

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

RENDEMENT ET VALEUR NUTRITIVE DE MÉLANGES FOURRAGERS
COMPLEXES À BASE DE LUZERNE ET DE 3 OU 4 GRAMINÉES
STOCKÉS SUR PIED DANS LES CONDITIONS DE L'EST DU CANADA

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE SUR MESURE EN AGROALIMENTAIRE

PAR
MATHIEU LAPLANTE

MAI 2018



BIBLIOTHÈQUE

Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Mise en garde

La bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue a obtenu l'autorisation de l'auteur de ce document afin de diffuser, dans un but non lucratif, une copie de son œuvre dans Depositum, site d'archives numériques, gratuit et accessible à tous.

L'auteur conserve néanmoins ses droits de propriété intellectuelle, dont son droit d'auteur, sur cette œuvre. Il est donc interdit de reproduire ou de publier en totalité ou en partie ce document sans l'autorisation de l'auteur.

Warning

The library of the Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue and the Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue obtained the permission of the author to use a copy of this document for non-profit purposes in order to put it in the open archives Depositum, which is free and accessible to all.

The author retains ownership of the copyright on this document. Neither the whole document, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier avec gratitude ma directrice, Dre Carole Lafrenière, avec qui j'ai appris les rudiments de la recherche dans le domaine des plantes fourragères. Ta rigueur au travail et ton expérience m'auront permis d'évoluer comme étudiant, et surtout, comme futur agronome. Merci également à mes codirecteurs, Dr Robert Berthiaume et Julie Lajeunesse, de m'avoir éclairé dans ce long cheminement, de même qu'aux membres du comité d'évaluation, Dr Philippe Seguin et Dr Gaëtan Tremblay, qui m'ont permis de bonifier ce mémoire grâce à leur judicieux commentaires.

Je voudrais aussi remercier toutes les personnes qui ont travaillé de près ou de loin sur ce beau projet qui est devenu le mien ... à Marie-Andrée Sylvestre et à Frédérick Marcotte qui m'ont initié au travail en laboratoire ; à Camille Guay pour les innombrables heures passées au champ et en sarrau (et sur la route !) ; à l'équipe de l'Université de Guelph à New Liskeard, notamment à John Kobler qui a su teinter nos projets de son ingéniosité ; aux équipes des fermes expérimentales de Normandin et de Nappan qui ont recueilli les données et réalisé certaines analyses chimiques de manière irréprochable ainsi qu'à toutes les personnes formidables que j'ai côtoyées durant mes trois années à la Station de recherche agroalimentaire de l'Abitibi-Témiscamingue. J'y ai développé un fort sentiment d'appartenance et en serai toujours un ardent promoteur. Je suis convaincu, plus que jamais, que cette structure est essentielle au développement agricole de notre belle région.

Je ne pourrais passer sous silence le grand support de mes parents, Chantal et Alain, et de ma marraine, Lorraine, tout au long de mes études universitaires. L'accès au savoir est le plus beau des cadeaux qu'on puisse offrir !

Finalement, ce projet n'aurait pu voir le jour sans la contribution des différents partenaires financiers: Les Producteurs de Bœuf du Québec, La Fondation de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'organisme Agriculture Nordique axée sur la Production Bovine.

AVANT-PROPOS

Dans le cadre de cette étude sur les mélanges complexes stockés sur pied, j'ai eu l'opportunité de contribuer à plusieurs étapes de la réalisation d'un projet dans le domaine des plantes fourragères.

À l'été 2014, alors stagiaire à la Station de recherche en agroalimentaire de l'Abitibi-Témiscamingue, j'ai procédé à des tests de germination et à la préparation des sachets de semences pour l'implantation des parcelles expérimentales.

En 2015 et 2016, j'ai été initié au travail avec des parcelles au site de New Liskeard. J'y ai effectué les récoltes pour la matière sèche et la composition botanique. Pour la matière sèche, j'ai participé à la moulange d'une partie des échantillons, alors que pour la composition botanique, j'ai séparé manuellement les différentes espèces végétales contenues dans les mélanges pour en connaître les proportions relatives.

En 2016 et 2017, j'ai balayé au spectromètre les échantillons de tous les sites et j'ai ensuite réalisé la plupart des analyses chimiques en laboratoire (aNDF, ADF, lignine, cendres, sucres solubles et MS analytique). Finalement, j'ai élaboré les équations de prédictions des attributs de valeur nutritive et préparé le fichier de données nécessaire aux analyses statistiques qui ont été réalisées par Mme Michèle Grenier de l'Institut de recherche et de développement en agroalimentaire (IRDA). Avec l'aide de ma directrice Carole Lafrenière, j'ai par la suite interprété les résultats obtenus de manière à répondre aux objectifs fixés initialement. D'ailleurs, un article de vulgarisation rapportant les principaux résultats des sites de New Liskeard et de Normandin est paru dans la revue Bovins du Québec en novembre 2017.

Finalement, en mai 2018, j'ai eu le privilège de présenter quelques-uns de mes résultats de recherche à un groupe de producteurs bovins et d'intervenants du milieu agricole à l'occasion d'un webinaire portant sur les pâturages d'automne.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES APPENDICES	xiii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xiv
RÉSUMÉ	xvi
CHAPITRE 1	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2	
REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
2.1 Techniques de prolongation de la saison de paissance.....	3
2.1.1 Pâturage en andains.....	3
2.1.2 Pâturage sur balles.....	5
2.1.3 Pâturage des stocks sur pied.....	6
2.2 Éléments de gestion des pâturages stockés sur pied.....	8
2.2.1 Initiation de la période d'accumulation.....	8
2.2.2 Moment de la paissance	9
2.2.3 Fertilisation azotée	11
2.3 Espèces et mélanges utilisés pour le stockage sur pied.....	12
2.3.1 Alpiste roseau.....	12
2.3.2 Brome des prés.....	13
2.3.3 Brome inerme.....	14

2.3.4	Dactyle aggloméré	16
2.3.5	Festulolium.....	17
2.3.6	Fétuque élevée.....	19
2.3.7	Fétuque rouge traçante	22
2.3.8	Fléole des prés.....	23
2.3.9	Luzerne.....	23
2.3.10	Pâturin des prés	25
2.3.11	Mélanges simples	26
2.3.12	Mélanges complexes	27
2.4	Persistance des peuplements	29
2.5	Facteurs environnementaux.....	31
2.6	Valorisation des fourrages stockés sur pied	32
2.7	Équilibre des apports protéiques et énergétiques	33
2.8	Paissance simulée mécaniquement vs paissance animale réelle.....	34
2.9	Objectifs et hypothèses de recherche	36
2.9.1	Objectifs et hypothèses principaux	36
2.9.2	Objectifs et hypothèses secondaires.....	37
CHAPITRE 3		
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....		38
3.1	Implantation et exploitation des parcelles expérimentales.....	38
3.2	Composition botanique.....	39
3.3	Rendement en matière sèche	40
3.4	Analyses des attributs de valeur nutritive.....	41

3.5	Analyses statistiques.....	44
3.5.1	Analyses statistiques des mélanges et systèmes estivaux.....	44
3.5.2	Analyses statistiques du fourrage stocké sur pied.....	45
3.6	Présentation des résultats de recherche	46
CHAPITRE 4		
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....		
4.1	Données météorologiques	47
4.2	Rendement en matière sèche	48
4.2.1	Rendements en matière sèche du fourrage des systèmes estivaux.....	48
4.2.2	Rendement en matière sèche du fourrage des systèmes de stockage sur pied.....	50
4.3	Valeur nutritive.....	54
4.3.1	Valeur nutritive du fourrage des systèmes estivaux.....	54
4.3.2	Valeur nutritive du fourrage des systèmes de stockage sur pied	57
4.4	Rendement en unités nutritives totales.....	60
4.4.1	Rendement en unités nutritives totales du fourrage des systèmes estivaux	61
4.4.2	Rendement en unités nutritives totales du fourrage des systèmes de stockage sur pied.....	63
4.5	Valorisation des fourrages.....	67
4.5.1	Valorisation du fourrage des systèmes estivaux	68
4.5.2	Valorisation du fourrage des systèmes de stockage sur pied.....	69
4.6	Limites du projet	70

CONCLUSIONS.....	71
Systèmes estivaux.....	71
Stockage sur pied.....	72
APPENDICE A	
Équilibre des apports protéiques et énergétiques	109
APPENDICE B	
Les teneurs en lignine dans les mélanges complexes.....	118
RÉFÉRENCES.....	123

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
3.1	Espèces, cultivars et dose de semis des différents mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées.....	75
3.2	Dates de récoltes des systèmes fourragers estivaux (Ensilage vs Foin) et des paissances simulées (Septembre vs Octobre) des parcelles stockées sur pied pour les années 2015 et 2016 aux sites de Nappan, New Liskeard et Normandin.....	76
3.3	Fertilisation des parcelles stockées sur pied selon le système de gestion estival pour les années 2015 et 2016 aux sites de Nappan, Normandin et New Liskeard.....	77
3.4	Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées à la coupe de juin (système Ensilage) ou de juillet (système Foin) pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	78
3.5	Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote appliquées au début de la mise en réserve, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée pour les années 2015 et 2016 au site de Nappan.....	79
3.6	Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote appliquées au début de la mise en réserve, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée pour les années 2015 et 2016 au site de New Liskeard.....	80
3.7	Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote appliquées au début de la mise en réserve, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée pour les années 2015 et 2016 au site de Normandin.....	81
3.8	Statistiques de performance de la spectroscopie de réflectance dans le visible et le proche infrarouge pour prédire la concentration des attributs de valeur nutritive (g kg^{-1} MS) du groupe d'échantillons de validation des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées récoltés en été et en automne.....	82

3.9	Attributs de valeur nutritive moyens du fourrage en fonction du mode de gestion des coupes estivales et des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées cultivés aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan en 2015 et 2016.....	83
3.10	Attributs de valeur nutritive moyens du fourrage en fonction de deux périodes d'initiation du stockage sur pied et de deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	84
3.11	Attributs de valeur nutritive moyens du fourrage en fonction de deux doses d'azote, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	85
4.1	Températures mensuelles moyennes et précipitations mensuelles totales durant les saisons de croissance 2014 à 2016, et moyennes de plusieurs années antérieures, aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan....	86
4.2	Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha ⁻¹) en fonction du système de gestion des coupes estivales et des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées cultivés aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan en 2015 et 2016.....	87
4.3	Analyse de variance rapportant les effets des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées et des années d'exploitation sur les rendements en matière sèche (kg MS ha ⁻¹) aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	88
4.4	Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha ⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	89
4.5	Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha ⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des doses de fertilisation azotée appliquées à la mise en réserve et des périodes d'initiation du stockage sur pied pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	90

4.6	Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha ⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des quatre périodes d'accumulation pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	91
4.7	Rendements en matière sèche (kg MS ha ⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux périodes d'initiation du stockage sur pied pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	92
4.8	Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg ⁻¹ MS) des fourrages en fonction du système de gestion des coupes estivales et des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	93
4.9	Analyse de variance rapportant les effets des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées et des années d'exploitation sur la valeur nutritive (g UNT kg ⁻¹ MS) du fourrage aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	94
4.10	Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg ⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées à la mise en réserve et des deux périodes d'initiation du stockage sur pied au site de New Liskeard.....	95
4.11	Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg ⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux doses d'azote appliquées à la mise en réserve et de deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	96
4.12	Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg ⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux doses d'azote appliquées à la mise en réserve, de deux périodes d'initiation du stockage sur pied et de deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	97
4.13	Valeur nutritive (g UNT kg ⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux périodes d'initiation du stockage sur pied au site de Nappan pour les années 2015 et 2016.....	98

4.14	Valeur nutritive (g UNT kg ⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux doses d'azote appliquées au moment de la mise en réserve au site de New Liskeard pour les années 2015 et 2016.....	99
4.15	Rendements moyens en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha ⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées et exploités selon deux mode de gestion des coupes estivales pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.	100
4.16	Analyse de variance rapportant les effets des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées et des années d'exploitation sur le rendement en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha ⁻¹) aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	101
4.17	Rendements moyens en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha ⁻¹) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées au début de la période de stockage et des deux périodes d'initiation du stockage sur pied aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	102
4.18	Rendements moyens en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha ⁻¹) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées en début de stockage, des deux périodes d'initiation du stockage sur pied et des deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	103
4.19	Rendements en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha ⁻¹) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux périodes d'initiation du stockage sur pied aux sites de New Liskeard et Nappan pour les années 2015 et 2016.....	104

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
4.1	Capacité des systèmes fourragers estivaux en 2015 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	105
4.2	Capacité des systèmes fourragers estivaux en 2016 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	106
4.3	Capacité des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées stockés sur pied selon quatre périodes d'accumulation en 2015 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	107
4.4	Capacité des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées stockés sur pied selon quatre périodes d'accumulation en 2016 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.....	108

LISTE DES APPENDICES

Appendice	Page
A Équilibre des apports protéiques et énergétiques du fourrage des systèmes de stockage sur pied.....	109
B Les teneurs en lignine dans les mélanges complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées.....	119

LISTE DES ABRÉVIATIONS

°C	Degré Celsius
%	Pour cent
AAC	Agriculture et Agroalimentaire Canada
ADF	Fibres insolubles au détergent acide
aNDF	Fibres insolubles au détergent neutre extraites en utilisant l'amylase
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
B	Bore
cm	Centimètre
dl	Degré(s) de liberté
DVMS	Digestibilité vraie de la matière sèche mesurée <i>in vitro</i> après 48 heures d'incubation avec du liquide ruminal.
EE	Extrait étheré
ET	Écart-type
<i>et al.</i>	Et les autres
ETM	Écart-type de la moyenne
ETP(C)	Erreur type de prédiction corrigée pour le biais
GMQ	Gain moyen quotidien
GNF	Glucides non fibreux
GS	Graminées semées
g	Gramme
h	Heure
ha	Hectare
K	Potassium
kg	Kilogramme
L	Luzerne
Mcal	Mégacalorie
mm	Millimètre
MAAARO	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

MH	Mauvaises herbes
MM	Matériel mort
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
N	Azote
n	Nombre d'échantillons
NDF	Fibres insolubles au détergent neutre
NDFd	Digestibilité <i>in vitro</i> de la fibre insoluble au détergent neutre après 48 heures d'incubation avec du liquide ruminal suivi d'un rinçage au détergent neutre
NS	Non significatif
<i>P</i>	Probabilité
P	Phosphore
PB	Protéines brutes
PBNDF	Protéines brutes liées à la fibre NDF
PB:SS	Ratio entre les teneurs en protéines brutes et en sucres solubles
REA	Règlement sur les exploitations agricoles
RDP	Ratio de déviation de la prédiction
S	Soufre
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
SS	Sucres solubles à l'eau
UNT	Unités nutritives totales
µg	Microgramme
VNIRS	Spectroscopie de réflectance dans le visible et le proche infrarouge

RÉSUMÉ

Le stockage sur pied des fourrages (« *stockpiling* ») est une technique intéressante pour allonger la saison de paissance des bovins de boucherie à l'automne et ainsi diminuer les dépenses reliées à leur alimentation. L'objectif de cette étude était de déterminer le système de production de fourrages (fertilisation azotée, moment d'initiation du stockage, moment de paissance automnale et mélanges fourragers complexes) permettant d'utiliser adéquatement cette technique sous nos conditions. Cette étude a été réalisée à trois sites dans l'Est du Canada avec des parcelles expérimentales et des paissances simulées à l'automne par des récoltes mécaniques. Les cinq mélanges complexes étaient composés de 3 à 4 graminées parmi les suivantes: alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L. « Bellevue »), brome des prés (*Bromus riparius* Rehm. « Fleet »), dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*, L. « Bardiana »), fétuque des prés (*Festuca pratensis* L. « Laura »), fétuque élevée (*Festuca, arundinacea* Schreb. « Barolex »), fétuque rouge traçante (*Festuca rubra* L. « Boréal ») et fléole des prés (*Phleum pratense* L. « Ovation »). Chacun des cinq mélanges contenait un type de luzerne à pâturage (*Medicago sativa* L. « CRS 1001 »). Les parcelles ont été semées en 2014. Durant les deux premières années d'exploitation (2015 et 2016), les cinq mélanges ont été soumis à deux systèmes d'exploitation en période estivale: une coupe en juillet (système foin) ou deux coupes en juin et août (système ensilage). Dépendamment du système d'exploitation en été, la fertilisation azotée (0 ou 50 kg N ha⁻¹) a été appliquée en juillet (suivant l'unique coupe du système foin) ou en août (suivant la deuxième coupe du système ensilage). Quatre périodes de stockage ont été testées, débutant en juillet ou en août selon le système estival et se terminant à la fin de septembre avant un gel mortel ou en octobre après le premier gel mortel (juillet-septembre, juillet-octobre, août-septembre, août-octobre). À chacune des récoltes estivales et des paissances simulées automnales, le rendement en matière sèche a été déterminé ainsi que la valeur nutritive via le calcul des Unités Nutritives Totales (UNT). Les UNT ont été utilisées afin de déterminer les classes de bovins de boucherie pouvant valoriser les fourrages stockés sur pied et pâturés en automne. Quant au potentiel des mélanges fourragers pour le stockage, il a été déterminé en calculant le rendement en UNT produits par hectare.

