rondes**

**Rapport final**

*Projet de recherche # 110102*

**Réalisé par**

**André Amyot, agr., M. Sc.**

**IRDA, Deschambault**

**Partenaire**

**Centre de recherche en sciences  
animales de Deschambault**

**Avril 2008**



Institut de recherche  
et de développement  
en agroenvironnement

ISBN 978-2-922851-72-4

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2008

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2008

© IRDA

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....	4
LISTE DES ANNEXES.....	5
RÉSUMÉ.....	7
INTRODUCTION.....	9
MÉTHODOLOGIE.....	11
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	15
<b>1 Généralités.....</b>	<b>15</b>
<b>2 Fermentation.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Évolution du pH.....</b>	<b>18</b>
Effet de la matière sèche.....	18
Effet du stade de récolte.....	18
Effet du stade selon la matière sèche.....	18
Effet du hachage.....	20
Effet du hachage selon la matière sèche.....	20
Effet du hachage selon le stade.....	20
Effet du hachage selon le stade et la matière sèche.....	22
Synthèse.....	23
<b>2.2 Analyse de différents paramètres de la fermentation         après 120 jours de conservation.....</b>	<b>24</b>
Effet de la matière sèche.....	24
Effet du stade de récolte.....	24
Effet du stade selon la matière sèche.....	25
Effet du hachage.....	27
Effet du hachage selon le stade.....	27
Effet du hachage selon la matière sèche.....	29
Effet du hachage selon la matière sèche et le stade.....	30
Synthèse.....	32
<b>3 Valeur nutritive.....</b>	<b>33</b>
Effet du stade de récolte.....	33
Effet de la matière sèche et du stade.....	33
Effet du hachage et du stade.....	34
Synthèse.....	36
CONCLUSION .....	37
REMERCIEMENTS.....	38
BIBLIOGRAPHIE.....	39
ANNEXES.....	41

## LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

### TABLEAUX

1	Caractéristiques du fourrage récolté.....	15
2	Teneur en matière sèche et densité de l'ensilage de luzerne en fonction du stade de récolte, de la matière sèche visée et de la longueur de hachage.....	16
3	Évaluation visuelle des moisissures après 120 jours de conservation.....	17

### FIGURES

1	Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur l'évolution du pH de l'ensilage de luzerne.....	19
2	Effet du hachage, de la matière sèche et du stade de récolte sur l'évolution du pH de l'ensilage de luzerne.....	21
3	Effet de la matière sèche sur la fermentation de la luzerne.....	24
4	Effet du stade de récolte sur la fermentation de la luzerne.....	25
5	Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur la fermentation de la luzerne.....	26
6	Effet du hachage sur la fermentation de la luzerne.....	27
7	Effet du hachage et du stade de récolte sur la fermentation de la luzerne.....	28
8	Effet du hachage et de la matière sèche sur la fermentation de la luzerne.....	29
9	Effet du hachage, du stade de récolte et de la matière sèche sur la teneur en acide lactique et la teneur en sucres solubles de la luzerne.....	30
10	Effet du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne.....	33
11	Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne au moment de la mise en silo.....	34
12	Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne après 120 jours de conservation.....	34
13	Effet du hachage et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne au moment de la mise en silo.....	35
14	Effet du hachage et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne après 120 jours de conservation....	35

## LISTE DES ANNEXES

1	Sommaire des moyennes et erreurs types pour le pH de l'ensilage de luzerne.....	41
2	Sommaire des moyennes et erreurs types pour la teneur en acide lactique de l'ensilage de luzerne.....	42
3	Sommaire des moyennes et erreurs types pour la teneur en acide acétique de l'ensilage de luzerne.....	43
4	Sommaire des moyennes et erreurs types pour la teneur en azote ammoniacal (eq. P.B.) de l'ensilage de luzerne.....	44
5	Sommaire des moyennes et erreurs types pour la teneur en sucres solubles de l'ensilage de luzerne.....	45
6	Sommaire des moyennes et erreurs types pour le rapport « acide lactique / acide acétique de l'ensilage de luzerne.....	46
7	Sommaire des moyennes et erreurs types pour les teneurs en protéines brutes et en fibres par détergent acide de l'ensilage de luzerne.....	47
8	Sommaire de l'analyse de variance pour le pH de l'ensilage de luzerne.....	48
9	Sommaire de l'analyse de variance pour les autres paramètres de la fermentation de l'ensilage de luzerne après 120 jours de conservation.....	50
10	Sommaire de l'analyse de variance pour les teneurs en protéines brutes et en fibres par détergent acide de l'ensilage de luzerne.....	51



## - RÉSUMÉ -

Une expérience a été réalisée dans le but de déterminer l'influence du stade de récolte, de la teneur en matière sèche et du hachage sur la fermentation de la luzerne (*Medicago sativa*) en balles rondes. Cette recherche comporte quatre objectifs principaux. Le premier est de déterminer si le stade de récolte de la luzerne influence sa fermentation de la même façon quelle que soit la teneur en matière sèche. Le second est de déterminer dans quelles conditions (stade de récolte et teneur en matière sèche) l'ensilage de luzerne non haché en balles rondes est le plus susceptible de présenter des problèmes de fermentation. Le troisième est de déterminer si on peut améliorer la fermentation de la luzerne ensilée en balles rondes, en hachant le fourrage avec un système de fléaux, et si l'amélioration est comparable quels que soient le stade et la teneur en matière sèche. Le quatrième est de déterminer l'effet de l'ensemble de ces facteurs sur la valeur nutritive de la luzerne.

Pour atteindre ces objectifs, on a réalisé une expérience comportant 24 unités expérimentales (2 stades de récolte x 2 teneurs en matière sèche x 2 longueurs de hachage x 3 répétitions). Une deuxième pousse de luzerne a été récoltée au stade début de floraison et au stade floraison avancée, après avoir séché au champ de façon à porter sa teneur en matière sèche à environ 35% et 55%. À chaque teneur en matière sèche, le fourrage a été récolté avec une presse à balles rondes sans avoir subi aucun traitement de hachage (fourrage long) ou après avoir été haché avec une fourragère à fléaux (fourrage haché). Les balles rondes ont été enrubannées avec du film étirable. Des échantillons ont été prélevés dans toutes les balles rondes à 5 reprises, soit lors de leur confection (jour 0) de même qu'après 7 jours, 21 jours, 42 jours et 120 jours de conservation, pour fins d'analyses chimiques.

Dans les conditions de cette expérience :

- 1° La luzerne récoltée au stade floraison avancée et ensilée en balles rondes a subi une fermentation moins poussée que celle récoltée au stade début de floraison quelle que soit la teneur en matière sèche mais l'écart a été plus marqué à 55% MS qu'à 35% MS. De plus, le pH de stabilité anaérobie a été atteint quel que soit le stade de récolte dans l'ensilage à 55% MS, alors que dans celui à 35% MS il a été atteint seulement au stade début de floraison. Cependant, le pH a remonté après 42 jours de conservation seulement dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS. Ce résultat semble indiquer que le pH de stabilité anaérobie n'a pas été atteint assez rapidement dans cet ensilage pour inhiber la croissance microbienne indésirable compte tenu de sa faible teneur en matière sèche et sa teneur élevée en sucres solubles.
- 2° L'ensilage haché a subi une fermentation plus rapide et plus poussée que l'ensilage non haché quel que soit le stade de récolte mais surtout lors d'une récolte tardive (floraison avancée). Ce résultat semble indiquer que le hachage de la luzerne ensilée en balles rondes est plus utile au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison. Cependant, on a observé une remontée de pH après 42 jours de conservation seulement dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS sans avoir été hachée. Ce résultat indique que c'est dans cet ensilage que le hachage a été le plus utile, puisqu'il a permis l'atteinte plus rapide du pH de stabilité anaérobie (7 jours vs 21 jours) et la stabilisation d'un ensilage qui autrement aurait été instable.
- 3° Au stade début de floraison, le hachage a eu un effet plus marqué sur la fermentation de la luzerne à 55% MS qu'à 35% MS. Ce résultat semble simplement la conséquence du

fait qu'une même quantité d'acide lactique permet une baisse de pH d'autant plus prononcée que celui-ci est élevé. De plus, cette amélioration a été obtenue malgré la teneur initiale élevée en sucres solubles (environ 10%), suite à une utilisation peu efficace des sucres libérés par le hachage qui semble due au fait qu'à 55% MS l'activité bactérienne était limitée par le manque d'eau.

- 4° Au stade floraison avancée, le hachage a eu un effet plus marqué sur la fermentation de la luzerne à 35% MS qu'à 55% MS. Ce résultat semble la conséquence d'une augmentation plus marquée de la production d'acide lactique dans l'ensilage à 35% MS que dans celui à 55% MS. De plus, cette amélioration a été obtenue malgré la faible teneur initiale en sucres solubles (environ 6%) grâce à une utilisation efficace des sucres libérés par le hachage qui semble due au fait qu'à 35% MS l'activité bactérienne n'était pas limitée par le manque d'eau.
- 5° La teneur en PB a été plus faible à 55% MS qu'à 35% MS, spécialement au stade floraison avancée, et la teneur en fibres ADF plus élevée à 55% MS qu'à 35% MS seulement au stade floraison avancée. Ce résultat indique que la perte de particules fines lors de la récolte a été légèrement plus grande à 55% MS qu'à 35% MS et que l'effet a été plus prononcé au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison.
- 6° La teneur en PB a été plus faible ( $P=0,06$ ) et la teneur en fibres ADF plus élevée ( $P=0,07$ ) dans l'ensilage haché que dans le non haché lors de la mise en silo, mais ces effets ont disparu après 120 jours de conservation. Ce résultat semble indiquer que le hachage de la luzerne avec un système de fléaux a provoqué la perte de particules fines riches en protéines et à faible teneur en fibres.

## - INTRODUCTION -

### Ensilabilité et stade de maturité

La luzerne est la légumineuse fourragère la plus cultivée au Québec. On la considère comme une plante relativement difficile à ensiler, à cause de sa teneur en sucres solubles relativement faible et de son pouvoir tampon élevé comparativement aux graminées. Le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » définit l'aptitude à l'ensilage (ou l'ensilabilité) d'une plante fourragère. D'après une compilation réalisée par Leibensperger et Pitt (1987), les valeurs de ce rapport varient entre 64 et 281 g/Eq chez les légumineuses. Chez la luzerne, ce rapport varie généralement entre 200 et 300 g/Eq au stade de récolte recommandé, sauf en fin de saison. Il atteint alors des niveaux relativement élevés (500 g/Eq) suite à l'accumulation des sucres solubles (Amyot, 2001).

Le stade de récolte a une influence non négligeable sur la fermentation mais celle-ci est mal définie parce qu'elle dépend d'un ensemble de facteurs. On considère généralement qu'en ensilant un fourrage jeune on favorise la fermentation. Cependant, si on se fie au rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » l'ensilabilité de la luzerne devrait varier peu avec la maturité après le stade début de floraison. Cela vient du fait qu'à mesure que la teneur en sucres solubles diminue, on assiste aussi à une diminution du pouvoir tampon, suite à la diminution des protéines et des minéraux (Amyot, 2001).

### Rôle des enzymes

Bien que la quantité de sucres solubles présents dans le fourrage au moment de la mise en silo soit un facteur important, la fermentation ne dépend pas seulement de ces sucres solubles. Pendant la fermentation, des sucres complexes non utilisables par les bactéries sont transformés en sucres simples. Le rôle des enzymes végétales dans le métabolisme des hydrates de carbone dans l'ensilage est encore un sujet de débat. Les enzymes semblent avoir un rôle important dans les premiers stades du procédé d'ensilage. Cependant, une fois que les conditions acides sont établies, l'hydrolyse acide principalement, mais aussi l'hydrolyse bactérienne auraient un plus grand rôle (Woolford, 1984). On reconnaît généralement que les enzymes ajoutées à l'ensilage (principalement celles qui s'attaquent aux parois cellulaires) sont plus efficaces dans un fourrage relativement humide que dans un fourrage demi-sec, et dans un fourrage jeune que dans un fourrage mature. Il est plausible de penser que les enzymes présentes naturellement dans le fourrage sont influencées de la même façon par ces facteurs et que l'hydrolyse enzymatique est plus faible dans un fourrage mature.

### Type de fermentation

Le rapport « acide lactique / acide acétique » est utilisé pour caractériser le type de fermentation : homolactique vs hétérolactique. Cependant, d'après Pitt et al (1985), la production relative d'acide lactique et d'acide acétique est déterminée non seulement par les espèces de bactéries lactiques mais aussi par le type de sucres présents et leur concentration, de même que par le pH. De façon générale le rapport « acide lactique / acide acétique » est plus faible lorsqu'il y a peu de sucres disponibles pour la fermentation.

### Hachage

Le hachage favorise la libération des sucres et leur utilisation par les bactéries : les sucres sont moins disponibles lorsque le fourrage n'est pas haché. Nos propres travaux ont montré que la chute de pH est moins rapide et l'acidification finale moins poussée dans l'ensilage en balles rondes que dans l'ensilage conventionnel et que l'ensilage en balles rondes est plus difficile à réussir avec un fourrage humide parce que ce dernier exige une acidification rapide et poussée

(Amyot, 1995a). Dans une étude réalisée avec la fléole des prés, l'ensilage non haché en balles rondes a subi une fermentation moins rapide et moins poussée que l'ensilage haché quel que soit le stade de récolte mais surtout lors d'une récolte tardive (floraison) alors que l'ensilage haché grossièrement (système à fléaux) en balles rondes a subi une fermentation aussi rapide et aussi poussée que l'ensilage haché court quel que soit le stade de récolte. Ce résultat indique que le hachage grossier de la fléole des prés ensilée en balles rondes est justifié pour un fourrage mature mais difficilement justifiable pour un fourrage jeune (Amyot, 2005).

Certaines presses à balles rondes sont équipées d'un dispositif de hachage à couteaux fixes (exemple : 11 couteaux espacés de 10 cm) qui permet de hacher le fourrage en brins dont la longueur est de l'ordre de 15 cm lorsque tous les couteaux sont utilisés. Ce dispositif de hachage permettrait d'obtenir des balles de plus forte densité et d'améliorer la fermentation. Cependant, les conditions dans lesquelles une telle amélioration peut être obtenue sont mal définies. Par ailleurs, nos travaux antérieurs ont démontré qu'un hachage effectué avec un hachoir à fléaux améliore de façon variable la densité et la fermentation du fourrage ensilé en balles rondes (Amyot, 1995b). Au moment de réaliser nos essais, il n'existait pas de presse à balle ronde équipée d'un dispositif de hachage à fléaux, de sorte que nous devions réaliser le hachage et le pressage en deux opérations. Mais depuis, le concept a été développé par la société norvégienne Orkel. Avec ce dispositif, la longueur des brins est réglable de 8 à 15 cm.

Nous avons donc réalisé une expérience qui comporte quatre objectifs principaux. Le premier est de déterminer si le stade de récolte de la luzerne influence sa fermentation de la même façon quelle que soit la teneur en matière sèche. Le second est de déterminer dans quelles conditions (stade de récolte et teneur en matière sèche) l'ensilage de luzerne non haché en balles rondes est le plus susceptible de présenter des problèmes de fermentation. Le troisième est de déterminer si on peut améliorer la fermentation de la luzerne ensilée en balles rondes, en hachant le fourrage avec un système de fléaux, et si l'amélioration est comparable quels que soient le stade et la teneur en matière sèche. Le quatrième est de déterminer l'effet de l'ensemble de ces facteurs sur la valeur nutritive de la luzerne.

## - MÉTHODOLOGIE -

### Récolte et mise en silo

Une deuxième pousse de luzerne (*Medicago sativa*) a été fauchée à deux dates différentes, soit le 21 juillet et le 7 août, alors qu'elle était respectivement au stade début de floraison et au stade floraison avancée. Ce fourrage a été récolté après avoir subi un séchage au champ pour porter sa teneur en matière sèche à environ 35% et 55%. Le fourrage à 35% MS a été récolté sans avoir subi de retournement des andains alors que celui à 55% MS a été récolté après avoir subi un retournement des andains.

À chaque teneur en matière sèche, le fourrage a été récolté avec une presse à balles rondes à chambre fixe avec enrouleur à rouleaux (Deutz-Allis, modèle GP2.30) donnant des balles de 1,2 m de diamètre x 1,2 m de largeur, sans avoir subi aucun traitement de hachage (fourrage long) ou après avoir été haché avec une fourragère à fléaux (fourrage haché). Les balles rondes ont été enrubannées avec du film étirable (4 couches de 25 microns d'épaisseur).