De manière générale, en été, la gestion à deux coupes a permis de maximiser les rendements en matière sèche et la valeur nutritive des fourrages. Des différences significatives ($P < 0,0001$) de rendements entre les mélanges complexes ont uniquement été observées à Nappan et seulement pour l'année 2015. Ainsi, les mélanges 1 (luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés) et 2

(mélange 1 + alpiste roseau) ont produit des rendements moyens de 8012 kg MS ha⁻¹. Toujours durant l'été, lorsque des différences significatives de valeur nutritive ont été observées entre les mélanges complexes, soit à New Liskeard en 2015 et 2016 et à Normandin en 2015, ce sont aussi les mélanges 1 et 2 qui étaient supérieurs (> 550 g UNT kg⁻¹ MS).

En automne, pour les fourrages stockés sur pied, un apport azoté de 50 kg N ha⁻¹ au début de la période d'accumulation n'a pas permis d'augmenter les rendements ni la valeur nutritive. Dans tous les cas, l'initiation du stockage en août et la paissance en septembre ont permis de maximiser la valeur nutritive du fourrage. Cette période de stockage (août-septembre) pourrait permettre de rencontrer les besoins des vaches gestantes au deuxième trimestre de gestation jusqu'au début de la lactation. Quant aux périodes d'initiation du stockage débutant en juillet, elles ont permis de maximiser les rendements en matière sèche. Aux sites de New Liskeard et de Normandin, la maximisation du potentiel de rendement a été atteinte en septembre. Par contre, au site de Nappan, lorsque l'eau n'a pas été un facteur limitant, la croissance de la biomasse végétale a été possible. En effet, en 2015, la paissance en octobre a permis un gain de productivité d'un peu plus de 3500 kg MS ha⁻¹ comparativement à la paissance en septembre. Par contre, une initiation du stockage en juillet et une paissance en octobre ne permettraient généralement pas de rencontrer les besoins de vaches gestantes que ce soit au deuxième ou au troisième trimestre de gestation en raison d'une valeur nutritive inférieure à 500 g UNT kg⁻¹ MS. Par ailleurs, la performance des mélanges n'a pas été la même à chacun des sites. À New Liskeard, les trois mélanges composés de fétuque élevée et de brome des prés ont produit significativement ($P < 0,0001$) plus d'UNT ha⁻¹ que les autres mélanges durant les deux années d'exploitation. Au site de Normandin, ce sont les mélanges contenant la fléole des prés et la fétuque des prés qui ont été les plus performantes, mais seulement en 2015. Finalement, au site de Nappan, le mélange contenant la fétuque élevée et le dactyle ont produit significativement ($P < 0,0001$) plus d'UNT ha⁻¹ que tous les autres mélanges. Il faut rappeler que les résultats de cette étude sont valables pour les deux premières années d'exploitation de mélanges fourragers stockés sur pied à l'automne et que la proportion de luzerne dans ces différents mélanges a été supérieure à 50 % aux sites de Normandin et New Liskeard et entre 30 et 40 % à Nappan. Les diminutions de rendements en matière sèche et de la valeur nutritive observées en automne dans ce projet ont été principalement attribuables aux pertes foliaires de la luzerne.

Mots-clés: Luzerne, Graminée, Mélange complexe, Stockage sur pied, Pâturage, Fourrage, Rendement en matière sèche, Valeur nutritive, Unités Nutritives Totales, Production bovine.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Au Canada, la production bovine est principalement concentrée dans l'ouest du pays. Par exemple, au niveau des exploitations vache-veau, cette région compte près de 87 % des 3,9 millions de vaches de boucherie du pays. Dans l'est, l'Ontario et le Québec sont les provinces les plus importantes pour ce secteur, cumulant près de 12 % du cheptel national (Statistique Canada, 2012).

Au Québec, l'élevage bovin est un moteur économique non-négligeable avec des recettes totalisant 511 millions de dollars (Statistiques Canada, 2013). Toutefois, en raison des coûts de production élevés, la marge bénéficiaire des entreprises bovines est souvent faible. Selon le Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA), le contrôle des charges passe par la diminution des frais de machinerie, la bonne gestion des pâturages et la qualité des fourrages. D'ailleurs, la dernière analyse des coûts de production réalisée par le CECPA (2012) révèle que les frais variables liés à l'alimentation dans les entreprises vache-veau atteignent près de 50 % des charges totales et que la majorité de ces frais sont associés à la machinerie pour la récolte des fourrages. Ainsi, un moyen de diminuer les frais d'alimentation dans ce secteur agricole est de maximiser l'utilisation des pâturages et d'optimiser leur performance.

Au Québec, particulièrement en Abitibi-Témiscamingue, la saison de paissance est limitée par la durée de la période de croissance des plantes qui n'est que de quatre à cinq mois. Or, certaines techniques ont été développées pour prolonger la paissance au-delà de cette période. Notamment, des chercheurs des États-Unis et de l'Ouest canadien ont étudié deux façons d'y arriver: le pâturage en andains et le pâturage stocké sur pied. Étant donné les automnes pluvieux de l'Est du Canada, le pâturage en

andains n'est pas une méthode de choix dû aux risques de détérioration des plantes et au développement de moisissures. Par contre, la technique des stocks sur pied apparaît très intéressante sous nos conditions climatiques. Celle-ci consiste à conserver des superficies de pâturages indemnes à la fin de l'été dans l'objectif de les faire paître par les animaux lorsque la croissance des plantes est ralentie ou arrêtée. Pour chaque semaine supplémentaire de paissance, les coûts d'alimentation annuels seraient diminués d'environ 1 % (Wand et Jonhston, 1999).

À ce jour, diverses plantes ont été utilisées pour le stockage sur pied. Les principales caractéristiques recherchées chez celles-ci sont le maintien des rendements en matière sèche et de la valeur nutritive après l'arrêt de leur croissance. Entre autres, des études réalisées en semis purs en Alberta (Baron *et al.*, 2004) ont montré un potentiel intéressant de certaines graminées pérennes de climat frais et de la luzerne pour cet usage. Complémentairement, des essais de mélanges fourragers menés en Nouvelle-Écosse (Papadopoulos *et al.*, 2012) et durant la saison de croissance ont montré qu'il était possible d'augmenter la résilience et les performances des pâturages en y semant des mélanges fourragers composés de plusieurs plantes pérennes. Ceci dit, aucune étude scientifique n'a été menée sur le stockage de ces mélanges fourragers complexes.

À la lumière des enjeux économiques des entreprises bovines et des études menées antérieurement, des essais portant sur le stockage sur pied de mélanges fourragers complexes dans les conditions de l'Est du Canada sont nécessaires dans l'objectif de prolonger la saison de paissance des bovins en automne.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Techniques de prolongation de la saison de paissance

Les principales techniques visant à prolonger la saison de paissance sont le pâturage en andains, le pâturage sur balles et le pâturage stocké sur pied. Ces techniques ont pour objectifs communs de diminuer les frais d'alimentation, la charge de travail des producteurs et le recours aux énergies fossiles. Dépendamment des performances souhaitées et du taux de gaspillage toléré, ces techniques peuvent être employées de manière intensive, par exemple par une paissance rationnée en bandes ou par une paissance de nettoyage (« mob grazing »), ou de manière extensive.

2.1.1 Pâturage en andains

La technique du pâturage en andains consiste à récolter, andainer et réserver le fourrage de manière à le faire paître par le bétail plus tard en automne ou en hiver. Le pâturage en andains peut être réalisé avec des plantes pérennes ou des cultures annuelles (Surber *et al.*, 2003).

Dans un essai réalisé au Nebraska comparant deux méthodes d'alimentation, Volesky *et al.* (2002) ont obtenu des frais d'alimentation 50 % moins élevés avec l'andainage de plantes fourragères plutôt qu'avec une alimentation avec des balles en enclos, et ce, tout en conservant un gain de poids comparable ou supérieur. Par contre, une des faiblesses du pâturage en andains se situe au niveau du gaspillage. En effet, dans cette étude, l'alimentation à la balle a occasionné un gaspillage de 12,5 %, alors qu'il s'élevait à près de 30 % avec la technique des pâturages en andains. Au Wyoming, Nayigihugu *et al.* (2007) ont aussi observé un taux de gaspillage plus élevé pour le

pâturage en andains que pour l'alimentation conventionnelle à la balle. Dans cet essai, l'alimentation à la balle s'est même avérée une alternative plus économique. Toutefois, les auteurs concluent que le pâturage en andains peut être économiquement intéressant sous une bonne gestion du gaspillage. Une mesure permettant de le réduire est d'allouer quotidiennement au bétail une quantité de fourrage mis en andain, plutôt que de leur donner accès à l'ensemble des andains (Surber *et al.*, 2003).

Dans l'Ouest du Canada, Baron *et al.* (2014) ont comparé l'alimentation à la balle en parc et le pâturage en andains de trois plantes annuelles, soit le triticales (*X Triticosecale Wittmack*), le maïs (*Zea mays* L.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Dans tous les cas, le pâturage en andains a permis de réduire significativement les frais d'alimentation, particulièrement avec le triticales qui a permis de diminuer ces frais de moitié. De plus, la qualité du fourrage mis en andains a permis de maintenir les performances reproductives des bêtes. Ces résultats corroborent ceux obtenus par McCartney *et al.* (2004) dans cette même région. En effet, dans leur essai, la paissance d'andains d'orge plante entière n'avait pas affecté la reproduction des vaches, quoique ces dernières présentaient un poids et une couche de gras dorsal plus faibles.

Dans l'Est du Canada, aucune littérature scientifique ne traite de l'utilisation de cette technique. Il semblerait que les précipitations abondantes et que les importantes accumulations de neige rendent difficile le recours à ce type de paissance. Ceci dit, une revue agricole de vulgarisation rapporte que des producteurs abitibiens ont pratiqué cette méthode d'alimentation avec succès (Parent, 2015).

2.1.2 Pâturage sur balles

La technique du pâturage sur balles est une méthode intermédiaire entre le pâturage en andains et la récolte conventionnelle. Elle consiste à faucher et à presser le fourrage en balles, sans toutefois l'entreposer. Les balles peuvent être laissées directement là où la presse les dépose ou encore être aménagées de manière à atteindre une densité spécifique pour une superficie déterminée. Dans ce dernier cas, une densité d'environ 60 balles ha⁻¹ est commune en Ontario (Potter, 2017). Néanmoins, au Québec, la densité est limitée par le Règlement sur les exploitations agricoles (REA) de la Loi sur la qualité de l'environnement. En effet, la quantité de phosphore apportée au champ par les déjections des animaux qui s'alimentent des balles ne doit pas dépasser certaines limites. Celles-ci sont fixées en tenant compte de la teneur et du pourcentage de saturation en phosphore du sol, ainsi que du rendement des cultures qui y croissent. Si l'apport phosphoré est supérieur aux dépôts maximums prévus dans les abaques, le champ sera plutôt considéré comme une cour d'exercice, impliquant certaines mesures particulières comme le retrait et la disposition des déjections du champ et un contrôle des eaux contaminées qui en découlent (MDDELCC, 2017).

En plus de permettre la réduction des frais liés à la manutention des fourrages et des fumiers, le pâturage sur balles a un impact positif sur la rétention des éléments nutritifs et sur la fertilité des sols agricoles. En effet, dans une étude réalisée par le « Western Beef Development Centre » comparant les rendements en matière sèche d'un champ fertilisé par le fumier et les déchets d'aliments provenant du pâturage sur balles avec ceux d'un champ fertilisé avec le fumier provenant d'un enclos de confinement, de meilleurs rendements ont été obtenus sous le premier système d'exploitation. Pour les années 2004 et 2005, le système sur balles a produit 3,66 et 3,90 tonnes MS ha⁻¹, alors que le deuxième système a produit 2,30 et 1,16 tonnes MS ha⁻¹ pour ces mêmes années. Cette augmentation de la production serait causée en bonne partie par une meilleure disponibilité de l'azote le printemps suivant

l'alimentation sur balles (AAC, 2011). Toutefois, comme pour le pâturage en andains, on noterait une perte d'aliments plus grande qu'avec un système d'alimentation conventionnel, celle-ci étant plus élevée de 5 à 15 % (Parent, 2011). Ceci dit, le fourrage gaspillé n'est pas entièrement perdu, car près de 30 kg d'azote et 5 kg de phosphore seraient apportés au sol par tonne de foin servi (Potter, 2017).

2.1.3 Pâturage des stocks sur pied

La technique des stocks sur pied « stockpiling », aussi nommée la technique de la mise en réserve des fourrages, consiste à réserver des superficies de pâturage de manière à les faire paître lorsque la saison de croissance est terminée ou ralentie. En Amérique du Nord, cela se traduit par la paissance en automne ou en hiver des stocks accumulés durant la saison estivale (Wand et Jonhston, 1999). En Europe, on utilise aussi cette technique en été en mettant en réserve l'excédent d'herbe du printemps (Surault *et al.*, 2001), alors que dans les régions tropicales, le fourrage stocké sur pied est réservé pour la saison sèche (Allen *et al.*, 2001). Dans tous les cas, comme pour le pâturage en andains, des plantes annuelles et vivaces peuvent être utilisées. Au Québec, la réglementation environnementale est moins restrictive quant au recours au stockage sur pied qu'au pâturage sur balles. Effectivement, dans la mesure où l'apport en phosphore est inférieur ou égale au dépôt maximum permis par l'Annexe 1 du REA, cette technique respecte davantage la notion de pâturage au sens de la loi provinciale qui s'inscrit comme suit: « Superficie où un ou des animaux séjournent tout en s'y alimentant significativement à même les végétaux qui y croissent [...] ». Ainsi, aucune mesure particulière ne s'applique à la gestion des fumiers s'ils sont répartis de manière uniforme sur la superficie mise en réserve (MDDELCC, 2017).

Bien que le stockage sur pied présente plusieurs avantages, on lui note aussi certaines faiblesses. Par exemple, il est difficile d'évaluer la quantité et la qualité des fourrages qui seront disponibles aux animaux. En effet, il subsiste des variations annuelles

importantes au niveau du rendement et de la valeur nutritive des fourrages stockés sur pied, menant à des performances animales tout aussi variables (Poore *et al.*, 2010). Ceci dit, le succès de cette technique est étroitement lié au choix des espèces fourragères (Baron *et al.*, 2004), à la durée de la période d'accumulation (Baron *et al.*, 2005) à la fertilisation (Riesterer *et al.*, 2000).

À Lacombe en Alberta, Baron *et al.* (2016) ont comparé deux techniques permettant de prolonger la paissance en automne, c'est-à-dire la mise en andains de l'avoine (*Avena sativa* L.) et le stockage sur pied du brome des prés (*Bromus riparius* Rehm.), avec une alimentation conventionnelle (ration totale mélangée) en enclos. Le stockage sur pied a permis d'obtenir de faibles frais d'alimentation de 71 \$ ha⁻¹, alors qu'il en a coûté 261 \$ ha⁻¹ pour l'andainage de l'avoine. En comparaison, la fenaison d'un mélange brome des prés-luzerne a présenté des frais de 247 \$ ha⁻¹ et l'orge ensilée des frais atteignant 457 \$ ha⁻¹. Complémentairement, les frais journaliers totaux par vache ont été estimés à 1,04 \$ pour le stockage sur pied, 1,07 \$ pour l'andainage et 2,25 \$ pour l'alimentation conventionnelle. Cependant, la capacité de chargement a été beaucoup plus faible pour le stockage sur pied (189 vache-jour ha⁻¹) que pour l'andainage (637 vache-jour ha⁻¹) et l'alimentation conventionnelle (454 vache-jour ha⁻¹). Finalement, les meilleurs gains moyens quotidiens (GMQ) ont été obtenus avec l'alimentation conventionnelle et le stockage sur pied, ceux-ci étant respectivement de 0,41 et de 0,29 kg jour⁻¹. En contrepartie, les animaux broutant l'avoine andainée ont montré une perte de poids quotidienne de 0,13 kg.

2.2 Éléments de gestion des pâturages stockés sur pied

2.2.1 Initiation de la période d'accumulation

Selon Wand et Jonhston (1999), l'initiation du stockage est le paramètre influençant le plus la quantité de matière sèche accumulée des pâturages stockés sur pied. L'accumulation est définie par le Comité de la Terminologie des Fourrages et du Pâturage (Allen *et al.*, 2001) comme « l'augmentation de biomasse fourragère par unité de surface au cours d'une période déterminée, représentant le bilan entre la croissance, la sénescence, la décomposition d'organes morts et la consommation par des animaux. ». Au niveau des pâturages, cette période est initiée dès le retrait des animaux d'un champ afin que le fourrage puisse s'y accumuler. Selon Volesky *et al.* (2008), le climat local, le patron de précipitations et le recours à l'irrigation devraient guider la date d'initiation. Complémentairement, d'après Hedtcke *et al.* (2002), le type d'animaux et leur niveau de performance souhaité doivent aussi être pris en compte. Finalement, Wand et Jonhston (1999) mentionnent que les espèces présentes dans les pâturages doivent dicter quand initier le stockage. Les espèces à croissance plus lente, comme la fléole de prés, devraient être initiées en juillet dans les conditions du Nord de l'Ontario. À l'opposé, les espèces à croissance rapide, comme le dactyle, ne devraient pas être mises en réserve avant le mois d'août.

De manière générale, pour une même période de paissance, une initiation hâtive de la période d'accumulation favorise les rendements en matière sèche, alors qu'une initiation tardive favorise la valeur nutritive du fourrage (Baron *et al.* 2005 ; Cuomo *et al.*, 2005 ; Poore *et al.*, 2000 ; Volesky *et al.*, 2008 ; Wand et Johnston 1999). De plus, dans une étude comparant les effets de quatre temps d'initiation sur la récolte en octobre, Baron *et al.* (2005) ont observé qu'il existait un lien entre la durée de la période d'accumulation et la quantité de matériel mort retrouvée. En effet, l'importance relative du matériel mort tend à augmenter avec l'allongement de la période de stockage. En moyenne, pour les trois années de l'étude, 26,3 % de matériel

mort était retrouvé dans les parcelles initiées le 1^{er} juillet, alors qu'on en retrouvait 19,6 % dans les parcelles initiées le 15 août. Ceci dit, une variation importante dans la proportion de matériel mort retrouvé dans le fourrage a été observée aux différentes dates d'initiation du stockage entre les années, celle-ci étant principalement expliquée par des conditions pluviométriques différentes.

2.2.2 Moment de la paissance

Parmi les facteurs clefs régissant le moment de la paissance, on note la valeur nutritive souhaitée, le niveau de pertes toléré et la persistance des peuplements. D'une part, en Saskatchewan, Anez-Osuna *et al.* (2015) ont suivi l'évolution bimensuelle en protéines brutes, en fibres et en énergie digestible d'un mélange de graminées [agropyre à crête (*Agropyron cristatum* L.), brome inerme (*Bromus inermis* Leyss.) et pâturin des prés (*Poa pratensis* L.)] stocké sur pied du début août à la mi-octobre. Une diminution graduelle significative de la teneur en protéines brutes (100 en août à 69 g kg⁻¹ MS en octobre) et en énergie digestible (2,6 Mcal kg⁻¹ en août à 2,2 Mcal kg⁻¹ en octobre) a été enregistrée au terme de cette période, alors qu'une augmentation des teneurs en fibres NDF (622 en août à 723 g kg⁻¹ MS en octobre) et en ADF (381 en août à 466 g kg⁻¹ MS en octobre) a plutôt été observée. De leur côté Wand et Jonhston (1999) ont observé un déclin dans la teneur en UNT dans les pâturages de graminées stockés sur pied avec l'avancement de l'automne. Pour une initiation au début du mois de juillet, les teneurs en UNT (moyennes de trois ans) au 1^{er} septembre, 1^{er} octobre et 1^{er} novembre ont respectivement été de 611, 597 et 555 g kg⁻¹ MS, alors qu'elles ont été de 648, 640 et 616 g kg⁻¹ MS pour une initiation à la fin de juillet. Ainsi, une perte de qualité notable des pâturages stockés sur pied est observée durant le mois d'octobre dans les conditions de New Liskeard en Ontario.

D'autre part, dans une étude réalisée au Nebraska comparant la prédisposition de huit plantes fourragères au stockage sur pied, la paissance automnale est apparue plus

avantageuse que la paissance hivernale en termes de pertes de matière sèche. En effet, de novembre à février, en moyenne, des pertes de rendement de 18 % ont été observées en 2005 et de 25 % en 2006 (Volesky *et al.* 2008). Par ailleurs, au Wisconsin, des résultats similaires ont été obtenus par Riesterer *et al.* (2000) dans un essai évaluant sept plantes fourragères à ce même usage. À deux sites, les pertes ont été de 22 et de 31 % entre le gel automnal et le mois de mars. Cependant, au troisième site, des pertes de 55 % associées à un couvert de neige persistant ont été notées. Finalement, dans des conditions météorologiques canadiennes, Baron *et al.* (2004) ont obtenu les meilleurs rendements en matière sèche à la mi-septembre et ont observé peu de changement jusqu'à la mi-octobre. Toutefois, à la mi-avril, 25 % de pertes ont été observées en moyenne chez les dix espèces étudiées. Ainsi, faire pâturer les stocks avant les épisodes de froids intenses et de neige permet de diminuer les pertes substantiellement (Volesky *et al.*, 2008). Dans tous les cas, les causes des pertes sont nombreuses: respiration, lessivage du contenu cellulaire lors des conditions de gel, pourriture et dessiccation (Ocumpaugh et Matches, 1977 cités par Riesterer *et al.*, 2000). Pour les légumineuses, la diminution de rendement est associée à la perte de feuilles, particulièrement lorsque la plante devient mature. Par exemple, dans un essai réalisé par Collins et Taylor (1980) au Kentucky et testant un mélange binaire de luzerne et de dactyle, le pourcentage de feuilles de la luzerne à la première année d'exploitation est passé de 46,5 % au début octobre à 17,8 % au début décembre pour des parcelles mises en réserve à partir du mois d'août. En contrepartie, les parcelles mises en réserve en septembre à la même année n'ont pas présenté cette perte foliaire, avec un taux avoisinant les 70 % durant tout l'automne. Néanmoins, à la deuxième année d'exploitation, le pourcentage de feuilles de la luzerne a décliné graduellement du 30 septembre au 13 décembre, passant de 58,8 à 21,0 %.

Finalement, le moment de la paissance automnale est déterminant quant à la persistance des peuplements de plantes fourragères pérennes. De manière générale, il n'est pas recommandé d'effectuer une récolte, tout particulièrement pour la luzerne,

dans la période critique de six semaines précédant le premier gel mortel habituel. De plus, les risques de mortalité seraient augmentés si la récolte est effectuée moins de 50 jours (500 degrés-jours, base de 5°C) depuis la récolte précédente ou lorsque la luzerne n'a pas atteint le stade début floraison (Bélanger, 2013).

2.2.3 Fertilisation azotée

Selon les études, il est plus ou moins pertinent de fertiliser en azote les parcelles stockées sur pied. Dans certains cas, un apport azoté permet d'améliorer les performances des plantes mises en réserve, tant au niveau du rendement que de certains attributs de valeur nutritive. Par exemple, Hedtcke *et al.* (2002) ont observé que la fertilisation azotée permettait d'améliorer la teneur en protéines brutes chez sept espèces fourragères cultivées en semis purs à différentes périodes de récolte (octobre, décembre et mars), mais n'avait pas d'effet sur la teneur en fibres ou sur la digestibilité. Complémentairement, Riesterer *et al.* (2000) ont observé une densité plus élevée des peuplements au printemps lorsqu'il y avait application d'une fertilisation azotée. Par contre, certaines autres études, dont celle de Nave *et al.* (2016), n'ont obtenu aucune différence entre les parcelles de fétuque élevée fertilisées (67 kg N ha⁻¹) et non-fertilisées.

Ceci dit, chaque espèce présente des besoins et des réponses différentes à cette fertilisation. D'un côté, Teutsch *et al.* (2005) en Virginie ont mesuré les effets de différentes doses d'azote (0, 45, 90 et 120 kg N ha⁻¹) sous différentes formes (nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium, litière de poulet, urée ainsi que urée et nitrate d'ammonium) chez la fétuque élevée stockée sur pied. Dans cette étude, toutes les formes ont permis d'augmenter les rendements de manière linéaire, c'est-à-dire qu'un ajout supplémentaire d'azote résultait en une augmentation des rendements. Le nitrate d'ammonium et le sulfate d'ammonium ont été les fertilisants qui ont donné les meilleures réponses. Une autre étude a aussi montré qu'il serait recommandé de

fertiliser la fétuque élevée en août dans les climats plus frais et en septembre dans les climats plus chauds (Poore *et al.*, 2010). En contrepartie, contrairement à Teutsh *et al.* (2005), Riesterer *et al.* (2000) n'ont pas observé une relation linéaire entre la dose d'azote et les rendements du brome inerme mis en réserve. En effet, la fertilisation de 67 kg N ha⁻¹ a permis de maximiser les rendements, mais un apport supplémentaire d'azote n'a pas amélioré davantage les performances de cette espèce.

2.3 Espèces et mélanges utilisés pour le stockage sur pied

2.3.1 Alpiste roseau

L'alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L.) est une graminée de longue durée qui est adaptée aux sols mal drainés et qui est résistante à la sécheresse. Il s'établit plus difficilement que les autres graminées, mais il est très agressif lorsqu'implanté. Dans le passé, le bétail n'appréciait guère cette espèce en raison de son contenu en alcaloïdes. Toutefois, les cultivars maintenant recommandés contiennent une faible teneur en ces composantes, le rendant ainsi plus appétant pour les animaux (Bagg, 2003).

Dans une expérience menée par Hedtcke *et al.* (2002) au Wisconsin, la teneur en fibres ADF de l'alpiste roseau a augmenté de 12 % entre les mois d'octobre et de décembre, soit la plus grande augmentation observée parmi les sept espèces de l'étude. En comparaison, durant cette même période, les six autres espèces ont montré une augmentation de la teneur en fibres ADF variant de 5,3 à 7,6 %. Parallèlement, sa concentration en matière organique digestible mesurée *in vitro* a aussi décliné le plus parmi les espèces étudiées, soit de 7 %. La croissance continue de la tige et l'avancement en maturité auraient contribué au déclin rapide de la digestibilité. Au terme de cette étude, du point de vue qualité, les auteurs concluent que l'alpiste roseau doit être pâturé plus hâtivement que les autres espèces étudiées pour conserver une qualité intéressante. Cependant, dans une étude portant sur le même projet mais

traitant du potentiel de rendements, Riesterer *et al.* (2000) concluent que l'alpiste peut aussi bien être pâturé en automne que tard en hiver lorsqu'évalué sur cet aspect. En effet, l'alpiste roseau a offert des rendements intéressants à toutes les périodes (octobre, décembre et mars) et il a montré une réponse positive à la fertilisation azotée. Le port vertical rigide de l'alpiste et sa repousse formant une nouvelle tige facilitent sa paissance malgré les accumulations de neige. À la récolte de mars, sa biomasse au dessus de huit centimètres du sol était de 40,1 %, alors qu'elle était de 31,8 % en moyenne pour les autres espèces à l'étude. Cette partie de la biomasse est celle qui est la plus facilement accessible au bétail en présence d'un léger couvert de neige.

En Ontario, dans un essai mené par Johnston et Bowman (1998), l'alpiste roseau a offert de bons rendements automnaux dans une gestion à une coupe et une période d'accumulation commençant au début juillet. Par contre, lorsque soumis à un régime à deux coupes (mi-juin et fin août), ses performances ont beaucoup diminué. En effet, dans le premier régime, l'alpiste a produit près 5500 kg MS ha⁻¹, alors qu'il en a produit moins de 2000 kg MS ha⁻¹ dans le second. Cependant, cette gestion a permis de maximiser les teneurs en protéines et en unités nutritives totales du fourrage.

2.3.2 Brome des prés

Le brome des prés (*Bromus riparius* Rehm.) est une graminée de longue durée bien adaptée à la paissance. Son regain est rapide et il convient bien aux systèmes fourragers de plus de trois fauches annuelles (Michaud et Allard, 2005).

En Alberta, Baron *et al.* (2004) ont observé que le brome des prés procurait des rendements stables et élevés année après année (5130 kg ha⁻¹ en 1998, 5450 kg ha⁻¹ en 1999 et 5540 kg ha⁻¹ en 2000) et qu'il était résistant aux pertes nutritives causées par la température après la mi-octobre. D'ailleurs, dans cette étude, la fétuque rouge traçante et le brome des prés étaient les espèces qui ont montré la valeur nutritive

ayant le plus de chance de combler les besoins alimentaires des bovins durant l'hiver et le printemps. Toutefois, étant donné des pertes de rendement élevées durant l'hiver (22 %), les chercheurs recommandaient sa paissance en septembre ou en octobre. Cette observation a aussi été faite dans l'étude de Volesky *et al.* (2008) au Nebraska, où les feuilles souples du brome des prés se sont montrées sensibles à la compression et aux dommages causés par la neige et la glace.

Dans une étude complémentaire à celle de Baron *et al.* (2004), Baron *et al.* (2005) ont mesuré les effets de la durée de la période d'accumulation sur la qualité et les rendements du brome des prés. Les périodes les plus longues (initiation au début et à la mi-juillet) ont permis d'obtenir les meilleurs rendements, soit entre 4480 et 6850 kg MS ha⁻¹ en moyenne pour les trois premières années d'exploitation. En initiant la période d'accumulation en août, des rendements beaucoup plus faibles ont été observés, ceux-ci variant de 800 à 2560 kg MS ha⁻¹. Inversement, une meilleure qualité et un plus faible taux de matériel mort ont été obtenus avec une initiation au mois d'août. Au final, les chercheurs ont conclu que le brome des prés, étant donné ses rendements stables au fil des années et sous différentes durées d'accumulation, était l'espèce la mieux adaptée au stockage sur pied en Alberta (Baron *et al.*, 2005).

2.3.3 Brome inerme

Le brome inerme (*Bromus inermis* Leyss.) est une graminée persistante qui tolère bien la sécheresse et le froid. Ceci dit, il est davantage adapté à la fauche qu'à la paissance (Michaud et Allard, 2005).

Au Wisconsin, Riesterer *et al.* (2000) ont comparé le potentiel de rendement de sept graminées de saison fraîche selon trois dates de coupe (près du gel mortel, à la mi-décembre et à la fin mars-début avril) et quatre types de fertilisation azotée: (i) 0 kg N ha⁻¹ en août, (ii) 67 kg N ha⁻¹ en août, (iii) 101 en mai et 67 kg N ha⁻¹ en août ainsi que (iv) 45 en avril, 56 en mai et 67 kg N ha⁻¹ en août. Dans cet essai, le brome

inermes ont été l'espèce ayant les moins bons rendements, peu importe le type de fertilisation. Selon les sites, les rendements ont varié de 1,62 à 2,60 tonnes de matière organique (MO) ha⁻¹ à la coupe d'octobre et ont atteint des niveaux aussi bas que 1,20 à 1,52 tonne de MO ha⁻¹ à la coupe de mars. La fertilisation de 67 kg N ha⁻¹ en août a permis d'augmenter les rendements en comparaison à l'absence de fertilisation. Toutefois, un apport d'azote supérieur à 67 kg N ha⁻¹ n'a pas permis d'améliorer davantage les performances pour cette espèce. Au final, les chercheurs concluent que les faibles rendements du brome inerme font de cette espèce un mauvais choix pour le stockage sur pied, encore moins sous des conditions enneigées. Cependant, dans un deuxième article portant sur le même projet (Hedtcke *et al.*, 2002), les auteurs se sont intéressés au volet qualité des différentes espèces stockées sur pied. Sous cet aspect, le brome inerme a donné de meilleurs résultats. De manière générale, sa valeur nutritive était comparable ou supérieure à celles des autres espèces de l'étude. D'ailleurs, il avait présenté parmi les meilleures concentrations en protéines aux trois périodes de récolte, c'est-à-dire entre 96 et 142 g PB kg⁻¹ MS.

Au Nebraska, Volesky *et al.* (2008) ont obtenu des résultats opposés à ceux de Riesterer *et al.* (2000) et de Hedtcke *et al.* (2002). En effet, dans cette étude, le brome inerme a fourni un fourrage de faible qualité lorsque comparé à sept autres espèces: haute teneur en fibre NDF et faibles teneurs en protéines brutes et en matière organique digestible mesurée *in vitro*. Par contre, ses rendements ont été intéressants: de 4,06 à 4,29 tonnes de MS ha⁻¹ en novembre et de 2,72 à 3,94 tonnes de MS ha⁻¹ en février.

En Alberta, Baron *et al.* (2004) ont obtenus des résultats similaires à ceux de Volesky *et al.* (2008). En effet, le brome inerme a offert de bons rendements (6,84 à la mi-septembre, 6,10 à la mi-octobre et 4,11 tonnes de MS ha⁻¹ à la mi-avril pour une initiation en juillet), mais une faible qualité en comparaison des autres graminées à l'étude. Ceci dit, sa concentration en sucres solubles a présenté des résultats

inattendus deux années sur trois. Effectivement, contrairement à la plupart des autres espèces, sa teneur en sucres a été meilleure lorsque l'initiation de la période d'accumulation était en juillet (jusqu'à 123 g kg⁻¹) que lorsqu'elle était en août (jusqu'à 107 g kg⁻¹).

Finalement, au Minnesota, Cuomo *et al.* (2005) ont réalisé une étude visant à déterminer la date d'initiation et la fertilisation qui optimisent les performances du brome inerme stocké sur pied lorsque récolté en octobre et en avril. Au total, six dates d'initiation et trois fertilisations azotées (0, 56 et 112 kg N ha⁻¹) ont été testés. Les rendements étaient maximaux avec une initiation en juin. Par ailleurs, une fertilisation en azote de 56 kg N ha⁻¹ a été jugée suffisante. Ceci dit, les initiations plus tardives ont permis d'obtenir une meilleure teneur en protéines brutes, ainsi que des concentrations en fibres ADF et NDF plus faibles dans le fourrage. Du coup, pour maximiser la quantité et la qualité, une initiation au début juillet et une fertilisation azotée de 56 kg N ha⁻¹ étaient recommandées par les auteurs dans les conditions du Minnesota.

2.3.4 Dactyle aggloméré

Le dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata* L.), ou encore dactyle pelotonné, est une graminée de longue durée dans les conditions auxquelles il est adapté. C'est une espèce qui utilise l'énergie solaire pour assurer sa repousse, tout comme l'énergie emmagasinée dans ses réserves (Fransen et Griggs, 2010). Il peut donc être pâturé relativement bas et avoir un bon regain. Il est particulièrement recommandé pour le pâturage, mais il convient aussi à la fenaison et à l'ensilage (Michaud et Allard, 2005). Ceci dit, son appétence et sa digestibilité diminuent plus rapidement que les autres graminées lorsqu'il devient mature (Upfold et Wright, 1994).