L'expérience comportait 24 unités expérimentales (2 stades x 2 teneurs en matière sèche x 2 longueurs de hachage x 3 répétitions). Chaque unité expérimentale a été pesée lors de la confection de l'ensilage (jour 0) de même que lors de l'ouverture après 120 jours.

### Prélèvement et préparation des échantillons

Des échantillons ont été prélevés dans chaque balle ronde à 5 reprises, soit lors de la confection de l'ensilage (jour 0) de même qu'après 7 jours, 21 jours et 42 jours de conservation et lors de l'ouverture des balles rondes après 120 jours de conservation.

Chaque échantillon a été séparé en deux sous-échantillons, l'un séché pour déterminer la teneur en matière sèche et réaliser les analyses de valeur nutritive et l'autre congelé pour l'analyse du pH et des autres paramètres de la fermentation. Les échantillons destinés à l'analyse des paramètres de la valeur nutritive ont été séchés 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.

### Analyses chimiques

La teneur en matière sèche a été déterminée sur tous les échantillons prélevés. Au chapitre de la valeur nutritive, les protéines brutes et les fibres par détergent acide ont été déterminées seulement sur les échantillons prélevés lors de la confection de l'ensilage (jour 0) et après 120 jours de conservation. Au niveau de la fermentation, le pH, les sucres solubles, l'azote ammoniacal, l'acide lactique et les acides gras volatils ont été déterminés sur tous les échantillons alors que le pouvoir tampon a été déterminé seulement sur les échantillons prélevés au jour 0.

La teneur en matière sèche a été déterminée en séchant un échantillon de 500 g au four à 60°C jusqu'à ce que le poids se stabilise (ASAE, 2000).

Le dosage des protéines brutes ( $N \times 6,25$ ) a été réalisé selon la méthode Kjeldahl (A.O.A.C., 1990) avec un appareil Teccator (modèle Kjeltec Auto 1030 Analyser) après minéralisation de l'échantillon (digestion system 20, 1015 Digestor).

La teneur en fibres par détergent acide (ADF) a été déterminée selon la méthode de Van Soest sur un appareil Teccator (Fibertec System 1010 Extractor) (A.O.A.C., 1990).

Les minéraux (Ca, Mg, P) ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique selon la méthode décrite dans le répertoire des méthodes d'analyses des aliments du bétail (CPAQ, 1982).

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.

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).

Les hydrates de carbone solubles (HCS), les acides organiques et l'azote ammoniacal ( $N-NH_3$ ) 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 et sucrose) 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 600E (Waters corporation, Massachusetts, USA), équipé d'une colonne de séparation de marque AMINEX HPX-87H (7,8 mm DI x 30 cm) (Bio-Rad laboratories, California, USA). La phase mobile était constituée d'acide sulfurique 0,025 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).

### Analyse statistique

Les paramètres de la fermentation ont été analysés avec la procédure GLM pour mesures répétées de SAS, selon un dispositif en tiroirs (split plot) avec les stades et les matières sèches en parcelles principales et les longueurs de hachage en parcelles secondaires et avec mesures répétées 5 fois.

Un test de sphéricité a permis de choisir entre l'analyse multivariée dans le cas des données non sphériques et l'analyse univariée dans le cas des données sphériques.

Le modèle expérimental est le suivant :

<u>source</u>	<u>d.l.</u>
2 stades	1
2 matières sèches	1
stade x matière sèche	1
3 blocs	2
stade x m.s. (bloc) = erreur A	6
2 hachages	1
stade x hachage	1
m.s. x hachage	1
stade x m.s. x hachage	1
erreur B	8
5 temps	4
temps x stade	4
temps x m.s.	4
temps x stade x m.s.	4
temps x bloc	8
temps x stade x m.s. (bloc) = erreur A (temps)	24
temps x hachage	4
temps x stade x hachage	4
temps x m.s. x hachage	4
temps x stade x m.s. x hachage	4
erreur C (temps)	32
total	119



## - RÉSULTATS ET DISCUSSION-

### 1. Généralités

#### Caractéristiques du fourrage récolté

À chaque stade de maturité, le fourrage à 35% MS a été récolté la journée même de la fauche alors que celui à 55% MS a été récolté le lendemain. Aucun fourrage n'a subi de précipitations.

Les principales caractéristiques du fourrage récolté à chaque stade de maturité sont présentées au tableau 1. La luzerne récoltée au stade floraison avancée avait une moindre valeur nutritive que celle récoltée au stade début de floraison, suite à une diminution des protéines brutes et une augmentation des fibres par détergent acide. La teneur en minéraux a aussi diminué avec la maturité.

Au niveau des paramètres susceptibles d'influencer l'aptitude à l'ensilage, on constate que la teneur en sucres solubles a diminué de façon marquée et le pouvoir tampon de façon moindre avec la maturité. Conséquemment le rapport « sucres solubles / pouvoir tampon » a été moins élevé au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison.

Tableau 1. Caractéristiques du fourrage récolté<sup>1</sup>

<b>Caractéristiques</b>	<b>Stade début de floraison</b>	<b>Stade floraison avancée</b>
Date de récolte	21 juillet	7 août
Protéines brutes (%)	19,22	16,08
Fibres par détergent acide (%)	33,24	44,03
Calcium (%)	1,29	1,19
Phosphore (%)	0,38	0,29
Magnésium (%)	0,17	0,12
Sucres solubles (%)	10,00	6,46
Pouvoir tampon (mEq NaOH/kg MS)	448	368
Sucres solubles / pouvoir tampon (g / Eq)	228	176

<sup>1</sup> Au moment du pressage.

## Teneur en matière sèche et densité

La teneur en matière sèche et la densité de l'ensilage de luzerne en fonction du stade de récolte, de la matière sèche visée et de la longueur de hachage sont présentées au tableau 2.

Tableau 2. Teneur en matière sèche et densité de l'ensilage de luzerne en fonction du stade de récolte, de la matière sèche visée et de la longueur de hachage

<b>Variables et interactions</b>	<b>Niveaux et comparaisons</b>	<b>Matière sèche (%)</b>	<b>Densité (kg MS/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Stade</b>			
	10% Floraison	44,1	206
	100% Floraison	45,0	167
<b>M.S.</b>			
	35	34,8	178
	55	54,2	195
<b>Hachage</b>			
	Long	44,9	170
	Haché	44,1	205
<b>Stade x M.S.</b>			
	10% Flo. x 35	37,1	200
	10% Flo. x 55	51,1	211
	100% Flo. x 35	32,6	155
	100% Flo. x 55	57,4	178
<b>Stade x hachage</b>			
	10% Flo. x Long	45,3	188
	10% Flo. x Haché	42,9	228
	100% Flo. x Long	44,6	152
	100% Flo. x Haché	45,4	182
<b>M.S. x hachage</b>			
	35 x Long	34,7	160
	35 x Haché	35,0	195
	55 x Long	55,2	180
	55 x Haché	53,3	215
<b>Stade x M.S. x hachage</b>			
	10% Flo. x 35 x Long	38,3	182
	10% Flo. x 35 x Haché	35,9	218
	10% Flo. x 55 x Long	52,3	194
	10% Flo. x 55 x Haché	49,8	238
	100% Flo. x 35 x Long	31,1	138
	100% Flo. x 35 x Haché	34,0	172
	100% Flo. x 55 x Long	58,0	165
	100% Flo. x 55 x Haché	56,8	191

En moyenne, la teneur en matière sèche de l'ensilage préfané (34,8%) et celle de l'ensilage demi-sec (54,2%) ont été relativement proches de celles visées. Cependant, la teneur en matière sèche a été plus élevée au stade début de floraison qu'au stade floraison avancée dans l'ensilage préfané (37,1% vs 32,6%), alors qu'elle a été plus élevée au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison dans l'ensilage demi-sec (57,4% vs 51,1%) (tableau 2).

Le stade de récolte et la teneur en matière sèche ont eu une influence marquée sur la densité de l'ensilage au moment de la mise en silo. En effet, la luzerne récoltée au stade floraison avancée a été moins dense que celle récoltée au stade début de floraison (167 kg MS/m<sup>3</sup> vs 206 kg MS/ m<sup>3</sup>). De plus, la densité a augmenté avec la teneur en matière sèche (178 kg MS/m<sup>3</sup> à 35% MS et 195 kg MS/m<sup>3</sup> à 55% MS) (tableau 2).

Le hachage du fourrage a fait augmenter la densité de 35 kg MS/m<sup>3</sup> en moyenne, (170 kg MS/m<sup>3</sup> pour le fourrage long et 205 kg MS/m<sup>3</sup> pour le fourrage haché). De plus, l'augmentation a été comparable quelle que soit la teneur en matière sèche et le stade (tableau 2).

### Évaluation visuelle des moisissures

Au stade début de floraison toutes les balles ont été complètement exemptes de moisissure alors qu'au stade floraison avancée on a observé la présence de moisissures dans 1 seule balle (tableau 3).

Tableau 3. Évaluation visuelle des moisissures après 120 jours de conservation

Matière sèche	Hachage	Moisissures (0-5) <sup>1</sup>	
		Stade début de floraison	Stade floraison avancée
35	Long	0	0
	Haché	0	0
55	Long	0	0,3 <sup>2</sup>
	Haché	0	0

<sup>1</sup> Échelle de 0 à 5 : 0 = aucune moisissure visible, 5 = complètement moisie.

<sup>2</sup> Note de 1 pour 1 balle sur 3.

## 2. Fermentation

Le sommaire des moyennes et erreurs types pour chacun des paramètres de la fermentation est présenté aux annexes 1 (pH), 2 (acide lactique), 3 (acide acétique), 4 (azote ammoniacal), 5 (sucres solubles) et 6 (acide lactique / acide acétique), alors que le sommaire de l'analyse de variance est présenté aux annexes 8 (pH) et 9 (acide lactique, acide acétique, azote ammoniacal, sucres solubles et acide lactique / acide acétique).

### 2.1 Évolution du pH

#### Effet de la matière sèche

La teneur en matière sèche a influencé de façon marquée l'évolution du pH de l'ensilage ( $P < 0,0001$ ). En fait, le pH de l'ensilage à 55% MS a été plus élevé que celui à 35% MS après 7 jours ( $P = 0,0001$ ), 21 jours, 42 jours et 120 jours de conservation ( $P < 0,0001$ ). Ainsi, pour les deux longueurs de hachage et les deux stades étudiés, l'augmentation de la teneur en matière sèche s'est traduite en une acidification moins rapide et moins poussée (figure 1A).

#### Effet du stade de récolte

Le stade de récolte a influencé de façon marquée l'évolution du pH de l'ensilage ( $P = 0,0003$ ). En fait, la luzerne récoltée au stade floraison avancée a présenté un pH plus élevé que celle récoltée au stade début de floraison au moment de la mise en silo (jour 0) de même qu'après 7, 21, 42 et 120 jours ( $P < 0,001$ ). Ainsi, pour les deux longueurs de hachage et les deux teneurs en matière sèche étudiées, le fait de retarder la récolte s'est traduit en une acidification moins poussée mais qui n'a pas été nécessairement moins rapide (figure 1B).

#### Effet du stade selon la matière sèche

Le stade de récolte a influencé l'évolution du pH de l'ensilage de façon différente selon la teneur en matière sèche ( $P = 0,0083$ ). En effet, l'acidification a été moins poussée au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison quelle que soit la teneur en matière sèche, mais l'écart a été plus grand à 55% MS qu'à 35% MS après 21 jours ( $P = 0,0038$ ), 42 jours ( $P = 0,0597$ ) et 120 jours ( $P = 0,0138$ ). La différence entre la luzerne récoltée au stade floraison avancée et celle récoltée au stade début de floraison, en fonction de la teneur en matière sèche, peut être la conséquence d'une hydrolyse enzymatique seulement un peu moins intense dans le fourrage mature que dans le fourrage jeune à 35% MS mais beaucoup moins intense dans le fourrage mature que dans le fourrage jeune à 55% MS (figure 1C).

De plus, le pH de stabilité anaérobie a été atteint dans l'ensilage à 55% MS quel que soit le stade de récolte alors qu'il a été atteint dans l'ensilage à 35% MS seulement au stade début de floraison. Ce résultat semble indiquer que la luzerne ensilée à 55% MS n'est pas susceptible de présenter des problèmes de conservation quel que soit le stade de récolte alors que celle ensilée à 35% MS est plus susceptible d'en présenter au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison. Cependant, on a observé une remontée de pH après 42 jours de conservation seulement dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS. Ce résultat semble indiquer que le pH de stabilité anaérobie n'a pas été atteint assez rapidement dans cet ensilage pour inhiber la croissance microbienne indésirable compte tenu de sa faible teneur en matière sèche et sa teneur élevée en sucres solubles.

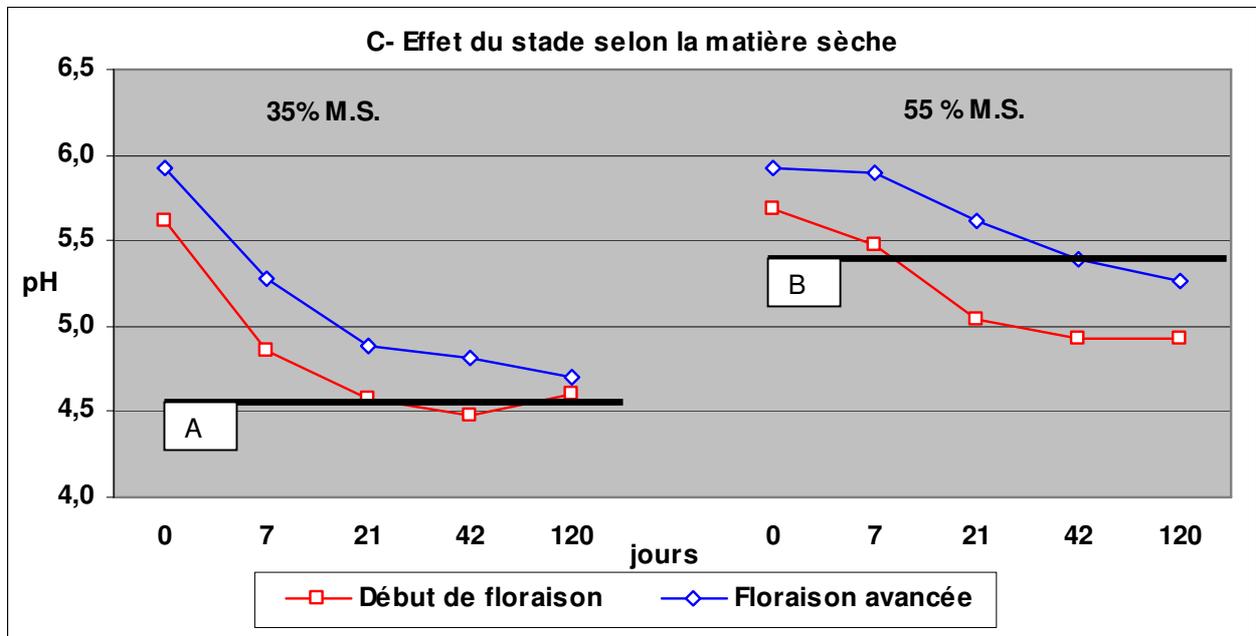
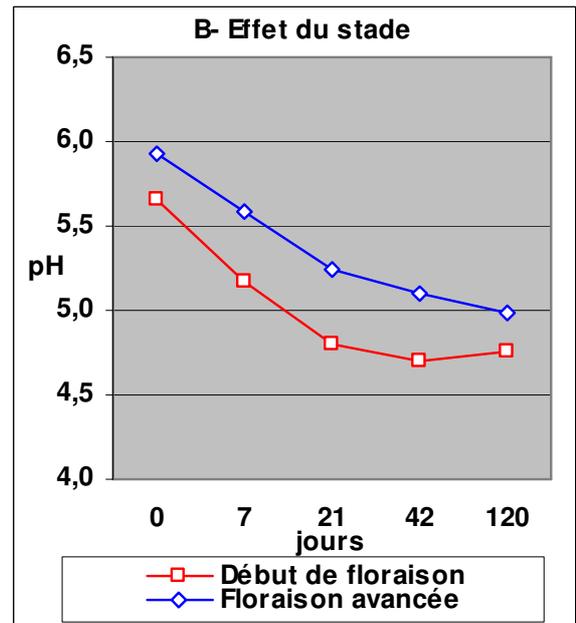
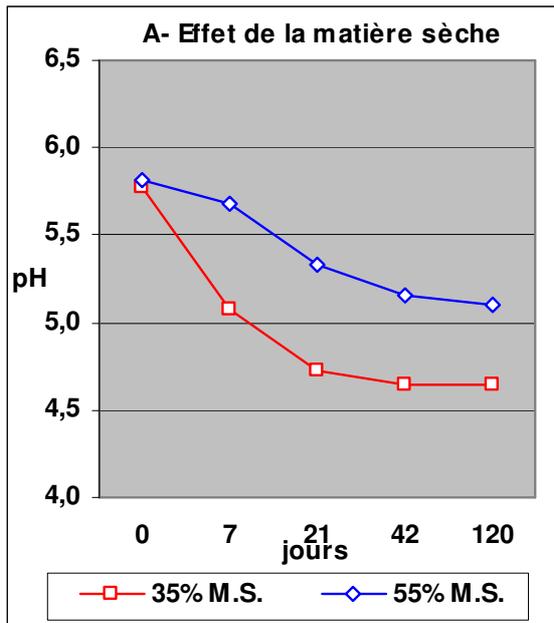


Figure 1. Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur l'évolution du pH de l'ensilage de luzerne  
 A = pH de stabilité anaérobie de l'ensilage à 35% M.S. = 4,6.  
 B = pH de stabilité anaérobie de l'ensilage à 55% M.S. = 5,4.