Le dactyle stocké sur pied offre un bon potentiel de rendement (Riesterer *et al.* 2000 ; Baron *et al.* 2004 ; Volesky *et al.* 2008). Par exemple, en Alberta, Baron *et al.* (2004)

ont observé des rendements de 5640 kg MS ha⁻¹ à la mi-octobre. Toutefois, ils ont été de 4380 kg MS ha⁻¹ à la mi-avril, ce qui représente une diminution de 22 % entre les deux périodes. Un important déclin de MS a aussi été observé par Riesterer *et al.* (2000) après le mois de décembre au Wisconsin, particulièrement pour le dactyle tardif qui a subi le plus haut taux de pertes (40 %) parmi toutes les espèces à l'étude. De plus, dans cette dernière étude et dans celle de Volesky *et al.* (2008) au Nebraska, le dactyle a offert parmi les meilleurs rendements au début de l'hiver, c'est-à-dire des rendements comparables ou légèrement inférieurs à ceux de la fétuque élevée. Ceci dit, il est plus sensible que cette espèce aux compressions occasionnées par d'importantes accumulations de neige (Volesky *et al.*, 2008).

D'un autre côté, au niveau de la qualité, dans l'étude de Hedtcke *et al.* (2002), les dactyles hâtif et tardif sont apparus un excellent choix pour la mise en réserve. Tout au long de l'hiver, ils ont conservé une bonne teneur en protéines brutes et en matière organique digestible mesurée *in vitro*.

2.3.5 Festulolium

Le festulolium est issu du croisement entre une espèce du genre *Festuca* (fétuque élevée ou fétuque des prés) et une espèce du genre *Lolium* (ray-grass anglais ou ray-grass d'Italie). Les différents hybrides présentent des caractéristiques variables selon les espèces parentales utilisées (Ghesquiere *et al.* 2010 cités par Østrem *et al.* 2015). Ceux-ci sont qualifiés de festucoïde si la fétuque élevée a été utilisée dans le croisement initial ou loloïde dans le cas de la fétuque des prés (Østrem *et al.* 2015).

Dans une étude de trois ans menée au Missouri, la valeur nutritive et les rendements en matière sèche de la fétuque élevée (non-infectée par le champignon endophyte *Neotyphodium coenophialum*) et du *Festulolium loliaceum* ont été comparés pour une période d'accumulation débutant en août. Respectivement, à la première et deuxième année d'exploitation, la fétuque élevée avait produit des rendements de 1161 et 864

kg MS ha⁻¹ en novembre, alors que ceux du festulolium étaient de 231 et 814 kg ha⁻¹. En plus de ces faibles rendements, d'importantes pertes ont été observées durant l'hiver, menant à des rendements presque nuls au mois de mars à la première année et au mois de février à la seconde année. À la troisième année, des performances plus acceptables ont été observées au mois de novembre. En effet, la fétuque élevée a produit 1599 kg ha⁻¹, alors que la production du festulolium était de 1113 kg ha⁻¹. Au niveau nutritionnel, tout au long de l'hiver, le festulolium a présenté une meilleure teneur en protéines brutes, en fibres NDF et NDF digestibles, ainsi qu'en unités nutritives totales (UNT) que la fétuque élevée (Dierking *et al.* 2008).

Contrairement à l'étude de Dierking *et al.* (2008), Volesky *et al.* (2008) rapportent de meilleurs rendements avec le *Festulolium pabulare* (*Festuca arundinacea* x *Lolium multiflorum*) qu'avec la fétuque élevée pour des périodes d'accumulation débutant à la mi-juillet et à la mi-août. En fait, le festulolium a présenté les meilleurs rendements parmi les huit espèces étudiées, et ce, pour les deux périodes de récolte (novembre et février). Durant ces périodes, les rendements ont varié de 3,83 à 5,19 tonnes MS ha⁻¹ pour l'hybride et de 3,55 à 5,08 tonnes MS ha⁻¹ pour la fétuque élevée. Par ailleurs, en regard à la qualité, les résultats observés ont été contraires à ceux obtenus par Dierking *et al.* (2008). En effet, dans cette étude, la fétuque élevée s'est montrée supérieure au festulolium. Toutefois, les teneurs en protéines brutes et en NDF du festulolium ont été comparables à celles des autres espèces, alors que sa concentration en matière organique digestible mesurée *in vitro* s'est placée au second rang, soit inférieure à celle de la fétuque élevée. Finalement, la période d'accumulation débutant en juillet a permis de maximiser les rendements, alors que celle débutant en août a maximisé la qualité.

Les performances obtenues avec les deux hybrides des études de Dierking *et al.* (2008) et de Volesky *et al.* (2008) concordent avec les résultats d'Opitz *et al.* (2006) en Allemagne. Dans cette étude, les cultivars de festuloliums festucoïdes ont offerts

de meilleurs rendements en matière sèche que les cultivars loloïdes, mais de moindre qualité que ceux-ci au niveau des teneurs en ADF, PB, énergie et ergostérol.

2.3.6 Fétuque élevée

De toutes les graminées de climat frais, la fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) est certainement celle qui a été le sujet du plus grand nombre d'études au niveau du stockage sur pied. Cet intérêt des chercheurs est expliqué par quelques caractéristiques de cette plante qui la prédispose à cet usage: bonne croissance automnale, maintien de la valeur nutritive lors de conditions de gel et de dégel et accumulation élevée de sucres non-structuraux (Poore *et al.*, 2000 ; Wand et Jonhston, 1999). Par ailleurs, tout comme le dactyle aggloméré, le regain de la fétuque élevée est assuré par deux sources d'énergie, soit l'énergie solaire et celle puisée dans les réserves (Fransen et Griggs, 2010).

Dans plusieurs études comparant le potentiel de diverses plantes fourragères sous différentes gestions (fertilisation azotée, initiation de la période d'accumulation et date de récolte), son rendement en matière sèche se situe toujours parmi les meilleurs observés (Hall *et al.*, 1998 ; Riesterer *et al.*, 2000 ; Volesky *et al.*, 2008). Par ailleurs, les peuplements de fétuque élevée sont d'une bonne persistance et les rendements sont intéressants le printemps suivant la paissance (Hall *et al.* 1998). Elle tolère aussi bien les sols humides que les épisodes de sécheresse et de chaleurs intenses (Michaud et Allard 2005). Par contre, elle tend à avoir une meilleure digestibilité lorsqu'elle croît en milieu frais, dû à une plus faible teneur en fibres et à une meilleure digestibilité de ces dernières (Fales *et al.*, 1986 cités par Poore *et al.*, 2000).

Au Tennessee, Nave *et al.* (2016) ont étudié les effets de la fertilisation azotée et de la date d'initiation de la période d'accumulation sur les rendements et la qualité de la fétuque élevée stockée sur pied selon trois périodes de paissance automnale. Dans cette étude, l'application d'azote (67 kg ha⁻¹) n'a eu aucun effet significatif, tant au

niveau du rendement que de la valeur nutritive du fourrage. Ces résultats sont opposés à ceux obtenus par Rayburn *et al.* (1979) et par Collins et Balasko (1981), pour lesquels la fertilisation azotée avait respectivement permis d'augmenter les rendements et la teneur en protéines brutes. Selon les auteurs, cette divergence de résultats serait causée par les précipitations durant la période d'essai. Pour obtenir une réponse positive à l'application d'azote, ils suggèrent de fractionner la fertilisation et de porter une attention particulière au moment de l'application en tenant compte du niveau d'humidité du sol. D'un autre côté, le mois d'initiation de la période d'accumulation (août ou septembre) n'a pas influencé les rendements et n'a eu qu'un effet significatif minime sur la teneur en protéines brutes, passant de 143 g kg⁻¹ MS en août à 149 g kg⁻¹ MS en septembre. Finalement, le paramètre qui a eu le plus d'effet sur les performances de la fétuque élevée est le moment de la paissance. Notamment, contrairement aux attentes des chercheurs et qui est mal expliqué par ceux-ci, la teneur en unités nutritives totales a été près de 60 g kg⁻¹ MS plus élevée en novembre qu'en septembre et octobre. À l'opposé, les rendements les moins élevés ont été obtenus en novembre, soit de 1490 kg MS ha⁻¹. En comparaison, ils ont été de 2584 kg MS ha⁻¹ en septembre et de 2725 kg MS ha⁻¹ en octobre. Finalement, la proportion de matériel mort dans le fourrage a augmenté à chaque mois: 18,6 % en septembre, 23,5 % en octobre et 32,8 % en novembre.

Malgré des aptitudes intéressantes pour le stockage sur pied, certains inconvénients sont aussi associés à la paissance de la fétuque élevée par le bétail. D'un côté, sa sapidité et sa rugosité limiteraient son ingestion (Michaud et Allard, 2005). D'un autre côté, lorsqu'elle est infectée par le champignon endophyte *Neotyphodium coenophialum*, elle peut causer divers troubles aux animaux la consommant. Plus précisément, ce sont les alcaloïdes que le champignon synthétise qui sont toxiques, notamment l'ergovaline qui crée des déséquilibres hormonaux chez l'animal (Osweiler, 2014). Ceci dit, bien que l'ergovaline soit utilisée pour quantifier le degré

de toxicité de la plante, il n'est pas démontré que ce composé est le principal et seul responsable des effets nocifs documentés (Poore *et al.*, 2010).

Les troubles potentiels liés à l'ingestion de fétuque élevée contaminée par le champignon sont le pied de fétuque, la nécrose adipeuse des bovins et l'intoxication. Par temps frais, le pied de fétuque (« fescue foot ») est le trouble qui prévaut. Dans certains cas, l'animal présente des signes de mauvaise santé: poil terne, perte de poids, fièvre, respiration rapide et fragilité des membres. Dans d'autres cas, des symptômes aussi sévères que la nécrose de la queue et des oreilles ainsi que la chute des onglons sont observés (MAAARO, 2006).

Toutefois, loin de ne présenter que des inconvénients, la relation symbiotique entre la fétuque élevée et le champignon apporte des avantages agronomiques considérables, dont l'amélioration des rendements, de la persistance (Drewnoski *et al.*, 2007) et de la résistance aux insectes, au stress et à la sécheresse (Charbonneau, 1997). De son côté, la plante fournit les sucres nécessaires à la croissance du champignon (Sleper et West, 1996 cités par Curtis, 2006).

Avec le stockage sur pied, les effets de l'infection de la plante par le champignon tendent à diminuer plus la paissance est tardive. Par exemple, dans une étude de deux ans menée au Missouri, la concentration en ergovaline a décliné de 85 % entre décembre et mars (Kallenbach *et al.*, 2003). Des résultats similaires ont été obtenus par Drewnoski *et al.* (2007) en Caroline du Nord, où la concentration en alcaloïde a diminué de 81 % entre décembre et janvier. Médicalement, une concentration en ergovaline de 200 µg kg⁻¹ est considérée comme toxique (Osweiler, 2014).

Au Québec, aucune étude ne traite de problèmes causés par la fétuque élevée infectée par *Neotyphodium coenophialum*. Selon Michaud (2013), comme les semences de fétuque vendues ici sont généralement exemptes d'endophytes, les craintes associées à leur contamination ne sont pas réellement justifiées.

2.3.7 Fétuque rouge traçante

La fétuque rouge traçante (*Festuca rubra* L.) est une graminée à tige courte fréquemment utilisée dans les gazons. Son intérêt pour le stockage sur pied réside dans le fait qu'elle est reconnue pour conserver sa valeur nutritive à l'automne (Upfold et Wright, 1994). En effet, dans une étude réalisée en Alberta, la fétuque rouge traçante est l'espèce qui a le mieux maintenu sa valeur nutritive année après année sous différentes périodes d'accumulation. De plus, les chercheurs ont remarqué que sa concentration en fibre NDF variait peu, peu importe la date d'initiation de l'accumulation (Baron *et al.*, 2005). Dans un autre essai, elle a présenté le plus faible taux en fibres (ADF et NDF) pour trois périodes de fauche (mi-septembre, mi-octobre et mi-avril) parmi les graminées testées, ainsi qu'une teneur en sucres solubles supérieure (Baron *et al.* 2004).

Bien qu'elle soit résistante aux pertes nutritives causées par la température après la mi-octobre, la fétuque rouge traçante a présenté un haut taux de pertes de matière sèche. Effectivement, entre la fauche de mi-octobre et la fauche de mi-avril, des pertes de rendement de 32 % ont été observés par Baron *et al.* (2004). Elle serait donc moins bien adaptée à une paissance des stocks au printemps. Par ailleurs, pour offrir des rendements intéressants, la période d'accumulation devrait commencer aussitôt qu'à la mi-juillet. Par exemple, pour les trois années de cette étude, les rendements ont varié de 3330 à 5620 kg MS ha⁻¹ pour une accumulation de juillet à la mi-octobre, alors qu'ils ont varié de 670 et 930 kg MS ha⁻¹ lorsque l'accumulation débutait à la mi-août (Baron *et al.*, 2005).

2.3.8 Fléole des prés

La fléole des prés (*Phleum pratense* L.) est la graminée fourragère la plus cultivée au Québec. Elle est très rustique et bien adaptée au climat (Michaud et Allard, 2005). Lorsque stockée sur pied, elle offre d'excellents rendements les années où les précipitations sont supérieures à la moyenne (Baron *et al.* 2004).

En Alberta, en plus d'obtenir les meilleurs rendements aux fauches de mi-septembre (6530 kg MS ha⁻¹), de mi-octobre (7040 kg MS ha⁻¹) et de mi-avril (6840 kg MS ha⁻¹), elle a présenté le plus faible taux de perte entre la dernière fauche automnale et la fauche printanière, soit de seulement 3 %. Cependant, au Wisconsin, Riesterer *et al.* (2000) ont obtenu des résultats différents. Bien que la fléole ait subi peu de pertes en octobre et en décembre, les pertes ont été importantes en mars. Ainsi, dans cette région, les chercheurs ont conseillé de pâturer la fléole avant décembre pour minimiser les pertes.

Du point de vue qualité, la fléole présente généralement une faible teneur en protéines brutes (Baron *et al.*, 2004 ; Hedtcke *et al.* 2002). Toutefois, elle tend à conserver une bonne digestibilité, tant pour le pâturage des stocks sur pied en automne qu'au printemps (Hedtcke *et al.*, 2002).

2.3.9 Luzerne

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est la légumineuse fourragère la plus répandue au Québec (Michaud et Allard, 2005) et celle qui offre le meilleur potentiel de rendement en MS. Toutefois, elle est davantage utilisée pour la fenaison et l'ensilage que pour le pâturage. Les cultivars destinés à la paissance présentent quelques caractéristiques morphologiques et physiologiques leur permettant de mieux tolérer ce mode de récolte: racines traçantes, collet large et profond, bourgeons souterrains,

bourgeonnement prolifique échelonné sur une longue période, dormance automnale hâtive et maintien des réserves racinaires en sucres (Katepa-Mupondwa *et al.*, 2002).

Dans une étude de trois ans menée à Lacombe en Alberta, la luzerne a subi le plus haut taux de perte en matière sèche avec l'avancement de l'hiver. À la mi-octobre, des rendements de plus de 5000 kg MS ha⁻¹ étaient observés, alors qu'ils chutaient à moins de 2900 kg MS ha⁻¹ à la mi-avril. Cette diminution correspond à une perte de 43 % et il s'agit du plus haut taux observé. Par ailleurs, la valeur nutritive a aussi été mauvaise à la fauche d'avril: fibres ADF et NDF élevées ainsi que plus faible teneur en sucres et en matière organique digestible mesurée *in vitro*. Toutefois, en avril, sa teneur en protéines a été comparable aux autres espèces, alors qu'elle était nettement supérieure à l'automne. Somme toute, des neuf espèces fourragères mises à l'épreuve, c'est la luzerne qui est apparue la moins adaptée pour une paissance après le mois d'octobre (Baron *et al.*, 2004). Par contre, dans cette étude, il s'agissait de la seule légumineuse semée. Or, de façon générale, il semblerait que les légumineuses soient moins adaptées au stockage sur pied lorsque pâturées tardivement, car elles tendent à perdre leurs feuilles à maturité ou lors des gels (Matches et Burns, 1995 cités par Baron *et al.*, 2004 ; Collins et Taylor, 1980).

Ceci dit, un avantage de la luzerne est qu'elle tolère relativement mieux une courte période d'accumulation que la plupart des autres espèces fourragères. Par exemple, dans un autre essai, Baron *et al.* (2005) ont comparé différentes durées d'accumulation. Le cultivar de luzerne « Algonquin » a permis d'obtenir les meilleurs rendements à la mi-octobre lorsque la période d'accumulation commençait à la mi-août, c'est-à-dire pour une accumulation de deux mois. Respectivement, pour les trois années suivant l'implantation, des rendements de 2490, 2640 et 880 kg MS ha⁻¹ ont été obtenus avec cette courte période d'accumulation. Parallèlement, les rendements étaient généralement inférieurs à 1000 kg MS ha⁻¹ pour les autres graminées et le cultivar de luzerne « SC MF3713 ». Quant à l'aspect qualité, la luzerne est l'espèce

qui a présenté les meilleurs teneurs en protéines peu importe le moment de l'initiation de la période d'accumulation.

Les risques de météorisation pour les bovins pâturant la luzerne stockée sur pied peuvent être élevés, particulièrement après un gel. En effet, lorsque la luzerne gèle suffisamment pour qu'il y ait rupture cellulaire, les concentrations en sucres et protéines solubles sont importantes et celles-ci sont impliquées dans le processus de météorisation (Montana State University, 2010). De ce fait, après une gelée mortelle, il serait conseillé d'attendre au minimum une semaine durant laquelle les températures avoisinent les -9°C avant de permettre la paissance aux animaux afin que le matériel ait séché (Gresel, 2016). Parallèlement, des observations faites à Kamloops en Colombie-Britannique ont montré qu'il y avait une augmentation des risques de météorisation lorsque les températures nocturnes étaient fraîches, soit de 0 à 10°C . À ce site, les bovins ayant consommé de la luzerne en octobre ont doublement été affectés par la météorisation en comparaison aux bovins en ayant consommé durant l'été (Howarth *et al.*, 1991).

2.3.10 Pâturin des prés

Le pâturin des prés (*Poa pratensis* L.) est une graminée retrouvée dans les pâturages de longue durée. Il tolère bien les conditions fraîches, les paissances rases jusqu'à 5 cm (Michaud et Allard, 2005) et le piétinement (Upfold et Wright, 1994).

Le pâturin des prés a été utilisé dans l'étude de Baron *et al.* (2004) menée en Alberta. Il a offert les rendements les plus faibles parmi les espèces étudiées, soit de 4490 à la mi-septembre, 4340 à la mi-octobre et 4040 kg MS ha⁻¹ à la mi-avril. Toutefois, il s'est montré résistant aux pertes de matière sèche entre les mois d'octobre et d'avril. En effet, celles-ci n'ont été que de 7 % durant cette période. Les rendements observés pour le pâturin à la mi-avril étaient alors comparables à ceux des autres graminées. D'un point de vue qualité, le pâturin a conservé une bonne teneur en protéines brutes

tout au long de l'hiver (111 g kg^{-1} MS en septembre et 105 g kg^{-1} MS en avril). Par contre, en automne, il a aussi présenté une teneur élevée en fibre NDF (611 g kg^{-1} MS en octobre) et une teneur réduite en sucres solubles (71 g kg^{-1} MS en octobre). Ceci dit, ces teneurs étaient comparables ou meilleures que pour les autres espèces lors de la fauche du printemps.

Finalement, dans une autre étude, Baron *et al.* (2005) ont montré que pour obtenir des rendements acceptables avec le pâturin, la période d'accumulation devrait commencer aussi tôt que le 15 juillet. Par exemple, sur trois années, à la mi-octobre, les rendements ont varié de 3430 à 6100 kg MS ha⁻¹ lorsque la période d'accumulation débutait au début juillet. En contrepartie, ils ont varié de 1080 et 1390 kg MS ha⁻¹ avec une initiation à la fin août.

2.3.11 Mélanges simples

Les mélanges simples sont composés d'une légumineuse et d'une ou deux graminées. Ce type de combinaison est recommandé au Québec, car sa gestion est plus simple. Dans ces mélanges, la graminée permet de réduire les risques de météorisation pour le bétail et de déchaussage pour la légumineuse. Elle permet aussi d'augmenter la durée de vie du pâturage. En contrepartie, la légumineuse fournit un apport d'azote à la graminée, améliore la valeur nutritive du fourrage et permet d'obtenir de meilleurs rendements durant la période chaude en été (Lafrenière, 2013). De plus, la compétitivité entre la graminée et la légumineuse permettrait d'accroître la fixation de l'azote atmosphérique de cette dernière (Nyfeler *et al.*, 2011 cités par da Silva *et al.*, 2013). Ceci dit, quoique les avantages liés à l'utilisation de mélanges simples dans les pâturages soient bien documentés, relativement peu d'études traitent de leur utilisation pour le stockage sur pied.

En Virginie, Allen *et al.* (1992) ont comparé les rendements de la fétuque élevée stockée sur pied et fertilisée à un taux de 90 kg N ha^{-1} au moment de la mise en

réserve à la mi-août avec des mélanges fétuque élevée-luzerne et fétuque élevée-trèfle rouge stockés sur pied et initiés à la même période. Sur une moyenne de cinq ans, la monoculture de fétuque élevée a présenté les meilleurs rendements en matière sèche (3370 kg ha⁻¹), alors que le mélange fétuque-luzerne a présenté les rendements les plus faibles (1291 kg ha⁻¹) suivi de près du mélange fétuque-trèfle (1584 kg ha⁻¹). Ainsi, dans les conditions de l'étude, la légumineuse n'a pas permis de combler entièrement les besoins en azote de la graminée. Ceci dit, l'emploi de la luzerne dans le mélange a permis d'augmenter les gains moyens quotidiens des bêtes de 47 % en comparaison de la fétuque élevée cultivée seule.

En Alberta, Baron *et al.* (2004) ont aussi intégré un mélange simple dans leur étude, soit un mélange combinant le brome des prés et la luzerne. Aux deux coupes effectuées en automne et à la coupe printanière, le mélange a permis d'obtenir de meilleurs rendements que la luzerne en semis pur. Toutefois, les rendements du mélange étaient comparables à ceux obtenus avec les monocultures de graminées, sauf pour la coupe d'avril où un taux de pertes élevé de 37 % a été observé. Du point de vue nutritionnel, le mélange a permis d'obtenir une meilleure teneur en protéines que les graminées, mais une plus faible teneur en sucres solubles que celles-ci. Il a aussi permis d'obtenir une plus faible concentration en fibres que la luzerne avec l'avancement de l'hiver. Ainsi, les chercheurs ont conclu qu'à Lacombe en Alberta, le mélange combinant la luzerne et le brome des prés n'était adapté que pour les paissances de septembre et d'octobre.

2.3.12 Mélanges complexes

À notre connaissance, aucune littérature scientifique ne traite du stockage sur pied de mélanges comportant plus de trois espèces de plantes, c'est-à-dire les mélanges complexes. Pourtant, ils offriraient plusieurs avantages aux pâturages: augmentation et distribution plus uniforme des rendements lors de la période de croissance et

minimisation de l'impact des aléas climatiques. De plus, on noterait un effet positif sur la répression des mauvaises herbes et sur la rétention des nutriments (Lafrenière, 2013). Autrement dit, une plus grande diversité de plantes dans l'écosystème pastoral devrait lui permettre une meilleure stabilité sous tous ses aspects (Sanderson, 2010). Toutefois, la sélection des espèces d'un mélange complexes doit être faite avec attention, notamment au niveau de leur appétibilité. Dans le cas contraire, particulièrement sous un régime extensif, l'espèce la moins appréciée sera ignorée par les animaux et celle-ci deviendra dominante. Une manière de contourner ce problème est d'augmenter le taux de chargement pour forcer une paissance homogène.

Dans un essai réalisé en Nouvelle-Écosse portant sur les performances de mélanges de graminées et de trèfle blanc durant la saison de croissance, Papadopoulos *et al.* (2012) ont observé qu'un mélange de trèfle blanc et de quatre graminées permettait d'obtenir de meilleurs rendements en matière sèche que les mélanges ne contenant que deux ou trois graminées compagnes. Par exemple, le mélange composé de fléole des prés, fétuque des prés, pâturin des prés, alpiste roseau et trèfle blanc a produit, sur une moyenne de trois années de production (années 3, 4 et 5), 8010 kg MS ha⁻¹. En contrepartie, les mélanges binaires ont produit 6260 kg MS ha⁻¹, alors que les mélanges tertiaires ont produit 6800 kg MS ha⁻¹. De plus, dans cet essai, les chercheurs ont montré que certaines espèces étaient plus compatibles entre elles, notamment la fléole des prés et le pâturin des prés.

En Saskatchewan, sur une période de quatre années de production, Foster *et al.* (2013) ont étudié le potentiel de rendements de mélanges simples et de mélanges complexes comportant jusqu'à dix espèces fourragères. En absence de fertilisation, deux gestions de coupe ont été testées. Celle à deux coupes simulait la production de foin, alors que celle à trois coupes simulait la paissance. Dans les deux cas, les mélanges complexes ont permis d'obtenir de meilleurs rendements que les graminées en semis pur, mais pas supérieurs à certains mélanges simples combinant luzerne-

graminée ou la luzerne en semis pur. Ces résultats ne concordent donc pas avec ceux obtenus par Papadopoulos *et al.* (2012). Il est avancé que les rendements obtenus avec les mélanges complexes aient été influencés que par une ou deux espèces du mélange et que les autres, mal adaptées, n'aient presque pas contribué aux rendements (Hudson 1997 cité par Foster *et al.* 2013). Cette dernière observation a d'ailleurs aussi été faite par Deak *et al.* (2007) en Pennsylvanie. En effet, dans une étude de trois années de production comparant les rendements et la valeur nutritive de dix mélanges comportant deux, trois, six ou neuf espèces, il a été observé que les rendements étaient davantage influencés par la sélection des espèces que par la complexité des mélanges. Dans cet essai, deux des trois mélanges comportant six espèces ont offert les meilleurs rendements (10 300 kg MS ha⁻¹). Le premier mélange était composé de dactyle, de fétuque élevée, de pâturin des prés, de ray-grass anglais, de trèfles blanc et de trèfle rouge. Le second mélange était composé de dactyle, de fétuque élevée, de luzerne, de trèfle rouge, de lotier corniculé et de chicorée. Ceci dit, les chercheurs ont observé que le pâturin de prés et le lotier corniculé étaient moins bien adaptés à une utilisation en mélanges complexes dans les conditions de l'étude, étant donné leur croissance lente et leur difficulté à compétitionner avec les autres espèces. Finalement, au niveau de la valeur nutritive, il semblerait que la proportion graminée/légumineuse ait influencé davantage la qualité que la complexité des mélanges.

2.4 Persistance des peuplements

En Pennsylvanie, Hall *et al.* (1998) ont comparé les effets de trois types de paissances automnales avec des brebis matures sur la persistance des peuplements de graminées [ray-grass anglais (*Lolium perenne* L.), brome purgatif (*Bromus catharticus* Vahl) et fétuque élevée]. Les différentes gestions de pâturage testées étaient la paissance des stocks sur pied en novembre, la paissance continue jusqu'en novembre et la paissance en septembre. Dans cette étude, les deux types de paissance en novembre ont résulté

en une diminution des rendements en matière sèche de l'ordre de 15 % au printemps comparativement à la paissance en septembre. De plus, la persistance et la densité des peuplements sont apparues plus faibles dans ces mêmes conditions. Ceci dit, Wand et Jonhston (1999) ont obtenus des résultats opposés à ceux de Hall *et al.* (1998). En effet, à New Liskeard en Ontario, après trois années de fauches automnales ou de paissances par les moutons, les rendements en matière sèche sont demeurés les mêmes après la récolte d'automne ou ont même eu tendance à être plus élevés lorsqu'ils étaient récoltés en novembre plutôt qu'en septembre. De plus, selon les chercheurs, une rotation annuelle des pâturages mis en réserve permettraient de réduire les risques de destruction des peuplements durant l'hiver. Des résultats similaires ont été obtenus par Collins et Taylor (1980), où des récoltes échelonnées du premier octobre au 15 mars de parcelles de luzerne et de dactyle stockées sur pied en août ou en septembre n'ont affecté que faiblement les rendements au printemps suivant.

Au Wisconsin, Riesterer *et al.* (2000b) se sont intéressés à l'impact des différents temps de paissance des fourrages stockés sur pied sur la couverture du sol et les rendements des saisons subséquentes. Dans leur étude, trois périodes de défoliation ont été testées: octobre, décembre et mars. En général, la couverture de sol par les peuplements et les rendements printaniers n'ont pas été affectés par l'une ou l'autre des paissances dans la mesure où elles précédaient le début de la nouvelle saison de croissance. Par contre, dans les cas où la paissance a été réalisée après le début de la période de croissance en mars, les rendements printaniers ont été réduits de 36 % en 1997 et de 76 % en 1998 à l'un des sites.

2.5 Facteurs environnementaux

Outre la maturité et les rendements des peuplements fourragers qui dictent l'initiation de la paissance, certains facteurs environnementaux comme l'accumulation de neige et le degré d'humidité du sol ont une influence sur cette initiation.

D'une part, selon Decker *et al.* (1988) cités par Hedtcke *et al.*, (2002), les vaches et les moutons peuvent paître jusqu'à une accumulation de neige meuble de 0,5 m si une bonne quantité de fourrage est disponible sous celle-ci. En moyenne, dans les conditions du Québec, cette hauteur est généralement atteinte entre les mois de novembre et de décembre (Service météorologique du Canada, 2015). Ceci dit, d'autres sources plus conservatrices mentionnent des hauteurs de neige beaucoup plus restreintes. En effet, selon Wand et Johnston (1999), la paissance est possible pour les moutons jusqu'à une hauteur de 10 cm de neige non durcie, alors qu'elle est possible pour les bovins jusqu'à une hauteur de 15 cm lorsque les rendements en matière sèche sont supérieurs à 1500 kg ha⁻¹. Au Québec, une accumulation de neige de 10 à 15 cm est généralement atteinte entre les mois d'octobre et de novembre (Service météorologique du Canada, 2015). Ainsi, selon ce paramètre, une paissance automnale ou printanière est plus adaptée à notre climat qu'une paissance hivernale pour des peuplements de plantes fourragères pérennes.

D'autre part, le risque de dommage causé par le piétinement du sol par les animaux est aussi un facteur à considérer. Pour réduire ce phénomène, il peut être nécessaire de limiter le temps des bêtes sur une même surface ou encore d'attendre la gelée du sol pour initier la paissance (Wand et Johnston, 1999).

2.6 Valorisation des fourrages stockés sur pied

De manière générale, la qualité des fourrages stockés sur pied ne permet pas de maximiser les performances des bouvillons en croissance, mais peut convenir à d'autres classes d'animaux (Baron *et al.*, 2004 ; Hedtcke *et al.*, 2002 ; Poore *et al.*, 2000).

Par exemple, en Saskatchewan, Anez-Osuna *et al.* (2015) ont étudié les effets de deux suppléments d'énergie dégradable dans le rumen sur les performances de bœufs (poids initial de 334 ± 23.5 kg) pâturant des graminées vivaces de saison fraîche [agropyre à crête (*Agropyron cristatum* L.), brome inerme et pâturin des prés] stockées sur pied au début août et pâturées à la mi-octobre. Les performances des bouvillons recevant des suppléments ont été supérieures à ceux qui n'en recevaient pas. En effet, le GMQ des animaux sans supplément a été de $1,4$ kg jour⁻¹, alors que les animaux supplémentés ont eu des gains variant entre $1,7$ et $1,8$ kg jour⁻¹. En Alberta, Baron *et al.* (2016) ont aussi obtenu des GMQ inférieurs chez des animaux nourris avec du brome des prés stocké sur pied ($0,29$ kg jour⁻¹) qu'avec une ration totale mélangée ($0,41$ kg jour⁻¹) chez des animaux dont le poids initial était de 670 ± 88 kg. Toutefois, dans cette étude, le matériel offert aux bêtes était plus mature, car la pousse a débuté tardivement en novembre et s'est poursuivie jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de fourrage à consommer, soit sur une période de 77 à 100 jours selon les années. Ceci dit, Allen *et al.* (1992) avaient réussi à augmenter de près de 47 % les GMQ de bouvillons de 250 kg consommant du fourrage stocké sur pied en utilisant un mélange simple de luzerne et de fétuque élevée plutôt que cette dernière graminée en monoculture.

2.7 Équilibre des apports protéiques et énergétiques

Dans les fourrages, les teneurs en SS et en PB seraient sensiblement influencées par les mêmes paramètres: espèce, stade de développement, conditions climatiques (température, ensoleillement et sécheresse), moment de la récolte et disponibilité de l'azote (Berthiaume *et al.*, 1998 ; Cook et Harris, 1950).

Selon Kleen *et al.* (2001) cités par da Silva *et al.* (2013), une grande proportion de l'azote contenue dans les fourrages de légumineuses serait perdue dans l'environnement, car son utilisation est limitée par la quantité de matière organique fermentescible (glucides non fibreux et fibres digestibles) disponible dans le rumen des bovins. Edwards *et al.* (2007) ont identifié, dans une revue de littérature portant sur le ray-grass à teneur élevée en sucre, qu'un ratio SS:PB de 0,7 permettait de limiter les pertes en N dans l'environnement. Ainsi, da Silva *et al.* (2013) ont vérifié le ratio SS:PB de plusieurs graminées de climat frais ainsi que de trois légumineuses cultivées en monoculture et en mélanges binaires dans les conditions du Québec. Dans cet essai, les mélanges contenant la luzerne ont permis d'obtenir les meilleurs ratios, notamment lorsque combiné avec la fétuque des prés. Dans un deuxième essai publié en 2014, ces mêmes chercheurs ont implanté des parcelles de mélanges complexes pour entre autres en étudier les ratios SS:PB. Les mélanges contenant de la luzerne ont davantage tendu vers le ratio cible que les mélanges contenant du lotier, alors le mélange de graminées (fléole des prés, fétuque des prés, alpiste roseau et pâturin des prés) a permis d'obtenir le meilleur synchronisme des apports protéiques et énergétiques.

Parallèlement, des travaux de Pordomingo cités par Scott (2010) ont montré qu'un faible ratio PB:SS était associé à des gains moyens quotidiens plus élevés chez des bouvillons en croissance pâturant des céréales d'hiver et qu'il existait une relation linéaire entre ces deux facteurs. Dans cette étude, un ratio de 1 permettait des GMQ avoisinant les 0,9 kg jour⁻¹, alors que les gains diminuaient à 0,4 kg jour⁻¹ pour un ratio de 3,5.