## **Effet du hachage**

Le hachage a aussi influencé l'évolution du pH de l'ensilage ( $P < 0,0001$ ). En fait, l'ensilage haché a présenté un pH plus bas que l'ensilage non haché après 7 jours ( $P = 0,0003$ ), 21 jours, 42 jours et 120 jours de conservation ( $P < 0,0001$ ). Ceci indique que pour l'ensemble des teneurs en matière sèche et des stades étudiés, le fourrage haché a subi une acidification plus rapide et plus poussée que le fourrage non haché (figure 2A).

## **Effet du hachage selon la matière sèche**

Le hachage a influencé l'évolution du pH de l'ensilage de façon différente selon la teneur en matière sèche ( $P = 0,0026$ ). En fait, l'acidification du fourrage haché a été plus rapide et plus poussée que celle du fourrage non haché quelle que soit la teneur en matière sèche. Cependant, l'écart de pH entre ces deux types d'ensilage a été significativement moins grand à 55% MS qu'à 35% MS après 7 jours ( $P = 0,0252$ ), mais pas par la suite. Ceci fait dire qu'en début de fermentation (7 jours) l'écart de pH entre ces deux types d'ensilage a été d'autant plus marqué que la teneur en matière sèche a été faible, alors que par la suite (21, 42 et 120 jours) il a été semblable quelle que soit la teneur en matière sèche (figure 2B).

Il est facile d'expliquer pourquoi l'acidification du fourrage haché a été plus rapide que celle du fourrage non haché de façon d'autant plus marquée que la teneur en matière sèche a été faible. Cela vient du fait que dans l'ensilage à 55% MS la vitesse d'acidification a été relativement peu accélérée par le hachage parce que l'activité bactérienne a été fortement limitée par la faible teneur en eau, alors que dans l'ensilage plus humide le hachage a accéléré la vitesse d'acidification de façon plus marquée parce que l'activité bactérienne n'a pas été limitée principalement par le manque d'eau mais surtout par la vitesse de libération des sucres. En effet, il est reconnu que le hachage des fourrages rend les sucres plus rapidement disponibles pour la fermentation (Lafrenière et al, 1998).

De plus, l'étude du profil d'acidification montre que dans l'ensilage à 55% MS le pH de stabilité anaérobie (5,4) a été atteint que le fourrage soit haché ou non, quoique plus rapidement dans le fourrage haché que dans le non haché. Par contre, dans le fourrage à 35% MS le pH de stabilité anaérobie (4,6) a rapidement été atteint dans l'ensilage haché alors qu'il n'a jamais été atteint dans l'ensilage non haché (figure 2B).

## **Effet du hachage selon le stade**

Le hachage a influencé l'évolution du pH de l'ensilage de façon plus marquée au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison ( $P = 0,0029$ ). En fait, l'écart de pH entre l'ensilage haché et l'ensilage non haché a été plus grand au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison après 42 jours ( $P = 0,0161$ ) mais pas après 120 jours ( $P = 0,4881$ ). On en conclut que c'est principalement lorsque la récolte a eu lieu à un stade avancé de maturité que l'acidification du fourrage haché a été plus rapide que celle du fourrage non haché. Par contre, la moindre stabilité anaérobie de l'ensilage récolté au stade début de floraison et ensilé sans avoir été haché peut se traduire en une remontée de pH et faire disparaître cette différence à long terme (figures 2C1 et 2C2).

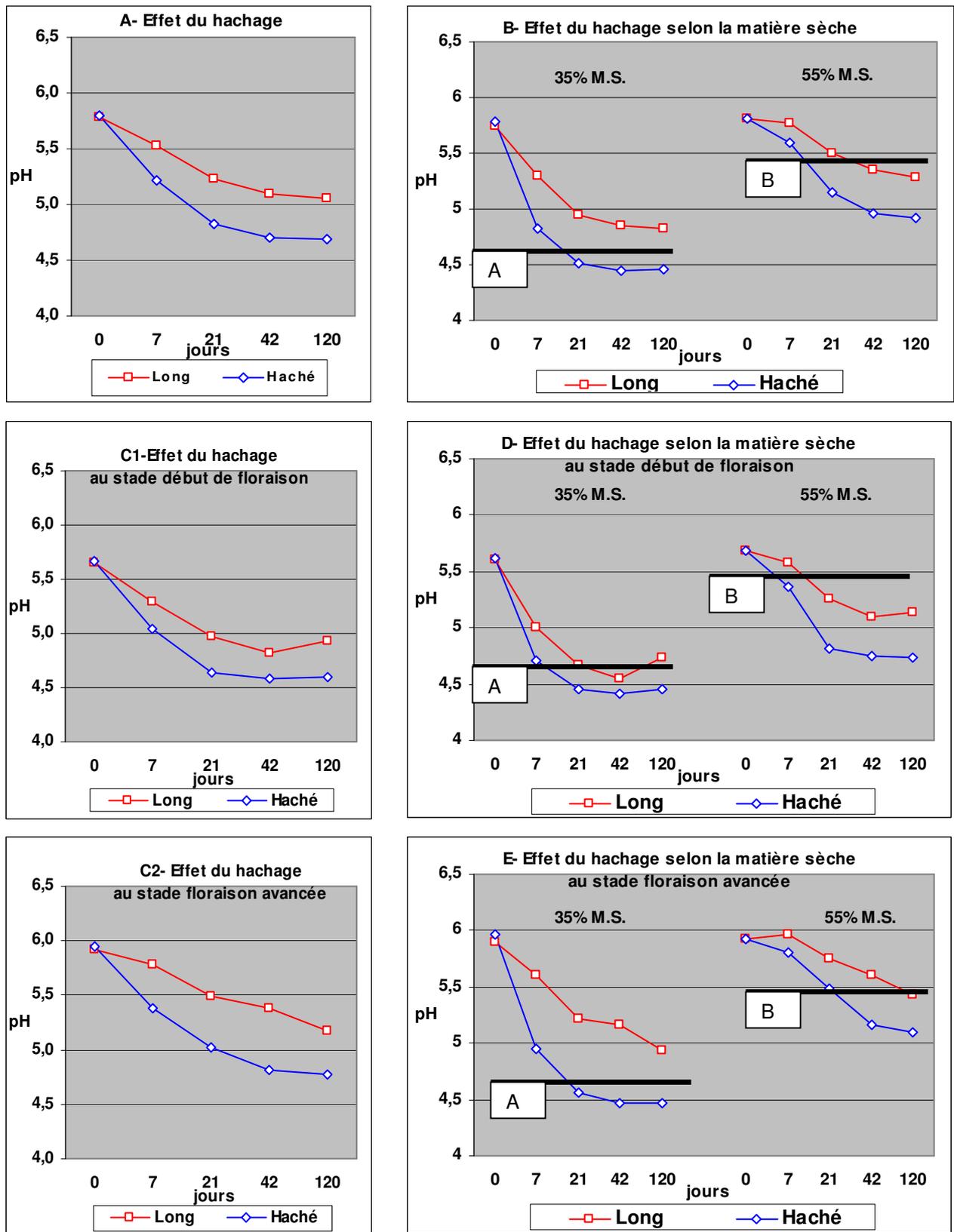


Figure 2. Effet du hachage, de la matière sèche et du stade de récolte sur l'évolution du pH de l'ensilage de luzerne  
 A = pH de stabilité anaérobie de l'ensilage à 35% M.S. = 4,6.  
 B = pH de stabilité anaérobie de l'ensilage à 55% M.S. = 5,4.

## Effet du hachage selon le stade et la matière sèche

L'effet du hachage sur l'évolution du pH a été influencé par la teneur en matière sèche de façon différente à chaque stade ( $P=0,0034$ ). Au stade début de floraison, le hachage a activé l'acidification de façon plus marquée à 55% MS qu'à 35% MS alors qu'au stade floraison avancée l'effet a été plus marqué à 35% MS qu'à 55% MS. L'écart a été marqué après 7 jours ( $P=0,0853$ ), 21 jours ( $P=0,0068$ ) et 42 jours ( $P=0,0790$ ), mais a disparu après 120 jours ( $P=0,1789$ ). Cela vient du fait que le pH a remonté, après 42 jours, dans l'ensilage récolté au stade début de floraison, surtout à 35% MS, alors qu'il a continué à diminuer dans celui récolté au stade floraison avancée (figures 2D et 2E).

L'étude du profil d'acidification montre bien qu'au stade floraison avancée le pH initial était d'environ 5,9 et le hachage a accéléré de façon marquée l'atteinte du pH de stabilité anaérobie (21 jours vs 120 jours à 55% MS et <21 jours vs >120 jours à 35% MS), alors qu'au stade début de floraison le pH initial était d'environ 5,6 et le hachage a un effet moins marqué sur l'atteinte du pH de stabilité anaérobie (<7 jours vs >7 jours à 55% MS et 7 jours vs 21 jours à 35% MS). De plus, au stade floraison avancée le pH a continué à diminuer après 42 jours dans l'ensilage non haché même si le pH de stabilité anaérobie n'avait pas été atteint alors qu'au stade début de floraison le pH n'a pas continué à diminuer après 42 jours dans l'ensilage non haché même si le pH de stabilité anaérobie avait été atteint. Il même a remonté de façon importante dans l'ensilage à 35% MS (figure 2D et 2E).

Cela peut être lié au fait qu'au stade floraison avancée la faible teneur initiale en sucres solubles (environ 6%) a limité la croissance microbienne indésirable quelle que soit la teneur en matière sèche alors qu'au stade début de floraison la teneur initiale élevée en sucres solubles (environ 10%) a favorisé cette croissance dans l'ensilage à 35% MS et entraîné sa détérioration subséquente parce que le pH de stabilité anaérobie n'avait pas été atteint assez rapidement compte tenu de sa faible teneur en matière sèche.

On pourrait être porté à croire que le hachage de la luzerne ensilée en balles rondes est plus utile au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison compte tenu que l'effet du hachage (fermentation plus rapide et plus poussée) est plus prononcé lors d'une récolte tardive (floraison avancée). Cependant, c'est dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS que le hachage a été le plus utile, puisque l'atteinte plus rapide du pH de stabilité anaérobie (7 jours vs 21 jours) a permis de stabiliser cet ensilage qui autrement aurait été instable (remontée de pH après 42 jours de conservation).

## Synthèse

Le suivi du pH à 5 moments différents pendant la période de conservation a démontré que :

### 1° Effet du stade et de la matière sèche

L'augmentation de la teneur en matière sèche de la luzerne s'est traduite en une acidification moins rapide et moins poussée (effet MS). Et il en fut de même lorsque la récolte de la luzerne a été effectuée au stade floraison avancée plutôt qu'au stade début de floraison (effet stade). De plus, l'effet du stade de récolte a été plus marqué avec l'augmentation de la teneur en matière sèche. En effet, l'acidification de l'ensilage à 35% MS a été un peu moins rapide mais aussi poussée au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison alors que celle de l'ensilage à 55% MS a été nettement moins rapide et moins poussée au stade floraison avancée (interaction stade x matière sèche). Finalement, le pH de stabilité anaérobie a été atteint dans l'ensilage à 55% MS quel que soit le stade de récolte alors qu'il a été atteint dans l'ensilage à 35% MS seulement au stade début de floraison. Cependant, on a observé une remontée de pH après 42 jours de conservation seulement dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS. Ce résultat semble indiquer que le pH de stabilité anaérobie n'a pas été atteint assez rapidement dans cet ensilage pour inhiber la croissance microbienne indésirable compte tenu de sa faible teneur en matière sèche et sa teneur élevée en sucres solubles.

### 2° Ensilage haché vs ensilage non haché

L'acidification de l'ensilage haché a été plus rapide et plus poussée que celle de l'ensilage non haché (effet hachage). En fait, ce fut le cas quels que soient le stade et la matière sèche, mais l'effet a été plus marqué à 55% MS qu'à 35% MS au stade début de floraison, alors qu'au stade floraison avancée il a été plus marqué à 35% MS qu'à 55% MS. Malgré les différences observées en cours de fermentation, l'abaissement de pH dû au hachage a été comparable quels que soient le stade et la matière sèche après 120 jours de conservation (interaction hachage x stade x MS). Ceci semble dû principalement au fait qu'au stade floraison avancée l'ensilage non haché a continué à s'acidifier après 42 jours quelle que soit la teneur en matière sèche alors qu'au stade début de floraison le pH de cet ensilage a été stable à 55% MS et a remonté de façon importante à 35% MS. Cette différence est probablement le résultat du fait que la teneur initiale en sucres solubles était beaucoup moins élevée au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison et que l'activité microbienne est plus intense à 35% MS qu'à 55% MS. C'est donc dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS que le hachage a été le plus utile, puisque l'atteinte plus rapide du pH de stabilité anaérobie (7 jours vs 21 jours) a permis de stabiliser cet ensilage qui autrement aurait été instable (remontée de pH après 42 jours de conservation).

## 2.2 Analyse des différents paramètres de la fermentation après 120 jours de conservation

### Effet de la matière sèche

Après 120 jours de conservation, l'ensilage à 55% MS a présenté, pour les deux longueurs de hachage et les deux stades de récolte étudiés, un pH et une teneur en sucres résiduels plus élevés ( $P < 0,0001$ ) que celui à 35% MS, mais des teneurs en acide lactique, en acide acétique et en azote ammoniacal moins élevées ( $P < 0,0001$ ) que ce dernier. Par contre, le rapport « acide lactique / acide acétique » a été comparable dans les deux cas ( $P = 0,7345$ ) (figure 3).

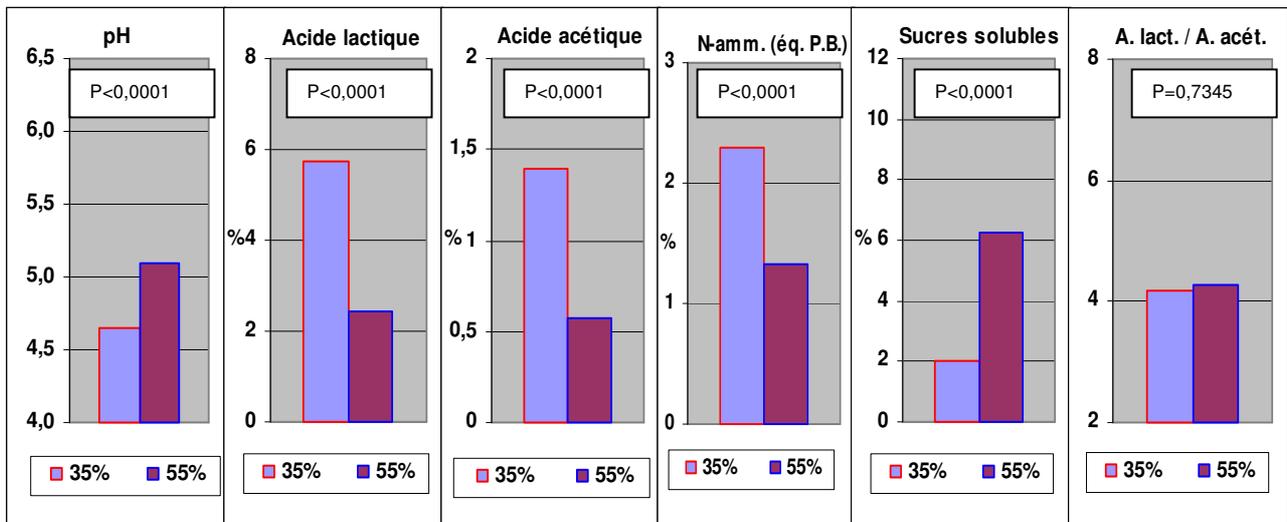


Figure 3. Effet de la matière sèche sur la fermentation de la luzerne

### Effet du stade de récolte

Pour les deux longueurs de hachage et les deux teneurs en matière sèche étudiées, l'ensilage récolté au stade floraison avancée a présenté, après 120 jours de conservation, un pH ( $P = 0,0006$ ) plus élevé de même que des teneurs moins élevées en acide lactique ( $P = 0,0002$ ), en acide acétique ( $P = 0,0037$ ) et en sucres résiduels ( $P = 0,0072$ ) que celui récolté au stade début de floraison. Cependant ces deux ensilages avaient des rapports « acide lactique / acide acétique » comparables ( $P = 0,2013$ ) et des teneurs comparables en azote ammoniacal ( $P = 0,2811$ ) (figure 4).