2.8 Paissance simulée mécaniquement vs paissance animale réelle

Calder *et al.* (1970), dans une étude sur trois ans menée à Nappan et mettant à l'essai un mélange de graminées, un mélange de légumineuses et un mélange complexe, ont observé que les parcelles récoltées mécaniquement montraient des rendements en matière sèche plus faibles que les parcelles pâturées par les animaux. Ils ont aussi observé que l'écart de rendement entre les deux modes de paissance augmentait au fil des années. Le ratio relatif [parcelle pâturée: parcelle récoltée mécaniquement] a été de 109 % à la première année, de 176 % à la deuxième et de 251 % à la troisième. Bien qu'en partie expliquée par les excréments animales agissant comme fertilisant avec le système de paissance, des études antérieures citées par les auteurs soutiennent qu'un meilleur tallage et un meilleur enracinement sont des hypothèses plausibles. De plus, il semblerait qu'en retournant le matériel végétal fauché et retiré sous paissance simulée dans leurs parcelles respectives, l'écart entre les deux types de récolte pourrait être réduit. Ceci dit, Cashman *et al.* (2015) ont aussi comparé les rendements obtenus entre une paissance simulée et réelle. Contrairement à Calder *et al.* (1970), dans leur étude de trois ans sur le ray-grass anglais, ils ont constaté une corrélation acceptable ($r^2 > 0,5$) entre les deux types de récoltes, mais seulement à partir de la deuxième année d'exploitation. Les rendements obtenus par la paissance animale, au cours de ces deux dernières années, ont néanmoins été plus élevés que par la paissance simulée mécaniquement.

Parmi les hypothèses soulevées pour expliquer les différences de rendements entre les paissances réelle et simulée, un effet stimulant de certaines composantes de la salive a été cité à maintes reprises. Les composés chimiques de la salive des mammifères ayant un effet potentiel de régulateur de croissance sont, entre autres, la thiamine, le facteur de croissance épidermique (EGF), le facteur de croissance des nerfs (NGF) et le facteur de croissance transformant (TGF) (Li *et al.*, 2016), alors qu'il s'agirait de la jasmonate, des cytokinines et des auxines dans la salive des insectes (Liu *et al.* 2012).

Une étude menée dans la province du Jilin en Chine a comparé la réponse d'une graminée cultivée en pot (*Leymus chinensis*) à la salive de mouton et à deux composés spécifiques de la salive (EGF humain et thiamine) individuellement et en combinaison. Entre autres, les plantes ayant reçues une application de salive ovine après la coupe ont démontré une plus grande biomasse et un nombre supérieur de bourgeons que les plantes n'ayant reçu qu'une application d'eau déionisée ou de composés salivaires. Par contre, aucune différence n'a été remarquée quant à la hauteur des plants et les résultats ont variés selon la durée de la période de croissance (un ou deux mois) (Li *et al.*, 2016). Ceci dit, les effets de la salive sur la croissance des plantes sont encore mal compris car plusieurs autres essais ont obtenu des effets nuls ou négatifs (Liu *et al.* 2012).

2.9 Objectifs et hypothèses de recherche

2.9.1 Objectifs et hypothèses principaux

Avec comme objectif principal de prolonger la saison de paissance des bovins de boucherie en automne dans les conditions de l'Est du Canada, les objectifs spécifiques suivants ont été arrêtés:

1. Déterminer le ou les mélanges fourragers complexes, à base de luzerne et incluant 3 ou 4 graminées, qui permettent d'optimiser les rendements en matière sèche et la valeur nutritive du fourrage lorsque stockés sur pied.
2. Déterminer les dates d'initiation de la période d'accumulation et de récolte qui permettent d'optimiser les rendements en matière sèche et la valeur nutritive de mélanges fourragers complexes stockés sur pied.
3. Déterminer les effets d'une fertilisation azotée sur les rendements en matière sèche et la valeur nutritive de mélanges fourragers complexes à base de luzerne stockés sur pied.
4. Déterminer quelles catégories de bovin peuvent valoriser les pâturages stockés sur pied exploités sous différentes gestions.

Les hypothèses de cette étude en lien aux traitements testés sont les suivantes:

1. Une initiation hâtive de la période d'accumulation permet de maximiser les rendements en matière sèche de mélanges fourragers complexes.
2. Une initiation tardive de la période d'accumulation permet de maximiser la valeur nutritive de mélanges fourragers complexes.
3. Une fertilisation azotée de 50 kg N ha⁻¹ permet d'augmenter les rendements en matière sèche et la valeur nutritive de mélanges fourragers contenant de la luzerne.

4. La paissance des stocks sur pied dont la période d'accumulation a été initiée tardivement (gestion à deux coupes estivales) permet de soutenir les besoins nutritionnels journaliers d'animaux plus exigeants.
5. La paissance des stocks sur pied avant la gelée mortelle permet de soutenir les besoins nutritionnels journaliers d'animaux plus exigeants.

2.9.2 Objectifs et hypothèses secondaires

Étant donné la nécessité de récolter les parcelles durant l'été afin de les conditionner pour le stockage sur pied, un objectif connexe du projet est de déterminer le ou les mélanges fourragers complexes, à base de luzerne et incluant 3 ou 4 graminées, qui permettent d'optimiser les rendements et la valeur nutritive lorsque récoltés dans un système pour l'ensilage (deux coupes estivales) ou pour le foin (une coupe estivale). L'hypothèse associée est qu'une gestion à deux coupes permet d'optimiser les rendements et la valeur nutritive des mélanges en été.

CHAPITRE 3

MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Implantation et exploitation des parcelles expérimentales

L'approche méthodologique pour vérifier les hypothèses a été l'utilisation de parcelles expérimentales qui ont été implantées à trois sites représentatifs des conditions climatiques de l'Est du Canada, soit Nappan en Nouvelle-Écosse (lat. 45° 46' N, long. 64° 14' O), Normandin au Québec (lat. 48° 51' N, long. 72° 32' O) et New Liskeard en Ontario (lat. 47° 51' N, long. 79° 67' O).

Le dispositif expérimental était un plan en parcelles partagées qui a été répété trois fois à chacun des sites. La fertilisation azotée (0 ou 50 kg N ha⁻¹) était en parcelles principales, le système de coupes estivales avant l'initiation du stockage sur pied (une coupe identifiée comme le « système foin » ou deux coupes identifiées comme le « système ensilage ») en parcelles secondaires, le moment de la paissance simulée en automne (avant le gel identifié comme « septembre » ou après le premier gel mortel de -3°C identifié comme « octobre ») en parcelles tertiaires et les cinq mélanges complexes en parcelles quaternaires. Au total, le dispositif était composé de 120 parcelles. Les graminées compagnes dans les différents mélanges à base de luzerne (*Medicago sativa* L.) étaient les suivantes: pâturin des prés (*Poa pratensis* L.), fétuque élevée à feuilles souples (*Festuca arundinacea* Schreb.), fétuque des prés (*Festuca pratensis* L.), dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata* L.), brome des prés (*Bromus riparius* Rehm.), fléole des prés (*Phleum pratense* L.), fétuque des prés (*Festuca pratensis* L.), alpiste roseau (*Phalaris arundinacea* L.) et fétuque rouge traçante (*Festuca rubra* L.). Les cultivars utilisés et les taux de semis pour chacun des mélanges sont présentés au Tableau 3.1. Les graminées sélectionnées ont été choisies selon leur prédisposition au stockage sur pied d'après Baron *et al.* (2004) et selon leur

compatibilité lorsque associées en mélange complexe d'après Papadopoulos *et al.* (2012). Le cultivar de luzerne utilisé a été développé au Centre de recherche et de développement de Kentville (N.-É.). Il présente une bonne tolérance au broutage, une production de rhizomes importante et une pérennité accrue (AAC, 2017).

Avant l'implantation des parcelles, les sites ont été traités au glyphosate (Roundup, Monsanto Co., St. Louis, MO, USA) pour éliminer toute biomasse végétale présente. Les parcelles ont été semées en rangs et celles-ci avaient une dimension de 1,5 m × 6 m à New Liskeard, alors qu'elles étaient de 1,5 m × 5 m aux deux autres sites. Les parcelles ont été implantées en 2014 et récoltées pendant les deux années suivantes (2015 et 2016). Au printemps de chaque année de production, une fertilisation en phosphore et en potassium a été réalisée au besoin, selon les analyses de sols. À tous les sites, la fertilisation azotée (50 kg N ha⁻¹) a été appliquée au début de la mise en réserve dans un délai maximal de 5 jours suivant la récolte estivale de juillet pour les parcelles du système foin ou d'août pour les parcelles du système ensilage. Les dates de récolte des systèmes fourragers estivaux ainsi que les dates des paissances mécaniques automnales sont présentées au Tableau 3.2. La fertilisation appliquée à tous les sites au semis et aux deux années d'exploitation est présentée au Tableau 3.3.

3.2 Composition botanique

La composition botanique a été déterminée à deux reprises à chaque année de production. Selon le système, la première évaluation a été faite tout juste avant la première récolte en juin (système Ensilage) ou en juillet (système Foin) et la seconde en septembre (avant gel) ou en octobre (après gel) tout juste avant la paissance simulée mécaniquement. Sur chaque parcelle, deux quadrats ont été prélevés à une hauteur de 5 cm à l'aide d'une faucille. Les quadrats avaient une dimension de 0,25 m par 0,25 m à New Liskeard et de 0,50 m par 0,50 m aux autres sites. La biomasse récoltée a été séparée manuellement en ses différentes composantes: luzerne, chaque

espèce de graminée, mauvaises herbes et matériel mort. Chaque composante a été séchée dans un four à convection forcée à 100 °C pendant 24 heures et pesée pour évaluer leur contribution relative au rendement en matière sèche. Toutefois, pour simplifier la présentation des données dans les tableaux de composition botanique, toutes les espèces de graminées ont été regroupées en une seule fraction: graminées semées (GS). Les données de composition botanique des systèmes estivaux sont présentées au Tableau 3.4. Pour les systèmes de stockage sur pied, les données sont présentées au Tableau 3.5 pour Nappan, au Tableau 3.6 pour New Liskeard et au Tableau 3.7 pour Normandin.

3.3 Rendement en matière sèche

Pour déterminer le rendement en matière sèche (MS), les parcelles ont été récoltées avec une fourragère automotrice à fléaux Carter (Carter MGF Co., Inc., Brookston, IN, USA) aux sites de New Liskeard et de Nappan et avec une fourragère poussée à fléaux Swift (Swift Machine and Welding, Swift Current, SK, Canada) au site de Normandin. Pour chacune des parcelles, le poids frais de la biomasse récoltée a été enregistré. Ensuite, un échantillon d'environ 500 g a été prélevé et séché à 55 °C pendant 72 heures pour établir la teneur en matière sèche du matériel récolté et ainsi déterminer le rendement en matière sèche à l'hectare (kg MS ha^{-1}). Les échantillons secs ont ensuite été moulus en utilisant un broyeur Wiley (Standard model 4, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA, USA) muni d'un tamis de 1 mm. Au total, 1800 échantillons ont été produits en 2015 et 2016. Ces échantillons ont été conservés afin d'être balayés par spectroscopie de réflectance dans le visible et le proche infrarouge (VNIRS) (Near Infrared Reflectance 6500, Foss) et pour les analyses chimiques ultérieures.

3.4 Analyses des attributs de valeur nutritive

L'évaluation de la valeur nutritive d'un fourrage est difficile à déterminer en utilisant chaque paramètre nutritionnel individuellement. En production de veaux d'embouche, le calcul des unités nutritives totales (UNT), qui fait la sommation de l'énergie digestible contenue dans les fibres, les protéines, les lipides et les glucides non fibreux, est un paramètre fréquemment utilisé pour déterminer la valeur nutritive d'un fourrage. Le calcul des UNT permet de déterminer quels types d'animaux peuvent valoriser adéquatement les fourrages récoltés durant la saison de croissance ou lorsque mis en réserve. Les UNT ont été calculées en utilisant une formule adaptée du logiciel *Milk 2013* (Undersander *et al.*, 2013), c'est-à-dire exprimées en g UNT kg⁻¹ MS plutôt qu'en % de la MS. De plus, étant donné que les protéines brutes liées à la fibre NDF (PBNDF) n'ont pas été mesurées en laboratoire, celles-ci n'ont pas été soustraites à la teneur en fibre NDF tel que suggéré par le logiciel.

$$UNT (g \text{ kg}^{-1} \text{ MS}) = \left[(0,93 \times PB) + (0,97 \times (EE - 10) \times 2,25) + (GNS \times 0,98) + \left(NDF \times \frac{NDFd_{ajusté}}{1000} \right) \right] - 70$$

À chaque année d'exploitation, parmi les 900 échantillons produits et balayés au spectromètre, 75 dont les spectres contribuaient de manière importante à la variation observée ont été sélectionnés à l'aide du logiciel WinISI II (version 1,5). Ces 150 échantillons ont ensuite été analysés par chimie humide. Les résultats des analyses chimiques des deux années ont été amalgamés pour développer des équations de calibration et de validation. De plus, sept échantillons de 2015 et sept échantillons de 2016 considérés comme hors population ont aussi été analysés par chimie humide. Au total, 120 des 150 échantillons analysés par chimie humide ont été choisis aléatoirement pour développer les équations de prédiction des attributs de valeur nutritive, alors que les 30 autres échantillons ont servi à confirmer la validité de ces équations. Les paramètres de validation des équations de prédiction ont été considérés de bonnes à excellentes puisque les ratios de déviation de prédiction pour tous les

paramètres ont été supérieurs à trois. Les paramètres qui ont été prédits sont les fibres insolubles au détergent acide (ADF), les fibres insolubles au détergent neutre (aNDF), les protéines brutes (PB) et la digestibilité vraie de la matière sèche (DVMS 48 h). Les statistiques de validation sont présentées au Tableau 3.8, alors que les moyennes de chacun des attributs de valeur nutritive sont présentées au Tableau 3.9 pour les systèmes estivaux et aux Tableaux 3.10 et 3.11 pour les systèmes de stockage sur pied.

Les concentrations en aNDF et ADF ont été déterminées selon la procédure de Van Soest *et al.* (1991). Du sulfite de sodium et l'enzyme α -amylase thermostable ont été ajoutés pour l'extraction de la fibre aNDF (Mertens, 2002). L'analyse des fibres aNDF et ADF a été réalisée avec un appareil ANKOM 200/220 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY). Des sacs d'une porosité de 25 microns (ANKOM Technology F57 Filter Bags) ont été utilisés pour ces analyses. La matière sèche analytique des échantillons sélectionnés par VNIRS a été déterminée en séchant 1,0 g d'échantillon pendant 24 heures dans un four à convection forcée à une température de 100°C selon la méthode AOAC 967.03 (1990). Ensuite, tous les résultats des attributs de valeur nutritive ont été exprimés sur une base 100 % MS.

La digestibilité vraie de la matière sèche (DVMS) et la digestibilité de la fibre NDF (NDFd) mesurée *in vitro* ont été déterminées selon Van Soest *et al.* (1991) avec du liquide ruminal en effectuant une incubation de 48 heures avec le système ANKOM Daisy II ainsi qu'un rinçage au détergent neutre selon la méthodologie décrite par ANKOM Technology (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY). Le liquide ruminal utilisé a été obtenu d'une vache Holstein fistulée de quatre ans dont l'alimentation était composée à 50 % d'ensilage (luzerne et graminées) et de 50 % de grains.

La digestibilité de la fibre NDF après 48 h d'incubation avec du liquide ruminal (NDFd 48h) a été calculé en utilisant la formule suivante:

$$\text{NDFd (g kg}^{-1}\text{ NDF)} = 1000 \times ((\text{aNDF} - (1000 - \text{DVMS}))/\text{aNDF})$$

La concentration en azote total a été déterminée par combustion sèche avec un appareil TruMac CNS (Leco Corporation, St. Joseph, MI) à partir d'un échantillon sec de 0,25 g. La combustion a été réalisée à une température de 1350 °C, soit la température recommandée par le fabricant. La concentration en protéines brutes a ensuite été calculée en multipliant la teneur en azote total par le facteur 6,25.

La teneur en cendres a été déterminée par la calcination d'un échantillon sec de 2,0 g mis au four moufle durant 2 heures à une température de 600 °C selon la méthode officielle AOAC 942.05 (2005). Comme ce paramètre est difficilement prédictible par VNIRS, tous les échantillons ont été analysés chimiquement, à l'exception des échantillons des coupes estivales du système ensilage où un échantillon composite a été réalisé. Dans ce cas, 1,0 g d'échantillon de chaque coupe a été utilisé.

Les extraits éthérés (EE) utilisés pour faire le calcul des UNT sont des valeurs moyennes provenant d'un projet de mélanges binaires à base de luzerne (Lafrenière, résultats non publiés) mené au site de New-Liskeard durant les mêmes années d'exploitation. Les données obtenues dans ce projet ont été comparées à des données de la littérature scientifique où les teneurs observées sont plus élevées en automne qu'en été dans des conditions similaires (Glasser *et al.*, 2013). Pour New Liskeard et Normandin, les teneurs estimées pour les coupes estivales 1 et 2 ainsi que pour les coupes automnales étaient respectivement de 18, 17 et 21 g EE kg⁻¹ MS, alors qu'elles étaient de 13, 14 et 16 g EE kg⁻¹ MS pour Nappan.

Les glucides non fibreux (GNF) ont été calculés en utilisant la formule suivante:

$$\text{GNF} = 1000 - (\text{PB} + \text{aNDF} + \text{Cendres} + \text{EE})$$

Le $NDFd_{ajusté}$ a été calculé en utilisant la formule suivante:

$$NDFd_{ajusté} = \left(\frac{450}{NDFd \text{ moyen du laboratoire}} \right) \times NDFd$$

Les UNT et les rendements en MS ont été utilisés conjointement pour déterminer les mélanges qui permettent d'optimiser les superficies en pâturage. Ainsi, le rendement en UNT par hectare a été calculé selon la formule suivante:

$$Rendement \left(\frac{kg \text{ UNT}}{ha} \right) = UNT \left(\frac{g \text{ UNT}}{kg \text{ MS}} \right) \times \frac{1 \text{ kg UNT}}{1000 \text{ g UNT}} \times Rendement \text{ en MS} \left(\frac{kg \text{ MS}}{ha} \right)$$

Pour le système ensilage, les UNT ont été calculées pour chacune des coupes estivales, mais c'est la valeur moyenne des deux coupes qui a été utilisée pour les analyses statistiques de manière à conserver l'équilibre du dispositif expérimental.

3.5 Analyses statistiques

3.5.1 Analyses statistiques des mélanges et systèmes estivaux

Le rendement en matière sèche, la valeur nutritive et le rendement en unités nutritives totales des systèmes (foin *vs* ensilage) de chaque site a été analysé avec un modèle d'analyse de variance pour mesures répétées à l'aide de la procédure PROC MIXED de SAS (Littell, 2006 ; SAS, 2012). Les effets fixes du modèle sont les systèmes, les mélanges, les années et les interactions entre ces effets. Les effets aléatoires sont les blocs, les grandes parcelles définies par l'interaction (bloc \times système) et les sous parcelles définies par l'interaction (bloc \times système \times mélange). Une structure de variance-covariance a été ajustée aux erreurs aléatoires du modèle pour tenir compte des corrélations entre les observations de 2015 et de 2016 effectuées sur les mêmes parcelles. Les tests de F sur les effets fixes ont été jugés significatifs au seuil de $P \leq$

0,05. Les moyennes des moindres carrés et les erreurs types ont été calculées pour toutes les combinaisons de traitements. Le test de Student a été utilisé pour les comparaisons deux à deux entre les traitements lorsqu'un effet était déclaré significatif avec le test de F.

3.5.2 Analyses statistiques du fourrage stocké sur pied

Le rendement en matière sèche, la valeur nutritive et le rendement en unités nutritives totales des parcelles mises en réserve de chaque site ont été analysés avec un modèle d'analyse de variance pour mesures répétées à l'aide de la procédure PROC MIXED de SAS (Littell., 2006 ; SAS, 2012). Les effets fixes du modèle sont les doses d'azote (0 vs 50 kg N ha⁻¹), la période d'initiation de la mise en réserve (juillet vs août), la paissance (septembre vs octobre), les mélanges, l'année et les interactions entre ces effets. Les effets aléatoires sont les blocs et les interactions (bloc × dose), (bloc × dose × période), (bloc × dose × période × paissance) et (bloc × dose × période × paissance × mélange). Une structure de variance-covariance a été ajustée aux erreurs aléatoires du modèle pour tenir compte des corrélations entre les observations de 2015 et de 2016 effectuées sur les mêmes parcelles. Les tests de F sur les effets fixes ont été jugés significatifs au seuil de $P \leq 0,05$. Les moyennes des moindres carrés et les erreurs types ont été calculées pour toutes les combinaisons de traitements. Le test de Student a été utilisé pour les comparaisons deux à deux entre les traitements lorsqu'un effet était déclaré significatif avec le test de F.

3.6 Présentation des résultats de recherche

Afin d'uniformiser la présentation des résultats, les données ont été colligées dans des tableaux communs aux trois sites et présentant la valeur moyenne de chaque traitement pour chaque année de récolte. Dans les cas où il n'y avait pas d'interaction entre l'année et la variable étudiée, l'utilisation de la moyenne des deux années aurait pu être adéquate. Néanmoins, la séparation par année a permis de voir l'évolution des mélanges fourragers complexes entre la première et la deuxième année d'exploitation. Cet aspect est intéressant, car l'usage de ce type de mélange a pour objectif, entre autres, de stabiliser les performances au fil des ans.

Les différences statistiques significatives observées entre les traitements n'ont pas toutes été discutées parce qu'elles n'avaient pas nécessairement une significativité agronomique. Pour les rendements en MS, des écarts de 1000 kg MS ha⁻¹ ont été jugés d'intérêt. Cette valeur conservatrice correspond au rendement en MS minimum qui justifie de réaliser un chantier d'ensilage (René Roy, communication personnelle). Pour la valeur nutritive, des écarts de 50 g UNT kg⁻¹ MS ont été considérés comme significatifs (Robert Berthiaume, communication personnelle). Finalement, pour les rendements en UNT à l'hectare, des différences de 500 kg UNT ha⁻¹ ont été jugées significatives d'un point de vue agronomique. Cette valeur combine la différence de rendement en MS minimale qui a été jugée d'intérêt d'un point de vue agronomique et la valeur nutritive minimale recherchée qui est de 500 g UNT kg⁻¹ MS.

*Seul de significativité*_{Rdt UNT} =

$$\frac{1000 \text{ kg MS}}{\text{ha}} \times \frac{500 \text{ g UNT}}{\text{kg MS}} \times \frac{1 \text{ kg UNT}}{1000 \text{ g UNT}} = \frac{500 \text{ kg UNT}}{\text{ha}}$$

CHAPITRE 4

RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Données météorologiques

Les plantes fourragères sont des cultures vivaces dont le rendement en matière sèche est grandement influencé par les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises durant leur croissance. Les données météorologiques de chacun des sites de l'année d'implantation (2014) et des deux années d'exploitation (2015 et 2016) sont présentées au Tableau 4.1.

En 2015, à New Liskeard, la saison de croissance a été caractérisée par un printemps chaud, un mois de juin frais, un été dans les normales et un début d'automne chaud. À Normandin, les températures ont été plus chaudes durant toute la saison de croissance, excepté en juin qui fût légèrement sous les normales. À Nappan, la fin d'été a été plus chaude que la normale, alors que le reste de la saison a été conforme ou légèrement inférieur aux températures observées habituellement. Au niveau des précipitations, elles ont globalement été inférieures aux normales à New Liskeard. À Normandin, les mois d'avril et de juillet ont été particulièrement pluvieux, alors que le reste de la saison a été près des moyennes enregistrées pendant plusieurs années. Finalement, à Nappan, les précipitations ont été très variables avec un pic de précipitations en juin. À ce mois, la quantité de pluie reçue (202,1 mm) a été deux fois et demi supérieure à la normale (79,6 mm).

À tous les sites, l'année 2016 a été caractérisée par un printemps froid, un début d'été dans les moyennes et une fin d'été plus chaude. Au niveau des précipitations, elles ont été inférieures aux normales durant toute la saison de croissance à New Liskeard et supérieures à Normandin. Notamment, ce dernier site a reçu près de 50 % plus de précipitations et a été caractérisé par des mois de septembre et d'octobre

particulièrement pluvieux. À Nappan, tout comme en 2015, le patron de précipitations a été variable, avec des mois de juin et de septembre particulièrement secs.

4.2 Rendement en matière sèche

4.2.1 Rendements en matière sèche du fourrage des systèmes estivaux

Le système ensilage a produit des rendements significativement plus élevés que le système foin à tous les sites aux deux années d'exploitation (Tableau 4.2). Ces observations étaient prévisibles étant donné qu'il n'y a eu qu'une seule récolte pour le système foin et deux récoltes pour le système ensilage (Tableau 3.2). Toutefois, les différences de rendement entre les deux systèmes n'ont pas été les mêmes à chaque année à tous les sites, puisque des interactions significatives Année \times Système ($P < 0,0001$) ont été observées aux trois sites. Les conditions de pluviométrie et de température contrastantes entre les deux années peuvent expliquer ces résultats, notamment le mois de juin à Nappan (202,1 mm en 2015 vs 28,6 mm en 2016). À ce site, malgré une diminution des précipitations (Tableau 4.1), le rendement a augmenté à la deuxième année de production. Une telle augmentation avait aussi été observée dans un essai antérieur au même site. Les auteurs avaient alors émis l'hypothèse que l'établissement des mélanges complexes nécessitait plus d'une année sous les conditions de ce site (Papadopoulos *et al.* 2012). À New Liskeard, le système ensilage a offert des rendements stables entre les deux années, soit de 5730 kg MS ha⁻¹ en 2015 et de 5770 kg MS ha⁻¹ en 2016. À Normandin, c'est plutôt le système foin qui a montré cette stabilité avec des rendements de 3140 kg MS ha⁻¹ en 2015 et de 3473 kg MS ha⁻¹ en 2016. De leur côté, le système foin de New Liskeard et le système ensilage de Normandin ont produit moins en 2016 qu'en 2015, une diminution de plus de 1000 kg⁻¹ MS dans les deux cas (Tableau 4.2).

Aux sites de New Liskeard et de Normandin, aucun mélange complexe ne s'est démarqué durant la saison estivale ($P > 0,05$). Par contre, au site de Nappan, des différences significatives ont été observées ($P = 0,0379$) et la réponse des mélanges a été différente selon les années ($P < 0,0001$), mais pas selon les systèmes ($P > 0,05$) (Tableau 4.2). En effet, l'analyse statistique des années à l'intérieur des mélanges a démontré qu'il y avait des différences significatives entre les mélanges seulement en 2015 ($P < 0,0001$). Le mélange 4 (luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés) a donné le rendement le plus faible avec 6395 kg MS ha⁻¹ et les mélanges 1 (luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés) et 2 (luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau) les plus élevés avec respectivement 7896 et 8128 kg MS ha⁻¹ (Tableau 4.2). À l'été 2015, la fléole des prés a été l'espèce la plus importante dans le mélange 1 avec près de 50 % de la contribution au rendement en MS. Cependant, dans le mélange 2, la fléole des prés et la fétuque des prés ont contribué de manière équitable avec près de 30 % de la MS chacune (données non présentées). Dans un essai sur les mélanges complexes à base de trèfle blanc, Papadopoulos *et al.* (2012) avaient aussi observé que la combinaison de graminées du mélange 2 permettait d'obtenir les meilleurs rendements des combinaisons testées sur une période de quatre ans en Nouvelle-Écosse.

Les rendements observés à Nappan ont été considérablement plus élevés qu'aux deux autres sites, particulièrement en 2016. Par exemple, à ce site, la production moyenne des mélanges exploités sous le système ensilage a atteint 8726 kg MS ha⁻¹ en 2015 et 14 413 kg MS ha⁻¹ en 2016. La contribution de la luzerne au rendement a augmenté de façon très importante en 2016 pour le système ensilage ce qui pourrait expliquer les résultats obtenus malgré une diminution des précipitations. La production moyenne observée avec ce même système estival a varié de 4217 à 5770 kg MS ha⁻¹ aux deux autres sites (Tableau 4.2).

4.2.2 Rendement en matière sèche du fourrage des systèmes de stockage sur pied

L'application de 50 kg N ha⁻¹ lors l'initiation du stockage n'a pas permis d'augmenter de façon marquée les rendements en MS. En effet, une différence significative ($P = 0,0469$) a uniquement été observée au site de New Liskeard en 2015 (Tableau 4.3). Toutefois, cette augmentation de rendement est d'importance faible d'un point de vue agronomique, car elle n'était que de 493 kg MS ha⁻¹ (Tableau 4.4). Par ailleurs, une interaction significative Année \times Dose \times Initiation a été observée à tous les sites, indiquant que l'azote répond différemment selon les années et selon le début de la mise en réserve (Tableau 4.3). L'augmentation de rendement la plus élevée a été observée avec une initiation du stockage en juillet au site de New-Liskeard (+13,5 % ; +549 kg MS ha⁻¹) (Tableau 4.5). Une telle augmentation n'est pas très importante d'un point de vue agronomique. En 2016, la réponse de l'azote a été la même pour les deux périodes d'initiation, c'est-à-dire presque nulle. Ainsi, il semblerait que la luzerne ait permis, par sa relation symbiotique avec les bactéries du genre *Rhizobium*, de fixer suffisamment d'azote atmosphérique pour maximiser le potentiel de rendement des mélanges (Tableau 4.4). La contribution de la luzerne au rendement a été supérieure à plus de 34% à tous les sites. En effet, en 2015 et 2016, elle a respectivement été de 34 et de 43 % à Nappan (Tableau 3.5), de 59 et de 80 % à New Liskeard (Tableau 3.6) et de 55 et de 77 % à Normandin (Tableau 3.7). Ceci dit, dans une étude réalisée au Wisconsin testant uniquement des graminées stockées sur pied, Riesterer *et al.* (2000) avaient observé qu'une application d'azote au début août permettait d'augmenter le rendement en matière sèche de près de 75 %. Ainsi, la fertilisation azotée à appliquer doit donc être fonction de la présence d'une légumineuse. Au-dessus de 34% de légumineuse, comme dans les conditions de notre étude, aucune fertilisation azotée ne serait nécessaire d'après les résultats obtenus.

L'analyse de variance a démontré un effet important du mois d'initiation du stockage aux trois sites étudiés (Tableau 4.3). De façon générale, un stockage à partir du mois de juillet a permis une production plus élevée de biomasse végétale (Tableau 4.4). De

plus, une interaction Année \times Initiation ($P < 0,0001$) a été observée à tous les sites. Celle-ci est expliquée par des différences de rendements entre les deux périodes de stockage qui sont plus élevées en 2015 qu'en 2016 pour les sites de Normandin et de Nappan. Cet écart peut s'expliquer par des conditions climatiques plus favorables à la croissance en juillet 2015 qu'en juillet 2016 (Tableau 4.1). À New Liskeard, l'analyse statistique à l'intérieur des années montre plutôt que des différences de production ont été observées entre les deux périodes d'initiation du stockage en 2015, mais pas en 2016.

Le moment de la paissance en automne a résulté en des différences significatives à New Liskeard ($P = 0,0013$) et à Nappan ($< 0,0001$) et celles-ci n'ont pas été les mêmes pendant les deux années ($P < 0,05$) (Tableau 4.3). De manière générale, une paissance en septembre plutôt qu'en octobre a permis de maximiser les rendements, sauf à Nappan en 2015 où une croissance importante de 3692 kg MS ha⁻¹ a eu lieu après le mois de septembre (Tableau 4.4). Le déficit hydrique de l'année 2016 pourrait avoir limité le potentiel de rendement des mélanges en automne (Tableau 4.1), ce facteur météorologique étant particulièrement important pour les graminées qui présentent un système racinaire superficiel comme le pâturin des prés et la fléole des prés. D'ailleurs, une interaction Année \times Initiation \times Paissance a été observée à ce site maritime ($P < 0,0001$) où effectivement en 2015, les rendements ont été maximisés en octobre et non en septembre. De plus, lors de cette même année, l'initiation en août a donné des rendements en MS inférieurs à une initiation en juillet. (Tableau 4.6). L'interaction Année \times Initiation \times Paissance a aussi été significative à New Liskeard ($P = 0,0005$) (Tableau 4.3). À ce site, bien qu'on ait observé une baisse générale des rendements en 2016 en comparaison de 2015, ce sont les parcelles stockées en juillet et récoltées en octobre qui ont présenté la plus grande diminution (Tableau 4.6). Celles-ci ont produit des rendements équivalents à celles stockées en août, peu importe le moment de la paissance. Les rendements moins élevés de 2016 peuvent être expliqués par une température plus élevée et des

précipitations sous les normales (Tableau 4.1). Ces deux paramètres combinés mènent à un niveau d'évapotranspiration élevé, donc à une faible disponibilité de l'eau pour la croissance des plantes. De plus, les données brutes de New Liskeard montrent que la luzerne a gagné en importance dans les mélanges entre la première et la deuxième année d'exploitation, atteignant près de 97 % de la MS dans certaines parcelles (Tableau 3.6). Or, la luzerne tend à perdre ses feuilles avec la maturité et ce phénomène est aggravé après un épisode de gel, pouvant ainsi expliquer la diminution des rendements en MS obtenue entre 2015 et 2016 en automne et plus particulièrement en octobre.