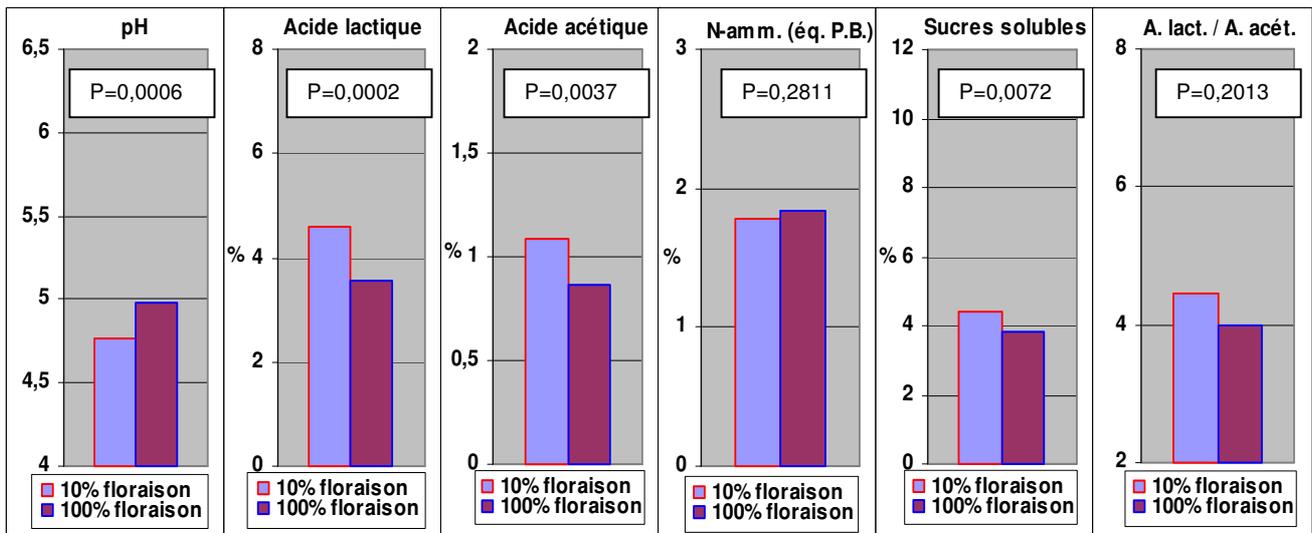


Figure 4. Effet du stade de récolte sur la fermentation de la luzerne

### Effet du stade selon la matière sèche

L'ensilage à 35% MS s'est acidifié presque autant au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison (pH de 4,70 vs 4,60) alors que l'ensilage à 55% MS s'est acidifié moins au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison (pH de 5,26 vs 4,93) ( $P=0,0138$ ). On a assisté à une diminution comparable de la production d'acide lactique au stade pleine floraison quel que soit la teneur en matière sèche ( $P=0,8252$ ) mais la production d'acide acétique a subi une diminution plus importante à 35% qu'à 55% MS ( $P=0,0137$ ) et la production d'azote ammoniacal une augmentation, quoique non statistiquement significative, à 55% MS mais pas à 35% MS ( $P=0,0958$ ). Ainsi, à 35% MS la fermentation a été aussi sinon plus homolactique au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison tel qu'indiqué par un rapport « acide lactique / acide acétique » de 4,37 vs 3,96, alors qu'à 55% MS elle a été nettement moins homolactique au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison tel qu'indiqué par un rapport « acide lactique / acide acétique » de 3,63 vs 4,92 ( $P=0,0328$ ) (figure 5).

Le type de fermentation qui a pris place dans chaque ensilage peut avoir été influencé par le fait que la teneur en matière sèche réelle de l'ensilage préfané (35% MS visé) a été plus élevée au stade début de floraison qu'au stade floraison avancée (37,1% MS vs 32,6% MS) alors que la teneur en matière sèche réelle de l'ensilage demi-sec (55% MS visé) a été plus faible au stade début de floraison qu'au stade floraison avancée (51,1% MS vs 57,4% MS) (tableau 2).

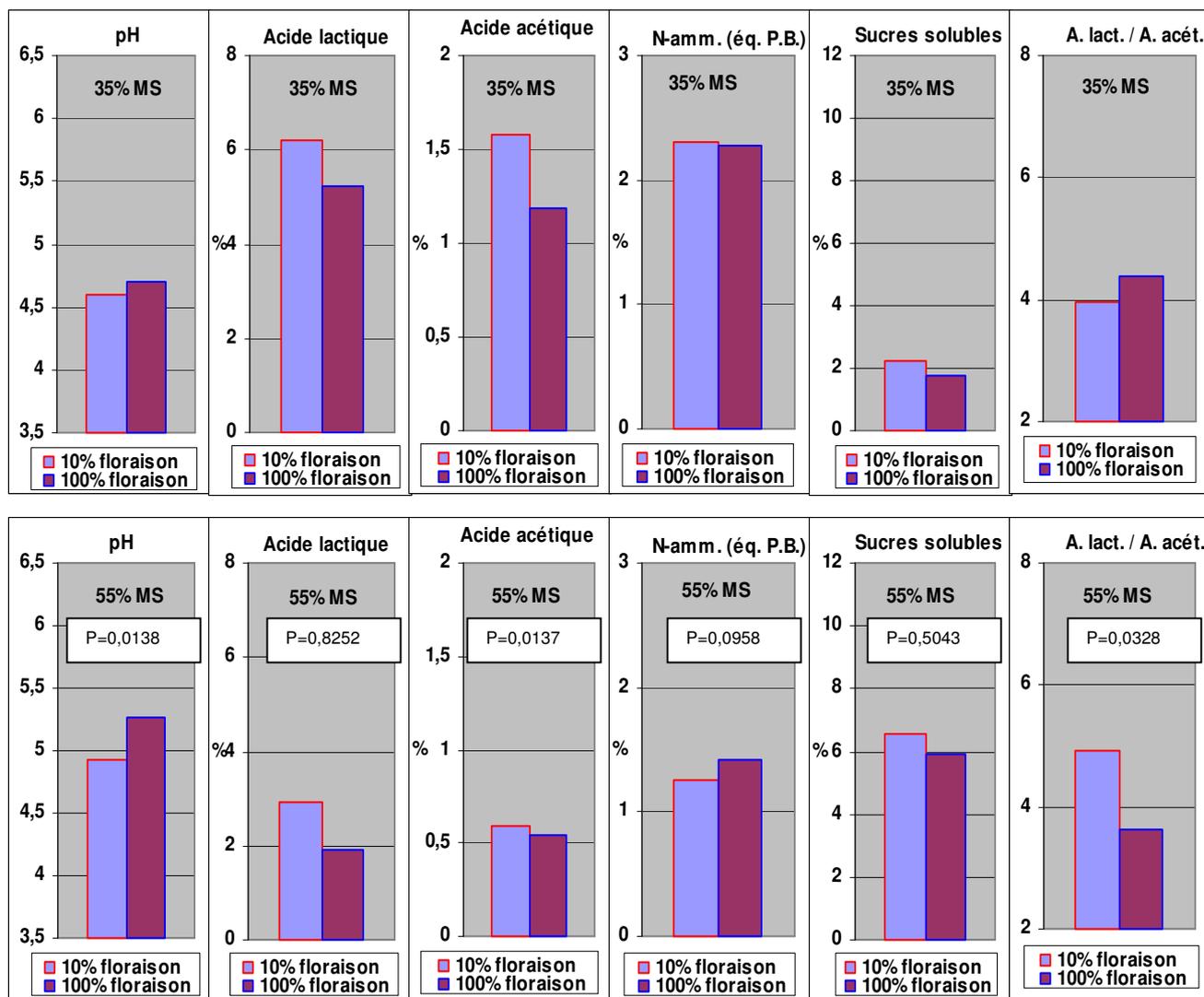


Figure 5. Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur la fermentation de la luzerne  
 P = Début de floraison vs Floraison avancée x 35% M.S. vs 55% M.S.

## Effet du hachage

L'ensilage haché a présenté, après 120 jours de conservation, un pH plus bas ( $P < 0,0001$ ), une teneur en acide lactique plus élevée ( $P < 0,0001$ ) et des teneurs en azote ammoniacal ( $P = 0,0037$ ) et en sucres résiduels ( $P = 0,0066$ ) moins élevées que l'ensilage non haché. On a observé aussi un rapport « acide lactique / acide acétique » plus élevé ( $P = 0,0020$ ) dans l'ensilage haché que dans l'ensilage non haché puisque la teneur en acide acétique n'a pas été significativement plus élevée ( $P = 0,0739$ ). Il semble donc que le hachage ne fait pas seulement activer la fermentation. Il en résulte aussi une fermentation plus efficace (figure 6).

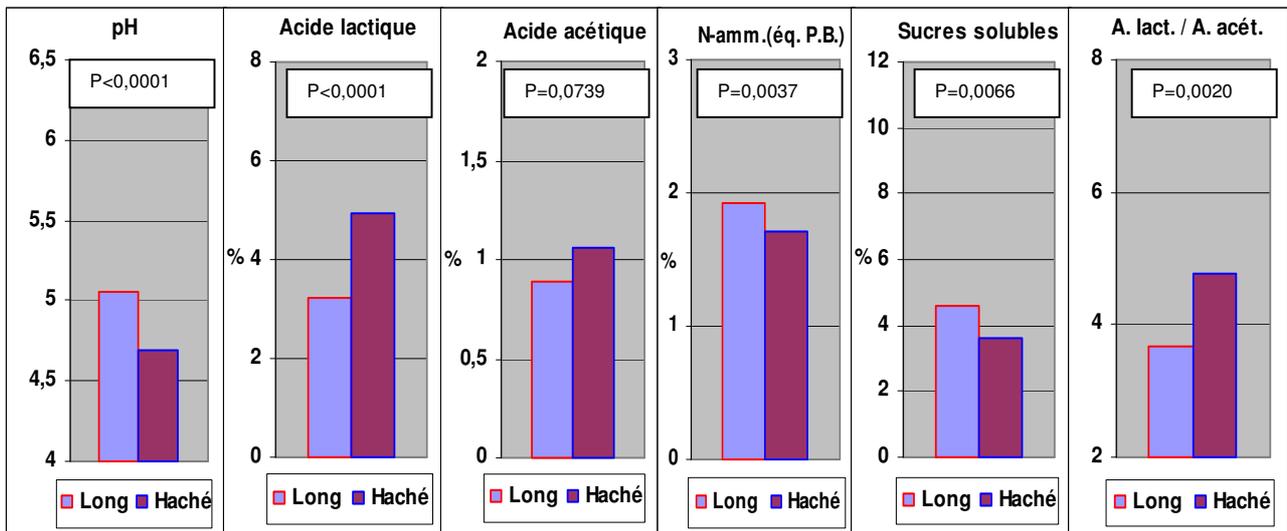


Figure 6. Effet du hachage sur la fermentation de la luzerne

## Effet du hachage selon le stade

Suite au hachage, on a assisté à une augmentation de la production d'acide lactique ( $P = 0,4474$ ), une diminution de la production d'azote ammoniacal ( $P = 0,2600$ ) et une diminution du pH ( $P = 0,4881$ ) comparables au stade floraison avancée et au stade début de floraison. Par contre, le rapport « acide lactique / acide acétique » a augmenté de façon plus marquée au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison ( $P = 0,0131$ ) suite au hachage et les sucres solubles ont été aussi élevés dans l'ensilage haché que dans le non haché au stade floraison avancée alors qu'ils ont été plus faibles au stade début de floraison ( $P = 0,0650$ ) (figure 7).

Même si, après 120 jours de conservation, la différence de pH entre l'ensilage haché et l'ensilage non haché était comparable quel que soit le stade de récolte, dû à une remontée de pH après 42 jours dans l'ensilage non haché récolté au stade début de floraison, il semble bien qu'au stade début de floraison l'acidification de l'ensilage en balles rondes réalisé avec un fourrage haché a été seulement un peu plus rapide que celle de l'ensilage réalisé avec un fourrage non haché, alors qu'au stade floraison avancée son acidification a été beaucoup plus rapide, (figures 2C1 et 2C2). Ce résultat semble dû principalement au fait que le hachage a amélioré l'efficacité de la fermentation au stade floraison avancée alors que ce ne fut pas le cas au stade début de floraison. Ce peut être la conséquence de la teneur initiale en sucres solubles beaucoup plus faible au stade floraison avancée (environ 6%) qu'au stade début de floraison (environ 10%). La présence de type de sucres différents en fonction du stade pourrait aussi en être la cause.

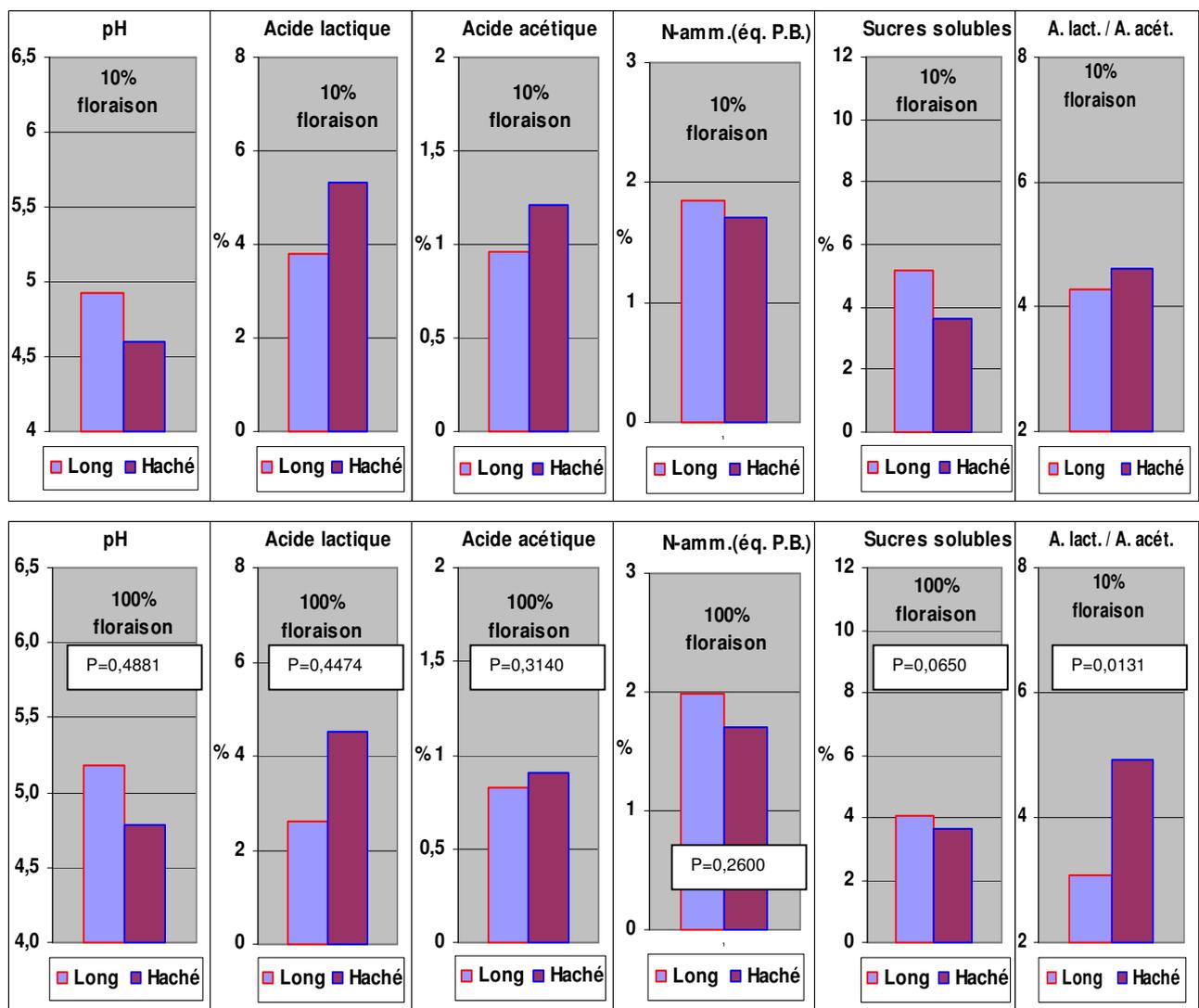


Figure 7. Effet du hachage et du stade de récolte sur la fermentation de la luzerne

## Effet du hachage selon la matière sèche

L'ensilage haché a présenté une plus grande production d'acide lactique que l'ensilage non haché quelle que soit la teneur en matière sèche mais surtout à 35% MS ( $P=0,0598$ ) et une moins grande production d'azote ammoniacal à 35% MS mais pas à 55% MS ( $P=0,0037$ ). Cependant, cela ne s'est pas traduit en une baisse de pH plus prononcée à 35% MS qu'à 55% MS ( $P=0,8940$ ) ni en une augmentation plus prononcée du rapport « acide lactique / acide acétique » à 35% MS qu'à 55% MS ( $P=0,8910$ ) (figure 8). L'amélioration plus prononcée de la fermentation à 35% MS qu'à 55% MS semble due au fait que le hachage a eu un effet plus marqué sur la vitesse d'acidification (7 jours) à 35% MS qu'à 55% MS (figure 2B), mais il est difficile d'expliquer pourquoi cela ne s'est pas traduit en une baisse de pH plus prononcée après 120 jours de conservation.

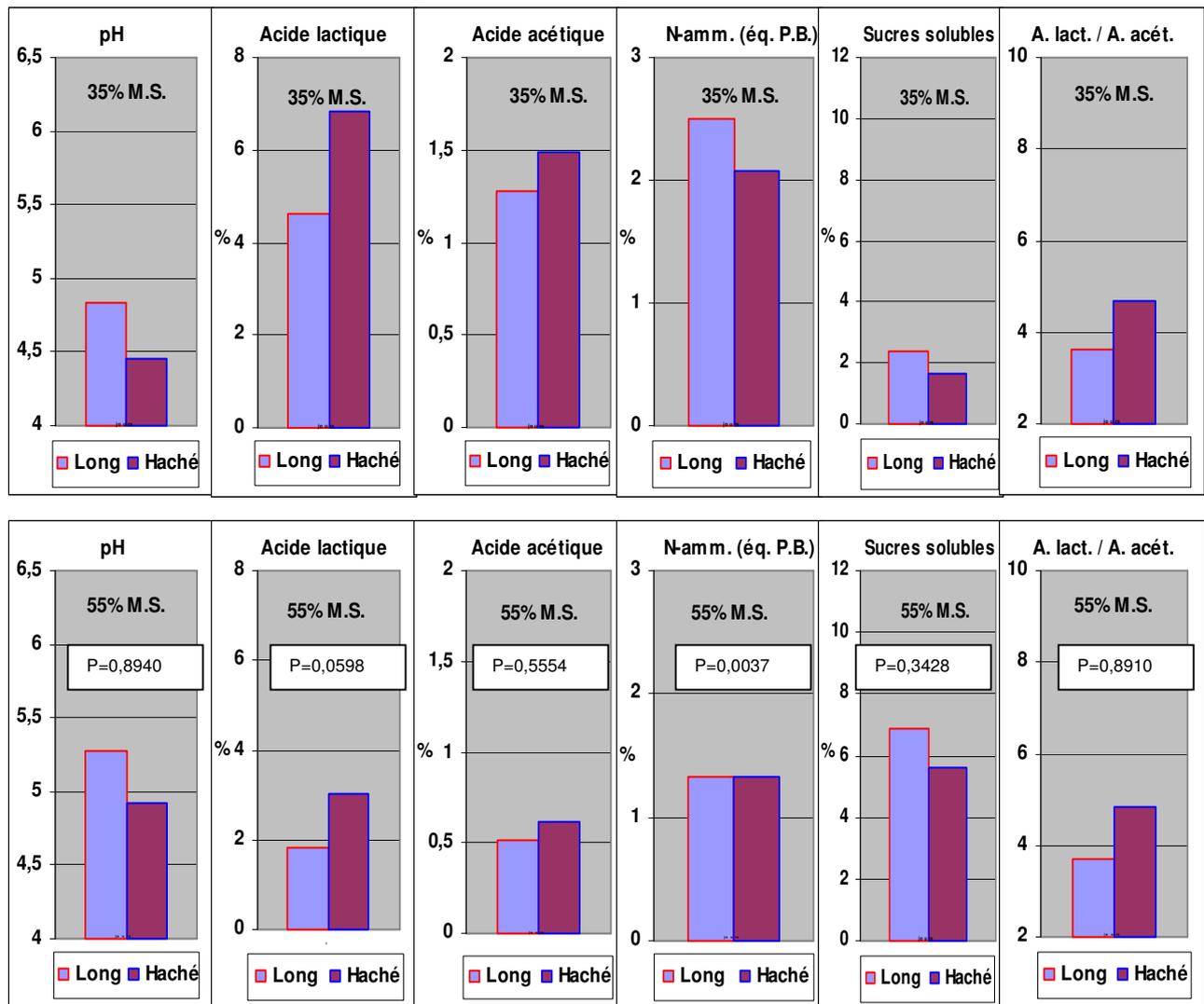


Figure 8. Effet du hachage et de la matière sèche sur la fermentation de la luzerne

## Effet du hachage selon la matière sèche et le stade

Malgré les différences observées en cours de fermentation, l'écart de pH entre l'ensilage haché et l'ensilage non haché a été comparable quels que soient la matière sèche et le stade, après 120 jours de conservation (figures 2D et 2E). Cela semble dû au fait que dans l'ensilage non haché on a assisté, au stade début de floraison, à une remontée de pH après 42 jours, surtout à 35% MS, alors qu'au stade floraison avancée le pH a continué à descendre dans l'ensilage non haché après 42 jours. Cependant, certains paramètres de la fermentation présentent, encore après 120 jours de conservation, des différences en fonction de la matière sèche et du stade, qui semblent la conséquence du cheminement différent de la fermentation. En effet, le hachage a fait augmenter la production d'acide lactique de façon comparable quelle que soit la teneur en MS de la luzerne au stade début de floraison, alors qu'il l'a fait augmenter plus à 35% MS qu'à 55% MS au stade floraison avancée ( $P=0,0475$ ). De plus, il a fait diminuer la teneur en sucres solubles de façon plus marquée à 55% MS qu'à 35% MS au stade début de floraison alors qu'il l'a fait diminuer à peu près de façon comparable quelle que soit la teneur en matière sèche au stade floraison avancée ( $P=0,0625$ ) (figure 9).

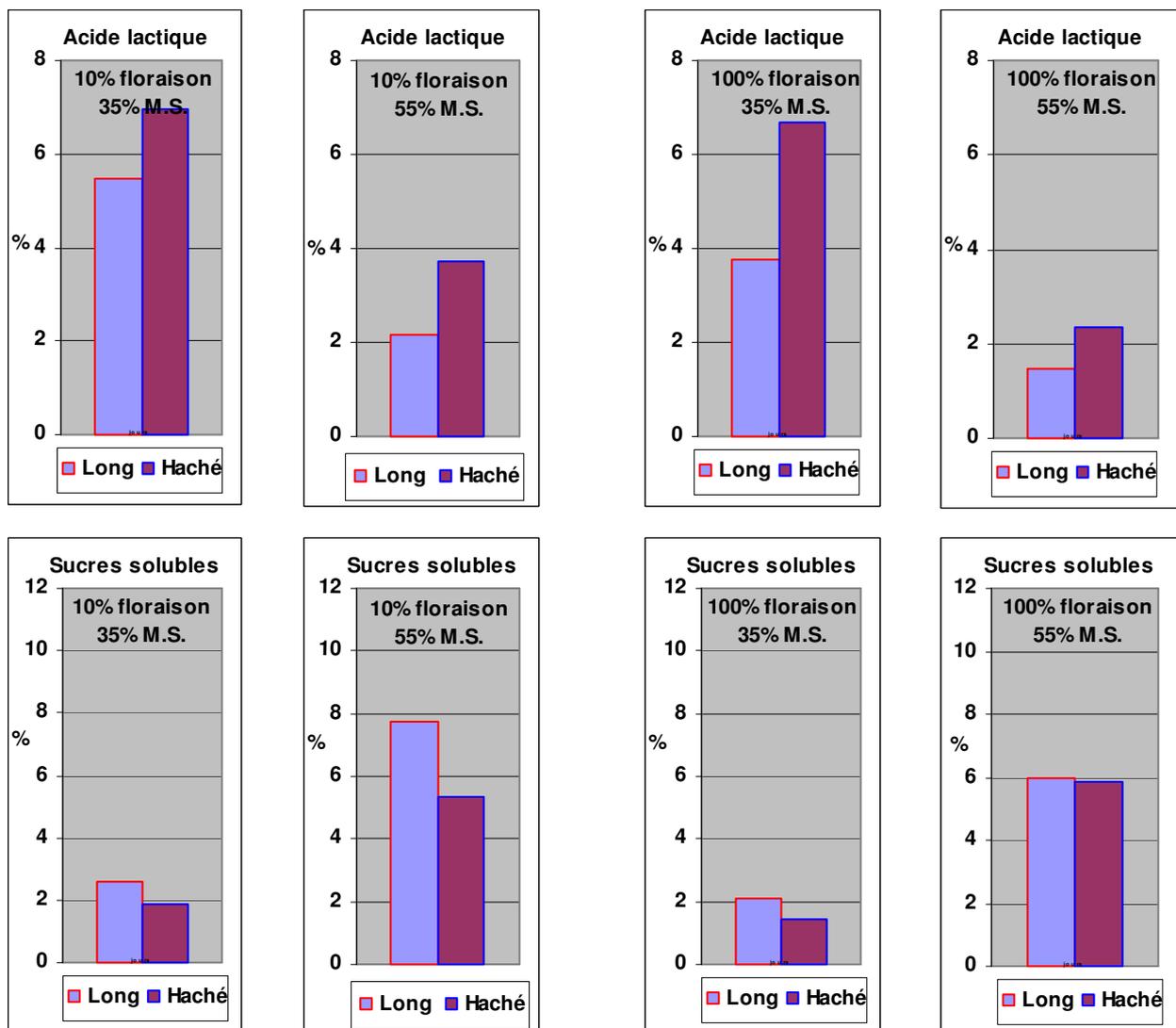


Figure 9. Effet du hachage, du stade de récolte et de la matière sèche sur la teneur en acide lactique et la teneur en sucres solubles de la luzerne

Ainsi, au stade floraison avancée l'amélioration marquée de la fermentation suite au hachage dans l'ensilage à 35% MS semble due à un accroissement de la production d'acide lactique plus grand que dans l'ensilage à 55% MS. Si l'écart de pH entre l'ensilage haché et l'ensilage non haché n'a pas été significativement plus grand à 35% MS qu'à 55% MS après 120 jours de conservation, c'est probablement dû, au moins en partie, au fait que la quantité d'acide requise pour abaisser le pH est d'autant plus grande que le pH est bas. De plus, cela s'est fait sans que la teneur en sucres solubles soit diminuée de façon marquée. Cela veut dire que dans ces conditions les sucres solubles ont été utilisés très efficacement pour produire de l'acide lactique. Cela s'explique par le fait qu'au stade floraison avancée, la teneur en sucres solubles initiale était faible (environ 6%) de sorte que peu de sucres ont été libérés suite au hachage mais ces sucres ont été utilisés efficacement dans l'ensilage à 35% MS parce que l'activité bactérienne n'était pas limitée par le manque d'eau.

Par contre, au stade début de floraison l'amélioration marquée de la fermentation suite au hachage dans l'ensilage à 55% MS ne semble pas due à un accroissement de la production d'acide lactique plus grand que dans l'ensilage à 35% MS mais simplement au fait que ça prend d'autant moins d'acide que le pH est élevé pour acidifier la masse de fourrage. Par contre, on observe dans ces conditions une diminution de la teneur en sucres solubles plus grande que dans l'ensilage à 35% MS. Cela veut dire que les sucres solubles ont été utilisés très peu efficacement pour produire de l'acide lactique. Cela s'explique par le fait qu'au stade début de floraison, la teneur en sucres solubles initiale était élevée (environ 10%) de sorte que beaucoup de sucres ont été libérés suite au hachage mais ces sucres n'ont pas été utilisés efficacement dans l'ensilage à 55% MS parce que l'activité bactérienne était limitée par le manque d'eau.

## Synthèse

L'analyse des différents paramètres de la fermentation après 120 jours de conservation a démontré que :

### 1° Effet du stade et de la matière sèche

L'augmentation de la teneur en matière sèche de la luzerne s'est traduite en une fermentation moins poussée tel qu'indiqué par un pH plus élevé, des teneurs plus faibles en acide lactique, en acide acétique et en azote ammoniacal, et une teneur plus élevée en sucres résiduels (effet MS). Par contre, la récolte de la fléole au stade floraison avancée plutôt qu'au stade début de floraison a entraîné une moins bonne fermentation tel qu'indiqué par un pH plus élevé et des teneurs plus faibles en acide lactique, en acide acétique et en azote ammoniacal (effet stade). De plus, l'effet du stade de récolte a été plus marqué avec l'augmentation de la teneur en matière sèche. En effet, à 35% MS la fermentation a été aussi efficace sinon plus au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison tel qu'indiqué par un pH et un rapport « acide lactique / acide acétique » comparables, alors qu'à 55% MS elle a été nettement moins efficace au stade floraison avancée, tel qu'indiqué par un pH plus élevé et un rapport « acide lactique / acide acétique » plus faible (interaction stade x MS).

### 2° Ensilage haché vs ensilage non haché

L'ensilage haché a subi une fermentation plus poussée que l'ensilage non haché tel qu'indiqué par un pH plus bas, une teneur plus élevée en acide lactique et une teneur moins élevée en sucres résiduels, et qui a mieux préservé les protéines tel qu'indiqué par une teneur moins élevée en azote ammoniacal (effet hachage). La diminution de pH a été comparable quels que soient le stade et la matière sèche après 120 jours de conservation, même si en cours de fermentation l'effet du hachage a été plus marqué à 55% MS qu'à 35% MS au stade début de floraison et à 35% MS qu'à 55% MS au stade floraison avancée. Cependant, certains paramètres de la fermentation présentent encore après 120 jours de conservation, des différences en fonction de la matière sèche et du stade, qui semblent la conséquence du cheminement différent de la fermentation. Au stade début de floraison, la diminution de la teneur en sucres solubles suite au hachage a été plus marquée à 55% MS qu'à 35% MS alors que ce ne fut pas le cas au stade floraison avancée. Par contre, le hachage a provoqué une augmentation de la teneur en acide lactique plus marquée à 35% MS qu'à 55% MS au stade floraison avancée alors que ce ne fut pas le cas au stade début de floraison (interaction hachage x MS).

### 1.3 Valeur nutritive

Le sommaire des moyennes et erreurs types pour les protéines brutes et les fibres par détergent acide est présenté à l'annexe 7 alors que le sommaire de l'analyse de variance est présenté à l'annexe 10.

#### Effet du stade de récolte

Globalement, la luzerne récoltée au stade floraison avancée a présenté une teneur en protéines brutes nettement plus faible ( $P < 0,0001$ ) et une teneur en fibres par détergent acide nettement plus élevée ( $P < 0,0001$ ) que celle récoltée au stade début de floraison tel qu'indiqué par les mesures faites au moment de la mise en silo de même qu'après 120 jours de conservation (figure 10).

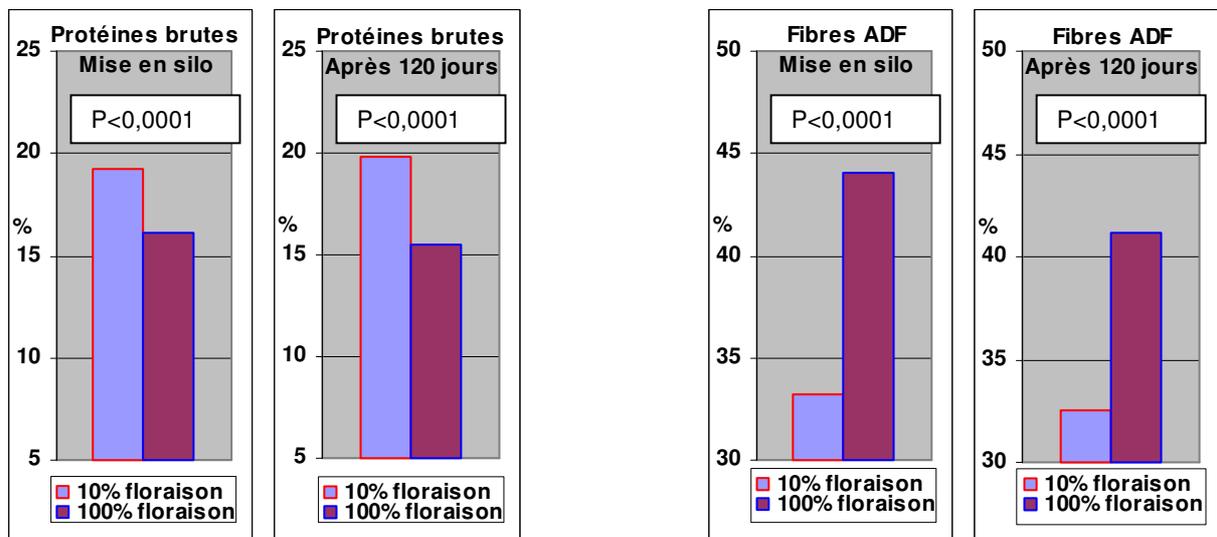


Figure 10. Effet du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne  
P = Début de floraison vs Floraison avancée.

#### Effet de la matière sèche et du stade

Au moment de la mise en silo, la teneur en protéines brutes de la luzerne n'a pas été significativement plus faible à 55% MS qu'à 35% MS ( $P = 0,0514$ ), malgré un écart comparable quel que soit le stade de récolte ( $P = 0,8830$ ) (figure 11). Après 120 jours de conservation, elle a par contre été significativement plus faible à 55% MS qu'à 35% MS pour l'ensemble des deux stades de maturité ( $P < 0,0001$ ), et l'écart a été plus grand au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison ( $P = 0,0006$ ) (figure 12).

Quant à la teneur en fibres par détergent acide, au moment de la mise en silo elle a eu tendance à être plus élevée à 55% MS qu'à 35% MS au stade floraison avancée mais pas au stade début de floraison ( $P = 0,0537$ ) (figure 11). Après 120 jours de conservation, elle a été significativement plus élevée à 55% MS qu'à 35% MS au stade floraison avancée alors que ce ne fut pas le cas au stade début de floraison ( $P = 0,0227$ ) (figure 12).

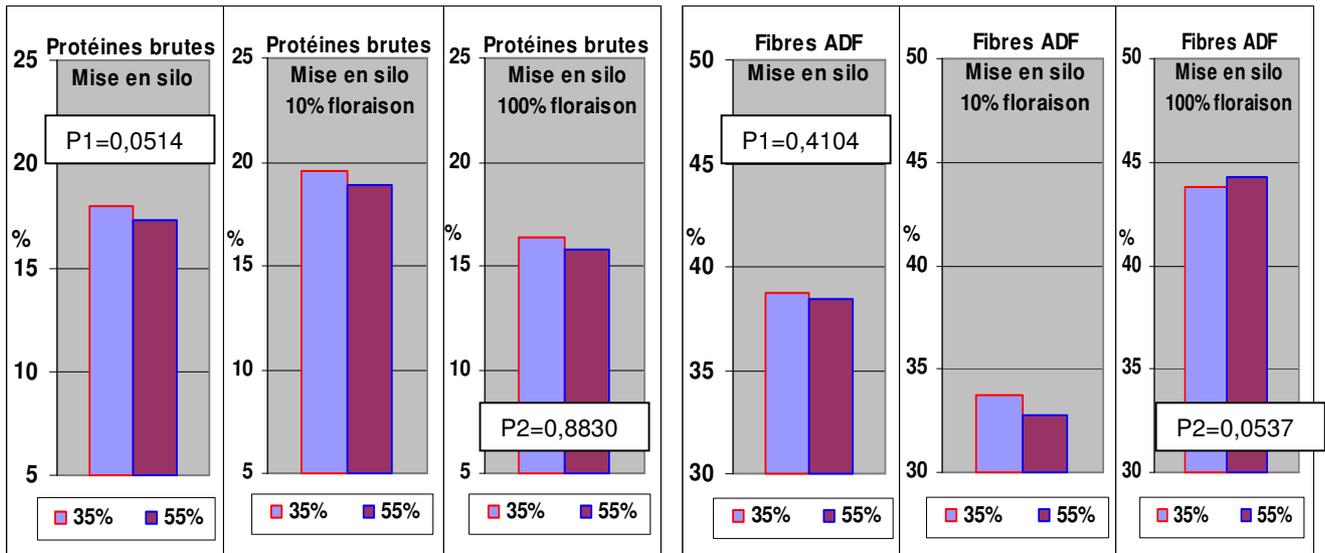


Figure 11. Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne au moment de la mise en silo  
 P1 = 35% M.S. vs 55% M.S.  
 P2 = Début de floraison vs Floraison avancée x 35% M.S. vs 55% M.S.

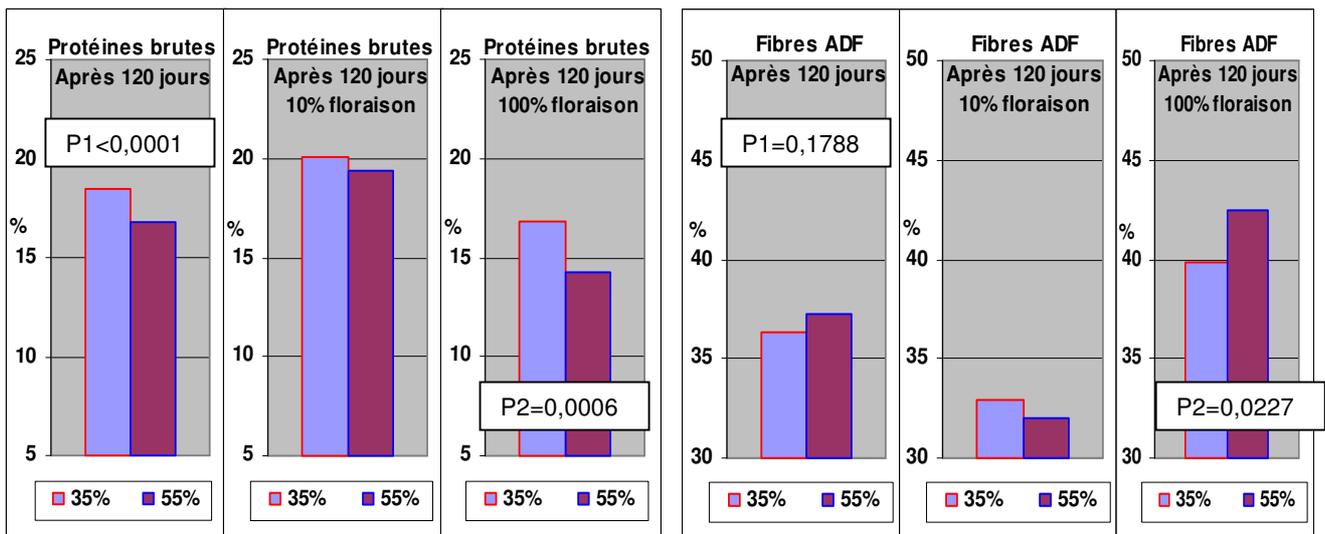


Figure 12. Effet de la matière sèche et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne après 120 jours de conservation  
 P1 = 35% M.S. vs 55% M.S.  
 P2 = Début de floraison vs Floraison avancée x 35% M.S. vs 55% M.S.

### Effet du hachage et du stade

Au moment de la mise en silo, la teneur en protéines brutes de la luzerne a eu tendance à être plus basse dans l'ensilage haché que dans l'ensilage non haché ( $P=0,0626$ ), et l'écart a été comparable quel que soit le stade de récolte ( $P=0,8086$ ) (figure 13). Par contre, après 120 jours de conservation elle a été comparable dans l'ensilage haché et dans l'ensilage non haché ( $P=0,1442$ ) quel que soit le stade de récolte ( $P=0,7645$ ) (figure 14).

Quant à la teneur en fibres par détergent acide, au moment de la mise en silo elle a eu tendance à être plus élevée dans l'ensilage haché que dans l'ensilage non haché ( $P=0,0666$ ) et l'écart a été comparable quel que soit le stade de récolte ( $P=0,9825$ ) (figure 13). Par contre, après 120 jours de conservation elle a été comparable dans l'ensilage non haché et dans l'ensilage haché ( $P=0,6616$ ) quel que soit le stade de récolte ( $P=0,5423$ ) (figure 14).

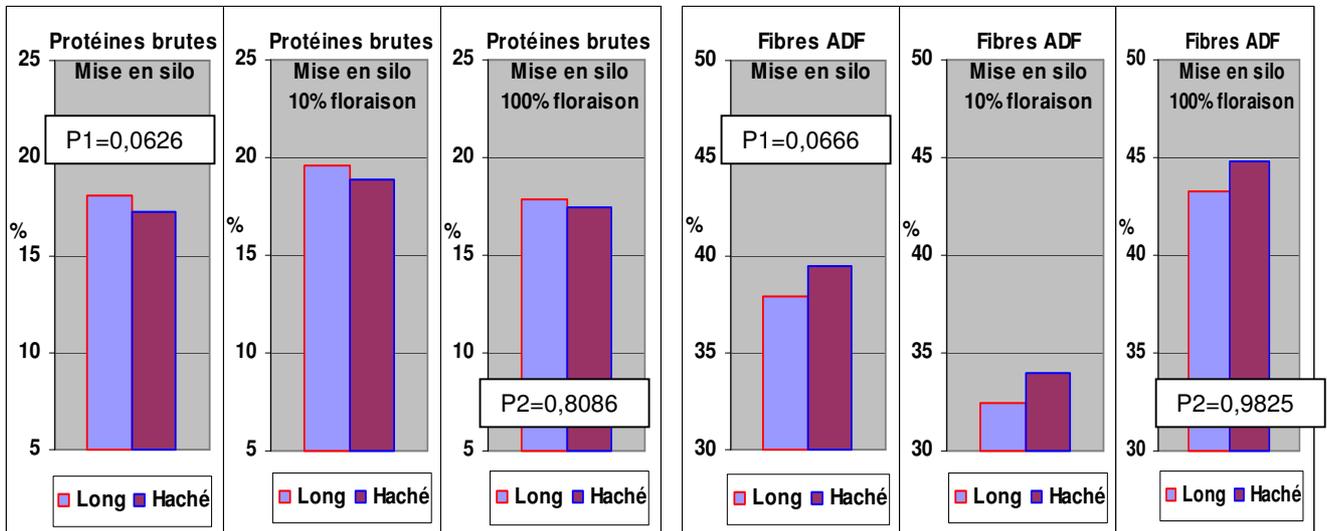


Figure 13. Effet du hachage et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne au moment de la mise en silo  
 P1 = Long vs Haché.  
 P2 = Début de floraison vs Floraison avancée x Long vs Haché.

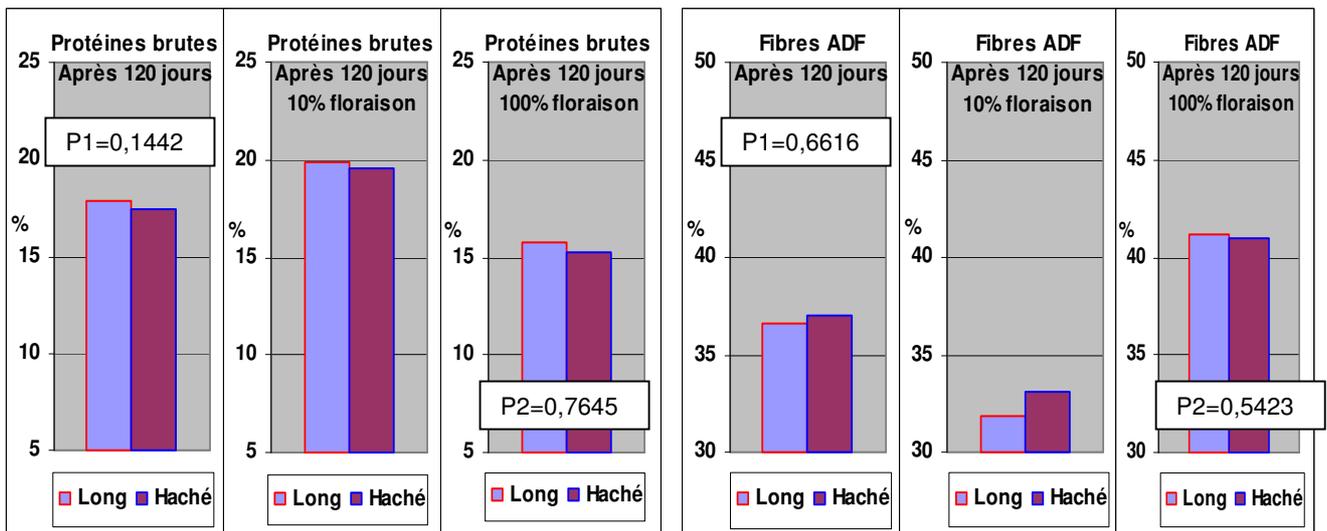


Figure 14. Effet du hachage et du stade de récolte sur les protéines brutes et les fibres par détergent acide de la luzerne après 120 jours de conservation  
 P1 = Long vs Haché.  
 P2 = Début de floraison vs Floraison avancée x Long vs Haché.

## Synthèse

L'analyse des teneurs en protéines brutes et en fibres par détergent acide lors de la mise en silo et après 120 jours de conservation a démontré que :

### 1° Effet de la matière sèche et du stade

Au moment de la mise en silo, la teneur en protéines brutes a eu tendance à être plus basse à 55% MS qu'à 35% MS quel que soit le stade alors que la teneur en fibres par détergent acide a eu tendance à être plus élevée à 55% MS qu'à 35% MS seulement au stade floraison avancée. Ceci semble indiquer que la perte de particules fines lors de la récolte a été légèrement plus grande à 55% MS qu'à 35% MS et que l'effet a été plus prononcé au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison. Par contre, après 120 jours de conservation la teneur en protéines brutes a été plus basse dans l'ensilage à 55% MS que dans celui à 35% MS quel que soit le stade, mais surtout au stade floraison avancée alors que et la teneur en fibres par détergent acide a été plus élevée dans l'ensilage à 55% MS que dans celui à 35% MS seulement au stade floraison avancée. Ainsi les tendances observées au moment de la mise en silo ont été significatives après 120 jours de conservation.

### 2° Ensilage haché vs ensilage non haché

Au moment de la mise en silo, la teneur en protéines brutes a eu tendance à être plus basse et la teneur en fibres par détergent acide a eu tendance à être plus élevée dans l'ensilage haché que dans l'ensilage non haché quel que soit le stade. Ceci semble indiquer que lors de la récolte la perte de particules fines riches en protéines et à faible teneur en fibres a été un peu plus grande dans le fourrage haché que dans le fourrage non haché. Par contre, après 120 jours de conservation les teneurs en protéines brutes et en fibres par détergent acide ont été comparables dans les ensilages haché et non haché quel que soit le stade. Ainsi les tendances observées au moment de la mise en silo ont disparu après 120 jours de conservation.

## - CONCLUSION -

Dans les conditions de cette expérience :

- 1° La luzerne récoltée au stade floraison avancée et ensilée en balles rondes a subi une fermentation moins poussée que celle récoltée au stade début de floraison quelle que soit la teneur en matière sèche mais l'écart a été plus marqué à 55% MS qu'à 35% MS. De plus, le pH de stabilité anaérobie a été atteint quel que soit le stade de récolte dans l'ensilage à 55% MS, alors que dans celui à 35% MS il a été atteint seulement au stade début de floraison. Cependant, le pH a remonté après 42 jours de conservation seulement dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS. Ce résultat semble indiquer que le pH de stabilité anaérobie n'a pas été atteint assez rapidement dans cet ensilage pour inhiber la croissance microbienne indésirable compte tenu de sa faible teneur en matière sèche et sa teneur élevée en sucres solubles.
- 2° L'ensilage haché a subi une fermentation plus rapide et plus poussée que l'ensilage non haché quel que soit le stade de récolte mais surtout lors d'une récolte tardive (floraison avancée). Ce résultat semble indiquer que le hachage de la luzerne ensilée en balles rondes est plus utile au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison. Cependant, on a observé une remontée de pH après 42 jours de conservation seulement dans la luzerne récoltée au stade début de floraison et ensilée à 35% MS sans avoir été hachée. Ce résultat indique que c'est dans cet ensilage que le hachage a été le plus utile, puisqu'il a permis l'atteinte plus rapide du pH de stabilité anaérobie (7 jours vs 21 jours) et la stabilisation d'un ensilage qui autrement aurait été instable.
- 3° Au stade début de floraison, le hachage a eu un effet plus marqué sur la fermentation de la luzerne à 55% MS qu'à 35% MS. Ce résultat semble simplement la conséquence du fait qu'une même quantité d'acide lactique permet une baisse de pH d'autant plus prononcée que celui-ci est élevé. De plus, cette amélioration a été obtenue malgré la teneur initiale élevée en sucres solubles (environ 10%), suite à une utilisation peu efficace des sucres libérés par le hachage qui semble due au fait qu'à 55% MS l'activité bactérienne était limitée par le manque d'eau.
- 4° Au stade floraison avancée, le hachage a eu un effet plus marqué sur la fermentation de la luzerne à 35% MS qu'à 55% MS. Ce résultat semble la conséquence d'une augmentation plus marquée de la production d'acide lactique dans l'ensilage à 35% MS que dans celui à 55% MS. De plus, cette amélioration a été obtenue malgré la faible teneur initiale en sucres solubles (environ 6%) grâce à une utilisation efficace des sucres libérés par le hachage qui semble due au fait qu'à 35% MS l'activité bactérienne n'était pas limitée par le manque d'eau.
- 5° La teneur en PB a été plus faible à 55% MS qu'à 35% MS, spécialement au stade floraison avancée, et la teneur en fibres ADF plus élevée à 55% MS qu'à 35% MS seulement au stade floraison avancée. Ce résultat indique que la perte de particules fines lors de la récolte a été légèrement plus grande à 55% MS qu'à 35% MS et que l'effet a été plus prononcé au stade floraison avancée qu'au stade début de floraison.
- 6° La teneur en PB a été plus faible ( $P=0,06$ ) et la teneur en fibres ADF plus élevée ( $P=0,07$ ) dans l'ensilage haché que dans le non haché lors de la mise en silo, mais ces effets ont disparu après 120 jours de conservation. Ce résultat semble indiquer que le hachage de la luzerne avec un système de fléaux a provoqué la perte de particules fines riches en protéines et à faible teneur en fibres.

## **- REMERCIEMENTS -**

Nous tenons à remercier particulièrement le personnel technique de l'IRDA de Deschambault qui a assuré le suivi de l'expérience et le prélèvement des échantillons. Des remerciements vont également au personnel ouvrier du CRSAD impliqué dans ce projet pour le support apporté, principalement lors de la récolte de l'ensilage. Merci aussi au personnel technique du CRSAD qui a effectué les analyses en laboratoire.

## - BIBLIOGRAPHIE -

- Amyot, A. 1995a. Qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes. 1- Influence de la teneur en matière sèche et du délai de mise sous plastique. Rapport final. Projet # R-1105-86-007. Direction de la recherche et du développement, MAPAQ. 42 p.
- Amyot, A. 1995b. Qualité de conservation de l'ensilage de balles rondes. 2- Influence du traitement mécanique du fourrage sur la fermentation. Rapport final. Projet # R-1105-86-007. Direction de la recherche et du développement, MAPAQ. 83 p.
- Amyot, A. 2001. Ensilabilité de la luzerne. Rapport final. Projet # 110104. Institut de recherché et de développement en agroenvironnement. 34 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 # 110102. Institut de recherché et de développement en agroenvironnement. 58 p.
- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. 1990. 15<sup>th</sup> 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.
- Beaulieu, R., J.R. Seoane, P. Savoie, D. Tremblay, G.F. Tremblay et R. Thériault. 1993. Effects of dry-matter content on the nutritive value of individually wrapped round-bale timothy silage fed to sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 73:343-354.
- Cemagref, Institut de l'élevage et Lavoisier Tec et Doc (coéditeurs). 1995. Les matériels de récolte des fourrages, ensilage et distribution. Collection FORMAGRI, vol. 6, 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.
- Lafreniere, 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. Alma et Sherbrooke (17 et 18 novembre), CPVQ; pp. 57-108.
- Leibensperger, R.Y. et R.E. Pitt. 1987. A model of clostridial dominance in silage. *Grass and Forage Science.* 42:297-317.
- Nicholson, J.W.G., R.E. McQueen, E. Charmley et R.S. Bush. 1991. Forage conservation in round bales or silage bags: effect on ensiling characteristics and animal performance. *Can. J. Anim. Sci.* 71:1167-1180.
- Pitt, R.E., R.E. Muck et R.Y. Leibensperger. 1985. A quantitative model of the ensilage process in lactate silages. *Grass and Forage Science.* 40:279-303.
- 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.
- Woolford, M. K. 1984. The silage fermentation. Marcel Dekker Inc. New York. 350 p.



## ANNEXE 1

### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LE pH DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)				
		Durée de conservation (jours)				
		0	7	21	42	120
<b>Stade</b>		<b>(0,017)</b>	<b>(0,049)</b>	<b>(0,020)</b>	<b>(0,020)</b>	<b>(0,023)</b>
	10% Floraison	5,65	5,17	4,80	4,70	4,76
	100% Floraison	5,93	5,58	5,25	5,10	4,98
<b>M.S.</b>		<b>(0,017)</b>	<b>(0,049)</b>	<b>(0,020)</b>	<b>(0,020)</b>	<b>(0,023)</b>
	35	5,77	5,07	4,73	4,65	4,65
	55	5,81	5,68	5,33	5,15	5,10
<b>Hachage</b>		<b>(0,013)</b>	<b>(0,038)</b>	<b>(0,031)</b>	<b>(0,038)</b>	<b>(0,030)</b>
	Long (L)	5,78	5,53	5,23	5,10	5,05
	Haché (H)	5,80	5,21	4,83	4,70	4,69
<b>Stade x M.S.</b>		<b>(0,024)</b>	<b>(0,069)</b>	<b>(0,028)</b>	<b>(0,028)</b>	<b>(0,033)</b>
	10% Flo. x 35	5,61	4,86	4,57	4,48	4,60
	10% Flo. x 55	5,69	5,48	5,04	4,92	4,93
	100% Flo. x 35	5,93	5,28	4,89	4,82	4,70
	100% Flo. x 55	5,93	5,89	5,62	5,39	5,26
<b>Stade x hachage</b>		<b>(0,019)</b>	<b>(0,053)</b>	<b>(0,044)</b>	<b>(0,054)</b>	<b>(0,042)</b>
	10% Flo. x L	5,65	5,29	4,97	4,82	4,93
	10% Flo. x H	5,66	5,04	4,64	4,58	4,60
	100% Flo. x L	5,92	5,78	5,49	5,38	5,18
	100% Flo. x H	5,95	5,38	5,02	4,82	4,78
<b>M.S. x hachage</b>		<b>(0,019)</b>	<b>(0,053)</b>	<b>(0,044)</b>	<b>(0,054)</b>	<b>(0,042)</b>
	35 x L	5,75	5,30	4,95	4,85	4,83
	35 x H	5,79	4,83	4,51	4,45	4,46
	55 x L	5,81	5,77	5,50	5,35	5,28
	55 x H	5,81	5,59	5,15	4,96	4,92
<b>Stade x M.S. x hachage</b>		<b>(0,027)</b>	<b>(0,075)</b>	<b>(0,063)</b>	<b>(0,076)</b>	<b>(0,060)</b>
	10% Flo. x 35 x L	5,60	5,00	4,67	4,55	4,73
	10% Flo. x 35 x H	5,62	4,71	4,46	4,42	4,46
	10% Flo. x 55 x L	5,69	5,58	5,26	5,09	5,13
	10% Flo. x 55 x H	5,69	5,37	4,82	4,75	4,74
	100% Flo. x 35 x L	5,90	5,60	5,22	5,16	4,93
	100% Flo. x 35 x H	5,96	4,95	4,56	4,47	4,47
	100% Flo. x 55 x L	5,93	5,96	5,75	5,61	5,43
	100% Flo. x 55 x H	5,93	5,81	5,49	5,16	5,10

## ANNEXE 2

### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LA TENEUR EN ACIDE LACTIQUE DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)				
		Durée de conservation (jours)				
		0	7	21	42	120
<b>S tade</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,127)</b>	<b>(0,148)</b>	<b>(0,127)</b>	<b>(0,092)</b>
	10% Floraison	0,00	2,33	4,54	5,19	4,58
	100% Floraison	0,00	1,67	2,96	3,40	3,57
<b>M.S.</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,127)</b>	<b>(0,148)</b>	<b>(0,127)</b>	<b>(0,092)</b>
	35	0,00	3,44	5,66	6,20	5,73
	55	0,00	0,57	1,84	2,39	2,42
<b>H achage</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,153)</b>	<b>(0,194)</b>	<b>(0,182)</b>	<b>(0,161)</b>
	Long (L)	0,00	1,43	2,82	3,42	3,21
	Haché (H)	0,00	2,57	4,68	5,18	4,93
<b>S tade x M.S.</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,179)</b>	<b>(0,209)</b>	<b>(0,179)</b>	<b>(0,130)</b>
	10% Flo. x 35	0,00	3,77	6,42	7,14	6,22
	10% Flo. x 55	0,00	0,89	2,66	3,24	2,94
	100% Flo. x 35	0,00	3,10	4,91	5,26	5,24
	100% Flo. x 55	0,00	0,24	1,02	1,54	1,90
<b>S tade x h achage</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,216)</b>	<b>(0,274)</b>	<b>(0,257)</b>	<b>(0,227)</b>
	10% Flo. x L	0,00	1,73	3,51	4,61	3,81
	10% Flo. x H	0,00	2,93	5,56	5,78	5,34
	100% Flo. x L	0,00	1,13	2,13	2,22	2,62
	100% Flo. x H	0,00	2,22	3,80	4,59	4,52
<b>M.S. x h achage</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,216)</b>	<b>(0,274)</b>	<b>(0,257)</b>	<b>(0,227)</b>
	35 x L	0,00	2,54	4,34	5,05	4,62
	35 x H	0,00	4,34	6,98	7,35	6,84
	55 x L	0,00	0,32	1,29	1,78	1,81
	55 x H	0,00	0,81	2,38	3,01	3,03
<b>S tade x M.S. x h achage</b>		<b>(0,00)</b>	<b>(0,306)</b>	<b>(0,388)</b>	<b>(0,364)</b>	<b>(0,321)</b>
	10% Flo. x 35 x L	0,00	2,99	5,29	6,60	5,46
	10% Flo. x 35 x H	0,00	4,54	7,55	7,68	6,97
	10% Flo. x 55 x L	0,00	0,46	1,73	2,62	2,15
	10% Flo. x 55 x H	0,00	1,32	3,58	3,87	3,72
	100% Flo. x 35 x L	0,00	2,08	3,40	3,50	3,77
	100% Flo. x 35 x H	0,00	4,13	6,41	7,02	6,70
	100% Flo. x 55 x L	0,00	0,18	0,86	0,93	1,46
	100% Flo. x 55 x H	0,00	0,31	1,18	2,15	2,33

### ANNEXE 3

#### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LA TENEUR EN ACIDE ACÉTIQUE DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)				
		Durée de conservation (jours)				
		0	7	21	42	120
<b>S tade</b>		<b>(0,005)</b>	<b>(0,010)</b>	<b>(0,037)</b>	<b>(0,066)</b>	<b>(0,034)</b>
	10% Floraison	0,08	0,52	0,79	0,98	1,09
	100% Floraison	0,01	0,41	0,64	0,76	0,87
<b>M.S.</b>		<b>(0,004)</b>	<b>(0,010)</b>	<b>(0,037)</b>	<b>(0,066)</b>	<b>(0,034)</b>
	35	0,04	0,70	1,01	1,23	1,39
	55	0,04	0,22	0,42	0,52	0,57
<b>H achage</b>		<b>(0,009)</b>	<b>(0,017)</b>	<b>(0,037)</b>	<b>(0,063)</b>	<b>(0,056)</b>
	Long (L)	0,04	0,43	0,67	0,82	0,89
	Haché (H)	0,05	0,50	0,76	0,92	1,06
<b>S tade x M.S.</b>		<b>(0,007)</b>	<b>(0,014)</b>	<b>(0,053)</b>	<b>(0,094)</b>	<b>(0,048)</b>
	10% Flo. x 35	0,09	0,80	1,14	1,41	1,58
	10% Flo. x 55	0,08	0,24	0,45	0,56	0,59
	100% Flo. x 35	0,00	0,61	0,88	1,05	1,19
	100% Flo. x 55	0,01	0,21	0,40	0,48	0,54
<b>S tade x h achage</b>		<b>(0,013)</b>	<b>(0,024)</b>	<b>(0,052)</b>	<b>(0,089)</b>	<b>(0,080)</b>
	10% Flo. x L	0,08	0,43	0,66	0,89	0,96
	10% Flo. x H	0,08	0,61	0,92	1,07	1,21
	100% Flo. x L	0,01	0,43	0,67	0,75	0,83
	100% Flo. x H	0,01	0,38	0,61	0,77	0,91
<b>M.S. x h achage</b>		<b>(0,013)</b>	<b>(0,024)</b>	<b>(0,052)</b>	<b>(0,089)</b>	<b>(0,080)</b>
	35 x L	0,04	0,67	0,93	1,17	1,28
	35 x H	0,05	0,74	1,09	1,29	1,49
	55 x L	0,05	0,19	0,40	0,48	0,51
	55 x H	0,04	0,26	0,44	0,56	0,62
<b>S tade x M.S. x h achage</b>		<b>(0,018)</b>	<b>(0,034)</b>	<b>(0,074)</b>	<b>(0,126)</b>	<b>(0,113)</b>
	10% Flo. x 35 x L	0,07	0,67	1,01	1,34	1,47
	10% Flo. x 35 x H	0,10	0,93	1,27	1,48	1,69
	10% Flo. x 55 x L	0,08	0,19	0,32	0,45	0,45
	10% Flo. x 55 x H	0,07	0,29	0,57	0,67	0,74
	100% Flo. x 35 x L	0,00	0,67	0,85	1,00	1,09
	100% Flo. x 35 x H	0,00	0,55	0,91	1,09	1,30
	100% Flo. x 55 x L	0,01	0,20	0,48	0,51	0,57
	100% Flo. x 55 x H	0,01	0,22	0,31	0,44	0,51

## ANNEXE 4

### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LA TENEUR EN AZOTE AMMONIACAL (EQ. P.B.) DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)				
		Durée de conservation (jours)				
		0	7	21	42	120
<b>S tade</b>		<b>(0,018)</b>	<b>(0,026)</b>	<b>(0,042)</b>	<b>(0,088)</b>	<b>(0,037)</b>
	10% Floraison	0,33	1,16	1,55	1,62	1,78
	100% Floraison	0,51	1,43	1,72	1,83	1,84
<b>M .S.</b>		<b>(0,018)</b>	<b>(0,026)</b>	<b>(0,042)</b>	<b>(0,088)</b>	<b>(0,037)</b>
	35	0,46	1,63	2,02	2,08	2,29
	55	0,38	0,95	1,24	1,36	1,33
<b>H achage</b>		<b>(0,016)</b>	<b>(0,034)</b>	<b>(0,061)</b>	<b>(0,071)</b>	<b>(0,036)</b>
	Long (L)	0,41	1,36	1,76	1,84	1,92
	Haché (H)	0,43	1,23	1,51	1,60	1,71
<b>S tade x M.S.</b>		<b>(0,025)</b>	<b>(0,037)</b>	<b>(0,060)</b>	<b>(0,124)</b>	<b>(0,053)</b>
	10% Flo. x 35	0,33	1,39	1,88	1,92	2,31
	10% Flo. x 55	0,32	0,92	1,22	1,31	1,25
	100% Flo. x 35	0,58	1,88	2,17	2,25	2,27
	100% Flo. x 55	0,44	0,99	1,27	1,41	1,42
<b>S tade x h achage</b>		<b>(0,023)</b>	<b>(0,048)</b>	<b>(0,087)</b>	<b>(0,101)</b>	<b>(0,052)</b>
	10% Flo. x L	0,29	1,13	1,57	1,67	1,85
	10% Flo. x H	0,36	1,18	1,52	1,56	1,71
	100% Flo. x L	0,53	1,58	1,95	2,01	1,98
	100% Flo. x H	0,49	1,28	1,49	1,65	1,71
<b>M .S. x h achage</b>		<b>(0,023)</b>	<b>(0,048)</b>	<b>(0,087)</b>	<b>(0,101)</b>	<b>(0,052)</b>
	35 x L	0,43	1,78	2,25	2,28	2,50
	35 x H	0,49	1,49	1,79	1,89	2,08
	55 x L	0,40	0,94	1,27	1,40	1,33
	55 x H	0,36	0,97	1,22	1,32	1,33
<b>S tade x M.S. x h achage</b>		<b>(0,033)</b>	<b>(0,068)</b>	<b>(0,123)</b>	<b>(0,143)</b>	<b>(0,073)</b>
	10% Flo. x 35 x L	0,29	1,42	1,96	2,02	2,52
	10% Flo. x 35 x H	0,38	1,38	1,79	1,81	2,10
	10% Flo. x 55 x L	0,29	0,85	1,19	1,31	1,19
	10% Flo. x 55 x H	0,35	0,98	1,25	1,31	1,31
	100% Flo. x 35 x L	0,56	2,15	2,54	2,54	2,48
	100% Flo. x 35 x H	0,60	1,60	1,79	1,96	2,06
	100% Flo. x 55 x L	0,50	1,02	1,35	1,48	1,48
	100% Flo. x 55 x H	0,38	0,96	1,19	1,33	1,35

## ANNEXE 5

### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LA TENEUR EN SUCRES SOLUBLES DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)				
		Durée de conservation (jours)				
		0	7	21	42	120
<b>S tade</b>		<b>(0,082)</b>	<b>(0,159)</b>	<b>(0,246)</b>	<b>(0,205)</b>	<b>(0,095)</b>
	10% Floraison	10,00	7,10	5,28	5,03	4,38
	100% Floraison	6,46	5,25	4,67	4,40	3,85
<b>M .S.</b>		<b>(0,082)</b>	<b>(0,159)</b>	<b>(0,246)</b>	<b>(0,205)</b>	<b>(0,095)</b>
	35	7,63	4,15	2,69	2,37	2,00
	55	8,83	8,19	7,25	7,07	6,23
<b>H achage</b>		<b>(0,064)</b>	<b>(0,157)</b>	<b>(0,217)</b>	<b>(0,295)</b>	<b>(0,190)</b>
	Long (L)	8,26	6,41	5,24	5,06	4,60
	Haché (H)	8,19	5,93	4,70	4,37	3,63
<b>S tade x M.S.</b>		<b>(0,116)</b>	<b>(0,224)</b>	<b>(0,348)</b>	<b>(0,290)</b>	<b>(0,135)</b>
	10% Flo. x 35	9,61	5,20	2,93	2,48	2,22
	10% Flo. x 55	10,38	9,00	7,62	7,58	6,55
	100% Flo. x 35	5,66	3,11	2,46	2,26	1,78
	100% Flo. x 55	7,27	7,39	6,89	6,55	5,91
<b>S tade x h achage</b>		<b>(0,090)</b>	<b>(0,222)</b>	<b>(0,307)</b>	<b>(0,418)</b>	<b>(0,269)</b>
	10% Flo. x L	10,18	7,86	5,91	5,65	5,16
	10% Flo. x H	9,82	6,33	4,65	4,41	3,61
	100% Flo. x L	6,36	4,97	4,58	4,48	4,05
	100% Flo. x H	6,57	5,53	4,76	4,33	3,64
<b>M .S. x h achage</b>		<b>(0,090)</b>	<b>(0,222)</b>	<b>(0,307)</b>	<b>(0,418)</b>	<b>(0,269)</b>
	35 x L	7,85	4,62	2,93	2,84	2,35
	35 x H	7,42	3,69	2,46	1,90	1,64
	55 x L	8,68	8,21	7,56	7,29	6,86
	55 x H	8,97	8,18	6,95	6,84	5,61
<b>S tade x M.S. x h achage</b>		<b>(0,127)</b>	<b>(0,314)</b>	<b>(0,435)</b>	<b>(0,591)</b>	<b>(0,380)</b>
	10% Flo. x 35 x L	9,88	6,13	3,17	3,11	2,57
	10% Flo. x 35 x H	9,34	4,26	2,68	1,86	1,87
	10% Flo. x 55 x L	10,47	9,59	8,64	8,20	7,75
	10% Flo. x 55 x H	10,30	8,41	6,61	6,97	5,35
	100% Flo. x 35 x L	5,82	3,10	2,68	2,56	2,13
	100% Flo. x 35 x H	5,50	3,11	2,23	1,95	1,42
	100% Flo. x 55 x L	6,90	6,84	6,48	6,39	5,96
	100% Flo. x 55 x H	7,64	7,94	7,29	6,72	5,87

## ANNEXE 6

### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LE RAPPORT « ACIDE LACTIQUE / ACIDE ACÉTIQUE » DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)				
		Durée de conservation (jours)				
		0	7	21	42	120
<b>S tade</b>		<b>(0,046)</b>	<b>(0,269)</b>	<b>(0,199)</b>	<b>(0,241)</b>	<b>(0,218)</b>
	10% Floraison	0,14	4,11	5,76	5,54	4,44
	100% Floraison	0,88	3,24	4,21	4,21	4,00
<b>M.S.</b>		<b>(0,046)</b>	<b>(0,269)</b>	<b>(0,199)</b>	<b>(0,241)</b>	<b>(0,218)</b>
	35	0,57	4,99	5,62	5,11	4,16
	55	0,46	2,36	4,35	4,64	4,27
<b>H achage</b>		<b>(0,075)</b>	<b>(0,241)</b>	<b>(0,262)</b>	<b>(0,259)</b>	<b>(0,171)</b>
	Long (L)	0,52	2,75	4,19	4,20	3,68
	Haché (H)	0,51	4,60	5,78	5,54	4,76
<b>S tade x M.S.</b>		<b>(0,065)</b>	<b>(0,381)</b>	<b>(0,281)</b>	<b>(0,341)</b>	<b>(0,309)</b>
	10% Flo. x 35	0,13	4,65	5,68	5,21	3,96
	10% Flo. x 55	0,16	3,57	5,83	5,87	4,92
	100% Flo. x 35	1,00	5,34	5,56	5,00	4,37
	100% Flo. x 55	0,76	1,15	2,87	3,41	3,63
<b>S tade x h achage</b>		<b>(0,105)</b>	<b>(0,340)</b>	<b>(0,371)</b>	<b>(0,366)</b>	<b>(0,241)</b>
	10% Flo. x L	0,15	3,50	5,39	5,58	4,28
	10% Flo. x H	0,14	4,71	6,12	5,50	4,60
	100% Flo. x L	0,89	2,00	2,99	2,82	3,07
	100% Flo. x H	0,88	4,48	5,44	5,59	4,92
<b>M.S. x h achage</b>		<b>(0,105)</b>	<b>(0,340)</b>	<b>(0,371)</b>	<b>(0,366)</b>	<b>(0,241)</b>
	35 x L	0,57	3,77	4,71	4,40	3,64
	35 x H	0,56	6,21	6,53	5,82	4,69
	55 x L	0,46	1,74	3,67	4,01	3,71
	55 x H	0,46	2,98	5,03	5,27	4,83
<b>S tade x M.S. x h achage</b>		<b>(0,149)</b>	<b>(0,481)</b>	<b>(0,524)</b>	<b>(0,518)</b>	<b>(0,341)</b>
	10% Flo. x 35 x L	0,14	4,43	5,40	5,24	3,77
	10% Flo. x 35 x H	0,12	4,87	5,97	5,18	4,15
	10% Flo. x 55 x L	0,15	2,58	5,39	5,93	4,79
	10% Flo. x 55 x H	0,16	4,55	6,28	5,81	5,06
	100% Flo. x 35 x L	1,00	3,12	4,02	3,56	3,51
	100% Flo. x 35 x H	1,00	7,56	7,10	6,45	5,23
	100% Flo. x 55 x L	0,78	0,89	1,96	2,09	2,64
	100% Flo. x 55 x H	0,75	1,41	3,78	4,73	4,61

## ANNEXE 7

### SOMMAIRE DES MOYENNES ET ERREURS TYPES POUR LES TENEURS EN PROTÉINES BRUTES ET EN FIBRES PAR DÉTERGENT ACIDE DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

Variables	Niveaux	Moyennes et (erreurs types)			
		Protéines brutes		Fibres par détergent acide	
		0 jour	120 jours	0 jour	120 jours
<b>S tade</b>		<b>(0,192)</b>	<b>(0,104)</b>	<b>(0,226)</b>	<b>(0,403)</b>
	10% Floraison	19,22	19,76	33,24	32,48
	100% Floraison	16,08	15,53	44,02	41,12
<b>M .S.</b>		<b>(0,192)</b>	<b>(0,104)</b>	<b>(0,226)</b>	<b>(0,403)</b>
	35	17,98	18,47	38,78	36,37
	55	17,32	16,83	38,49	37,23
<b>H achage</b>		<b>(0,259)</b>	<b>(0,171)</b>	<b>(0,522)</b>	<b>(0,778)</b>
	Long (L)	18,04	17,84	37,85	36,55
	Haché (H)	17,25	17,45	39,42	37,05
<b>S tade x M.S.</b>		<b>(0,271)</b>	<b>(0,148)</b>	<b>(0,320)</b>	<b>(0,569)</b>
	10% Flo. x 35	19,57	20,10	33,77	32,92
	10% Flo. x 55	18,87	19,42	32,72	32,05
	100% Flo. x 35	16,38	16,83	43,78	39,82
	100% Flo. x 55	15,77	14,23	44,27	42,42
<b>S tade x h achage</b>		<b>(0,366)</b>	<b>(0,242)</b>	<b>(0,738)</b>	<b>(1,100)</b>
	10% Flo. x L	19,57	19,92	32,47	31,88
	10% Flo. x H	18,87	19,60	34,02	33,08
	100% Flo. x L	16,52	15,77	43,23	41,22
	100% Flo. x H	15,63	15,30	44,82	41,02
<b>M .S. x h achage</b>		<b>(0,366)</b>	<b>(0,242)</b>	<b>(0,738)</b>	<b>(1,100)</b>
	35 x L	18,60	18,78	37,57	35,77
	35 x H	17,35	18,15	39,98	36,97
	55 x L	17,48	16,90	38,13	37,33
	55 x H	17,15	16,75	38,85	37,13
<b>S tade x M.S. x h achage</b>		<b>(0,518)</b>	<b>(0,342)</b>	<b>(1,044)</b>	<b>(1,556)</b>
	10% Flo. x 35 x L	20,00	20,30	32,60	31,97
	10% Flo. x 35 x H	19,13	19,90	34,93	33,87
	10% Flo. x 55 x L	19,13	19,53	32,33	31,80
	10% Flo. x 55 x H	18,60	19,30	33,10	32,30
	100% Flo. x 35 x L	17,20	17,27	42,53	39,57
	100% Flo. x 35 x H	15,57	16,40	45,03	40,07
	100% Flo. x 55 x L	15,83	14,27	43,93	42,87
	100% Flo. x 55 x H	15,70	14,20	44,60	41,97

## ANNEXE 8

### SOMMAIRE DE L'ANALYSE DE VARIANCE POUR LE pH DE L'ENSILAGE DE LUZERNE

#### A- Analyse globale

Source	d. l. num. /dén.	F	P > F
Stade	1/6	205,49	<0,0001
Matière sèche (MS)	1/6	323,33	<0,0001
Stade x MS	1/6	4,56	0,0767
Bloc	2/6	0,04	0,9649
Hachage	1/8	65,48	<0,0001
Stade x Hachage	1/8	3,18	0,1123
MS x Hachage	1/8	1,02	0,3423
Stade x MS x Hachage	1/8	5,68	0,0443
Temps <sup>1</sup>	4/24	727,91	<0,0001
Temps x Stade <sup>1</sup>	4/24	7,89	0,0003
Temps x MS <sup>1</sup>	4/24	43,97	<0,0001
Temps x Stade x MS <sup>1</sup>	4/24	4,40	0,0083
Temps x Bloc <sup>1</sup>	8/24	0,81	0,5986
Temps x Hachage <sup>1</sup>	4/32	37,62	<0,0001
Temps x Stade x Hachage <sup>1</sup>	4/32	5,05	0,0029
Temps x MS x Hachage	4/32	5,14	0,0026
Temps x Stade x MS x Hachage	4/32	4,88	0,0034

<sup>1</sup> Selon une analyse de variance univariée.

## ANNEXE 8 (suite)

### B- Analyse à chaque période

Source	d. l. num. /dén.	Jour 0		Jour 7		Jour 21		Jour 42		Jour 120	
		F	P > F	F	P > F	F	P > F	F	P > F	F	P > F
Stade	1/6	134,08	<0,0001	36,53	0,0009	254,95	<0,0001	197,28	<0,0001	42,91	0,0006
Matière sèche (MS)	1/6	2,87	0,1413	80,11	0,0001	450,31	<0,0001	314,72	<0,0001	184,35	<0,0001
Stade x MS	1/6	2,87	0,1413	0,01	0,9352	20,93	0,0038	5,37	0,0597	11,82	0,0138
Bloc	2/6	0,73	0,5115	0,37	0,6988	0,26	0,7788	0,04	0,9622	0,55	0,5966
Hachage	1/8	1,04	0,3387	37,68	0,0003	78,83	<0,0001	54,56	<0,0001	73,68	<0,0001
Stade x Hachage	1/8	0,33	0,5810	1,78	0,2188	2,31	0,1669	9,23	0,0161	0,53	0,4881
MS x Hachage	1/8	1,22	0,3009	7,55	0,0252	0,00	0,3489	0,02	0,8930	0,02	0,8940
Stade x MS x Hachage	1/8	0,24	0,6396	3,85	0,0853	13,13	0,0068	4,33	0,0790	2,17	0,1789

## ANNEXE 9

### SOMMAIRE DE L'ANALYSE DE VARIANCE POUR LES AUTRES PARAMÈTRES DE LA FERMENTATION DE L'ENSILAGE DE LUZERNE APRÈS 120 JOURS DE CONSERVATION

Source	d. l. num. /dén.	Acide lactique		Acide acétique		Azote ammoniacal		Sucres solubles		Acide lactique / acide acétique	
		F	P > F	F	P > F	F	P > F	F	P > F	F	P > F
Stade	1/6	59,93	0,0002	21,03	0,0037	1,40	0,2811	15,96	0,0072	2,06	0,2013
Matière sèche (MS)	1/6	647,93	<0,0001	290,49	<0,0001	329,77	<0,0001	983,63	<0,0001	0,13	0,7345
Stade x MS	1/6	0,05	0,8252	11,86	0,0137	3,90	0,0958	0,50	0,5043	7,62	0,0328
Bloc	2/6	0,04	0,9565	0,06	0,9385	1,59	0,2618	0,36	0,7114	0,11	0,8929
Hachage	1/8	57,11	<0,0001	4,22	0,0739	16,33	0,0037	13,25	0,0066	20,34	0,0020
Stade x Hachage	1/8	0,64	0,4474	1,15	0,3140	1,47	0,2600	4,57	0,0650	10,07	0,0131
MS x Hachage	1/8	4,80	0,0598	0,38	0,5554	16,33	0,0037	1,02	0,3428	0,02	0,8910
Stade x MS x Hachage	1/8	5,47	0,0475	1,15	0,3140	1,47	0,2600	4,68	0,0625	0,13	0,7249

**ANNEXE 10**

**SOMMAIRE DE L'ANALYSE DE VARIANCE POUR LES TENEURS EN PROTÉINES BRUTES ET EN FIBRES PAR DÉTERGENT ACIDE DE L'ENSILAGE DE LUZERNE**

Source	d. l. num. /dén.	Protéines brutes				Fibres par détergent acide			
		0 jour		120 jours		0 jour		120 jours	
		F	P > F	F	P > F	F	P > F	F	P > F
Stade	1/6	134,08	<0,0001	819,50	<0,0001	1133,67	<0,0001	229,88	<0,0001
Matière sèche (MS)	1/6	5,89	0,0514	123,73	<0,0001	0,78	0,4104	2,32	0,0169
Stade x MS	1/6	0,02	0,8830	42,16	0,0006	5,73	0,0537	9,27	0,0030
Bloc	2/6	2,15	0,1786	0,21	0,8168	2,78	0,1214	0,81	0,4778
Hachage	1/8	4,68	0,0626	2,62	0,1442	4,50	0,0666	0,21	0,3898
Stade x Hachage	1/8	0,06	0,8086	0,10	0,7645	0,00	0,9825	0,41	0,5423
MS x Hachage	1/8	1,57	0,2460	1,00	0,3471	1,33	0,2828	0,41	0,5423
Stade x MS x Hachage	1/8	0,63	0,4486	0,43	0,5312	0,01	0,9303	0,00	1,0000