Des différences significatives ont été observées entre les mélanges fourragers complexes au site de New Liskeard ($P < 0,0001$) et au site de Nappan ($P < 0,0001$), ainsi qu'une interaction Année \times Mélange au site de Nappan ($P = 0,0168$) (Tableau 4.3). Cette interaction est causée par le mélange 5 (luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau) dont la diminution de rendement en 2016 a été moins élevée que les autres mélanges (Tableau 4.4). À New Liskeard, les mélanges contenant la fétuque élevée et le brome des prés (mélanges 3, 4 et 5) ont eu une production semblable, alors que les deux mélanges contenant la fléole des prés (mélanges 1 et 2) ont montré les plus faibles rendements en MS. Plusieurs études antérieures ont montré l'excellent potentiel de mise en réserve de la fétuque élevée (Riesterer *et al.*, 2000 ; Volesky *et al.*, 2008), alors que le brome des prés avait été identifié comme l'espèce la mieux adaptée pour cet usage dans l'Ouest (Baron *et al.*, 2004). Néanmoins, la différence avec les autres mélanges est en pratique considérée comme faible ($< 300 \text{ kg MS ha}^{-1}$). Complémentairement, Baron *et al.* (2004) avaient aussi observé que la fléole des prés stockée sur pied donnait de bons rendements les années où les précipitations étaient abondantes. Or, les saisons de croissance 2015 et 2016 se sont avérées particulièrement sèches à New Liskeard (Tableau 4.1), ceci pouvant expliquer sa faible proportion dans les mélanges ($< 10 \%$). À ce site, une interaction Initiation \times Mélange ($P = 0,0003$) a été observée (Tableau 4.3). Cette

dernière est causée par le mélange 4 (luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés) qui a mieux performé lorsque l'initiation du stockage s'est réalisée en juillet plutôt qu'en août (Tableau 4.7). Finalement, une interaction Année \times Initiation \times Mélange significative ($P = 0,016$) a été observée au site de Nappan (Tableau 4.3). Cette interaction est causée par le mélange 4 (luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés). En 2015, en initiation le stockage en août, le rendement du mélange 4 a été le plus élevé alors qu'en 2016, ce même mélange a donné les rendements les plus élevés aux deux mois d'initiation. Par exemple, en 2015, la production moyenne du mélange 4 stocké en juillet a été de 6814 kg MS ha⁻¹, alors que la production moyenne des mélanges se situait à 6791 kg MS ha⁻¹. Lorsque stocké en août, le rendement de ce mélange atteignait 5833 kg MS ha⁻¹, alors que la production moyenne des autres mélanges était de 4680 kg MS ha⁻¹ (Tableau 4.7). Il s'agit d'un écart de 1142 kg MS ha⁻¹. D'une part, à ce site, cet écart pourrait être attribuable aux conditions climatiques et, d'autre part, à la composition botanique des mélanges. En effet, l'importance relative des différentes espèces contenues dans le mélange 4 a considérablement changé entre 2015 et 2016. À la deuxième année d'exploitation, particulièrement pour les parcelles récoltées en septembre, une diminution de l'importance relative de la luzerne a été observée, alors que le dactyle aggloméré a gagné en abondance (>40 % de la MS). De manière moins importante, l'importance relative de la fétuque élevée a aussi tendu à diminué, alors que le brome des prés a été plutôt stable et relativement marginal (données non présentées).

4.3 Valeur nutritive

4.3.1 Valeur nutritive du fourrage des systèmes estivaux

En été, les récoltes effectuées visaient à simuler des chantiers de fenaison (une coupe) ou d'ensilage (deux coupes), tels que réalisés en production vache-veau. Pour le système ensilage, les valeurs nutritives présentées dans cette section correspondent à celles du fourrage récolté sous ce système et ayant été séché. Ainsi, l'utilisation du terme ensilage réfère à la gestion des coupes estivales et non au fourrage ensilé.

Au site de New Liskeard, le système ensilage a permis d'obtenir des fourrages dont la valeur nutritive était supérieure de près de 10 % pour les deux années d'exploitation, soit de 569 g UNT kg⁻¹ MS en 2015 et de 586 g UNT kg⁻¹ MS en 2016 (Tableau 4.8). Cette différence de qualité est importante d'un point de vue agronomique (> 50 g UNT kg⁻¹ MS), car elle permet de soutenir les besoins nutritionnels d'animaux plus exigeants (Lalman et Richards, 2004). Pour les deux autres sites, une interaction significative Année × Système a été observée ($P < 0,0001$). Par conséquent, le système ensilage a permis de maximiser la valeur nutritive du fourrage en 2015 pour Normandin (587 g UNT kg⁻¹ MS) et en 2016 pour Nappan (525 g UNT kg⁻¹ MS), alors qu'aucune différence significative n'a été observée entre les deux systèmes fourragers aux autres années pour ces mêmes sites (Tableau 4.8). À priori, ces résultats sont surprenants. Cependant, à Nappan, l'analyse des valeurs nutritives par coupe du système ensilage montre que la qualité a été bonne à la première coupe (578 g UNT kg⁻¹ MS, donnée non présentée), mais que la qualité de la deuxième coupe (538 g UNT kg⁻¹ MS, donnée non présentée) a été équivalente à la qualité de l'unique coupe du système foin (542 g UNT kg⁻¹ MS) pour l'année 2015. Comme l'analyse statistique a été réalisée avec la valeur nutritive moyenne des deux coupes du système ensilage (558 g UNT kg⁻¹ MS), aucune différence significative n'a été observée en comparaison au système foin (542 g UNT kg⁻¹ MS). Ce même constat a aussi été fait à Normandin durant l'année 2016. En effet, à ce site, la valeur nutritive de la

première coupe du système ensilage (629 g UNT kg⁻¹ MS) a été supérieure à celle du fourrage du système foin (603 g UNT kg⁻¹ MS), mais inférieure lors de la deuxième coupe (571 g UNT kg⁻¹ MS) (données non présentées).

Aux sites de New Liskeard et de Normandin, des valeurs nutritives légèrement supérieures ont été observées en 2016 en comparaison de 2015. Cette hausse pourrait être attribuable à l'augmentation de la proportion de luzerne dans les différents mélanges. En effet, en 2015, la contribution relative moyenne de la luzerne au rendement en MS était de 59 % à Normandin et de 42 % à New Liskeard, alors qu'elle atteignait respectivement 72 % et 68 % à ces deux sites en 2016 (Tableau 3.4). D'autre part, à New Liskeard, on a aussi observé une diminution de la présence des mauvaises herbes à la deuxième année d'exploitation (Tableau 3.4). À Nappan, en 2016, une diminution de la teneur en UNT du fourrage a plutôt été observée en comparaison de 2015, notamment pour le système foin. Dans ce dernier cas, la proportion élevée de matériel mort (variant de 6,4 % à 11,6 % selon les mélanges, Tableau 3.4) pourrait être la cause de cette importante diminution de près de 100 g UNT kg⁻¹ MS (542 g UNT kg⁻¹ MS en 2015 vs 444 g UNT kg⁻¹ MS en 2016). En comparaison, le taux de matériel mort retrouvé dans les parcelles en 2015 se situait à des niveaux variant de 3 et 5 % (Tableau 3.4). La faible qualité du fourrage produit sous le système foin en 2016 montre qu'une gestion estivale impliquant une seule coupe peut, selon les années, ne pas être adéquate à Nappan étant donné la croissance estivale qui est de deux à trois fois plus importante qu'à New Liskeard et Normandin (Tableau 4.2). Cette valeur nutritive médiocre est associée à une faible teneur en PB, à des teneurs élevées en fibres (ADF, aNDF) et à une faible digestibilité vraie de la MS (Tableau 3.9).

Des différences statistiques significatives ont uniquement été observées entre les mélanges complexes aux sites de New Liskeard ($P < 0,0001$) et de Normandin ($P < 0,0001$) (Tableau 4.8). Par ailleurs, à New Liskeard, une interaction Année ×

Mélange ($P = 0,0019$) a été observée. Celle-ci est expliquée par la valeur nutritive du mélange 4 qui a été similaire à celle des mélanges 1 et 2 en 2016 alors qu'en 2015, la valeur nutritive du mélange 4 a été inférieure à celle de ces deux mêmes mélanges. De plus, une interaction triple Année \times Système \times Mélange ($P = 0,0452$) a aussi été observée pour ce même site. L'analyse de cette interaction montre que sous le système foin, en 2016, la valeur nutritive des cinq mélanges à l'essai ont été similaires (données non présentées). Cela dit, pour New Liskeard et Normandin, les mélanges 1 et 2 sont ceux qui se sont démarqués positivement lorsque des différences ont été déterminées, bien que l'écart de valeur nutritive ait été inférieur à 5 % avec les autres mélanges complexes testés. À New Liskeard, ces mélanges sont aussi ceux dont la qualité a été la plus stable pour les deux années d'exploitation. Il n'est pas étonnant que les mélanges 1 et 2 aient eu des performances similaires, car ils sont composés des mêmes espèces (luzerne, pâturin des prés et fléole des prés), à l'exception près que le mélange 2 contient une graminée supplémentaire: l'alpiste roseau. Or, cette dernière a généralement contribué que très marginalement au rendement en matière sèche ($< 1\%$, données non présentées) et, conséquemment, à sa valeur nutritive. Puisque l'alpiste roseau est une espèce lente à s'établir, une troisième année de production possiblement aurait permis de valider la pertinence de son incorporation dans le mélange 2 telle qu'observée dans les travaux de Papadopoulos *et al.* (2012). Bien que ce soit une espèce compétitive lorsqu'implantée, elle est particulièrement sensible aux surplus d'humidité au stade plantule, conditions présentes lors de l'implantation en 2014 et ayant nui à son développement.

4.3.2 Valeur nutritive du fourrage des systèmes de stockage sur pied

À tous les sites, la valeur nutritive n'a pas été influencée par la fertilisation azotée ($P > 0,05$). Toutefois, plusieurs interactions significatives impliquant ce facteur ont été observées (Tableau 4.9). Bien qu'elles soient significatives du point de vue statistique, ces interactions ont peu d'impact agronomique. Par contre, elles donnent des indications qui pourraient influencer la gestion du stockage sur pied aux sites étudiés. Par exemple, l'interaction Dose \times Initiation au site de New Liskeard montre qu'un apport de 50 unités d'azote n'a pas eu d'effet lors de l'initiation du stockage en juillet, mais que ce même apport a mené à une faible diminution de la valeur nutritive lors d'une initiation en août (Tableau 4.10). Aux sites de Normandin et de Nappan, de façon générale, l'addition d'azote a donné des réponses très variables, notamment en fonction de la période de paissance puisqu'une interaction Année \times Dose \times Paissance significative y a été relevée ($P = 0,0279$ pour Normandin ; $P = 0,0165$ pour Nappan) (Tableau 4.11), possiblement en raison des conditions climatiques durant la croissance et des dates de récolte qui ont variées d'une année à l'autre. De manière globale, la faible réponse de l'azote pourrait être expliquée par la dominance de la luzerne dans les mélanges. Ces mêmes observations avaient aussi été faites pour les rendements en matière sèche.

À tous les sites, l'initiation du stockage sur pied en août a permis de maximiser la qualité aux deux années d'exploitation avec des valeurs nutritives variant de 550 à 617 g UNT kg⁻¹ MS. Par ailleurs, en 2016, l'initiation du stockage en juillet a résulté en des fourrages de mauvaise qualité (< 500 g UNT kg⁻¹ MS) à tous les sites (Tableau 4.12). De plus, une interaction Année \times Initiation a aussi été observée aux trois sites (New Liskeard, $P < 0,0001$; Normandin, $P < 0,0003$; Nappan, $P < 0,0245$) (Tableau 4.9). Dans tous les cas, cette interaction est causée par des différences de valeurs nutritives qui ne sont pas les mêmes aux deux années d'exploitation entre les deux mois d'initiation du stockage.

La paissance de septembre a permis d'obtenir de meilleures valeurs nutritives que la paissance d'octobre aux trois sites (Tableau 4.12). Cette paissance en septembre avant la gelée a résulté en des valeurs nutritives variant peu entre les différents sites, soit de 546 à 577 g UNT kg⁻¹ MS. Une interaction Année × Paissance significative ($P < 0,0001$) a été observée à Normandin et à Nappan (Tableau 4.9), puisque l'écart de valeur nutritive entre les deux paissances automnales a été beaucoup plus élevé en 2016 qu'en 2015 (Tableau 4.12). Cette observation signifie que certains facteurs environnementaux ont accentué le processus de dégradation du matériel végétal à la deuxième année d'exploitation, menant ainsi à de faibles valeurs nutritives (< 500 g UNT kg⁻¹ MS). À Normandin, cette perte de qualité pourrait être attribuable à un plus grand délai entre les deux paissances mécaniques (34 jours en 2015 et 42 jours en 2016) (Tableau 3.2), alors que ce serait plutôt des précipitations plus abondantes en octobre qui en seraient la cause à Nappan (Tableau 4.1). Quoiqu'il en soit, le déclin de qualité plus important observé à ces sites qu'à New Liskeard s'explique facilement par les dates des paissances simulées mécaniquement en automne. À Normandin et à Nappan, la récolte d'octobre a été exécutée entre cinq et six semaines suivant la récolte de septembre, alors qu'elle a été exécutée après seulement deux semaines à New Liskeard (Tableau 3.2). Le matériel récolté était donc moins fibreux et plus digestible (Tableau 3.11).

Globalement, la différence de valeur nutritive entre les différents mélanges complexes a été peu marquée. En effet, des différences significatives ont seulement été observées aux sites de New Liskeard et de Normandin (Tableau 4.9). À ces deux sites, à la première année d'exploitation, les mélanges 1 et 2 ont offert les meilleurs attributs de valeur nutritive (Tableau 3.10). Ces résultats sont intéressants, car aucune étude ne s'était intéressée à ce jour au potentiel de mise en réserve de la fétuque des prés, une des graminées communes à ces deux mélanges et celle ayant contribué le plus à leur rendement en matière sèche (donnée non présentée). Cela dit, la réponse des mélanges s'est atténuée en 2016, de sorte qu'aucune différence significative n'a

été observée à New Liskeard et qu'une réponse plus nuancée a été observée à Normandin (Tableau 4.12). Dans tous les cas, l'écart de valeur nutritive entre les mélanges est faible d'un point de vue agronomique, soit moins de 25 g UNT kg MS⁻¹.

À priori, l'utilisation du mélange offrant les meilleures valeurs nutritives pourrait sembler de mise. Par contre, dans un contexte de variabilité climatique, il serait plus pertinent d'opter pour les mélanges dont la valeur nutritive est stable d'une année à l'autre tout en demeurant supérieure à 500 g UNT kg⁻¹ MS. Des fourrages dont la valeur nutritive est inférieure à ce dernier critère sont difficilement valorisable avec les bovins sans complémentation. À Nappan, bien que les mélanges aient offert des valeurs nutritives similaires, une interaction significative Année × Initiation × Mélange a été observée ($P = 0,0136$) (Tableau 4.9). D'un côté, les données indiquent qu'en juillet, c'est le mélange 1 qui a produit les rendements les plus stables d'une année à l'autre. Cependant, malgré une qualité plus variable, le mélange 4 s'est montré globalement supérieur aux deux années (Tableau 4.13). D'un autre côté, lors d'une initiation du stockage en août, ce sont les mélanges 3, 4 et 5 qui ont permis d'obtenir des valeurs nutritives stables d'une année à l'autre, bien que les performances moyennes aient été homogènes entre les cinq mélanges (Tableau 4.13). Les mélanges 3, 4 et 5 ont en commun la fétuque élevée et le brome des prés. La fétuque élevée est actuellement l'espèce la plus utilisée pour le stockage sur pied, car elle maintient bien sa valeur nutritive en automne. Quant à lui, le brome des prés avait été identifié par Baron *et al.* (2005) comme étant la meilleure espèce pour le stockage sur pied dans les conditions de l'Ouest canadien.

Au site de New Liskeard, l'interaction Année × Dose × Mélange a été significative ($P = 0,0042$) (Tableau 4.9). D'un côté, sans fertilisation azotée, c'est le mélange 2 qui a le mieux maintenu sa valeur nutritive d'une année à l'autre. Par contre, l'écart n'a pas été très marqué avec les autres mélanges (Tableau 4.14). D'un autre côté, avec 50 unités d'azote ha⁻¹, ce sont les mélanges 3, 4 et 5 qui ont présenté les valeurs nutritives les plus stables d'une année à l'autre (Tableau 4.14). Cela dit, bien que les

différences de valeur nutritive ne soient pas importantes du point de vue agronomique, ces observations indiquent que certains mélanges sont mieux adaptés à des périodes de sécheresse telles qu'observées à New Liskeard durant les deux années d'exploitation. C'est le cas des mélanges 3, 4 et 5 qui contenaient entre autres la fétuque élevée et la luzerne, deux espèces avec des systèmes racinaires abondants et profonds.

Finalement, tous traitements confondus, la valeur nutritive du fourrage a été meilleure en 2015 qu'en 2016. À Normandin, les précipitations totales des mois de septembre et d'octobre 2016 ont été près de deux fois supérieures à la moyenne des 80 dernières années (Tableau 4.1). Tel que mentionné dans une autre étude en Ontario, l'excès d'humidité observé à Normandin favoriserait la verse et la dégradation du matériel végétal mature (Wand et Jonhston, 1999). À Nappan, la contribution relative moyenne de la luzerne au rendement en matière sèche a été plus importante en 2016 (43 %) qu'en 2015 (34 %) (Tableau 3.5). Bien que la luzerne ait généralement une valeur nutritive des plus intéressantes en été, Matches et Burns (1995) ont observé que les légumineuses tendaient à perdre leurs feuilles lorsque pâturées matures et tardivement, influençant ainsi négativement leur valeur nutritive. Cette perte foliaire, additionnée à la perte des gousses, a aussi été notée dans ce projet lors de la séparation des échantillons en leurs composantes botaniques. Ainsi, les conditions climatiques et la maturité de la luzerne pourraient expliquer l'effet important de l'année d'exploitation sur la valeur nutritive.

4.4 Rendement en unités nutritives totales

Il existe une relation négative entre la valeur nutritive d'un fourrage et son rendement en matière sèche. Bien qu'une analyse des attributs de valeur nutritive avec en covariance les rendements en matière sèche aurait été la méthode la plus juste pour vérifier cette relation dans le présent projet, le calcul du rendement en UNT ha⁻¹

permet de discriminer les traitements en tenant compte de ces deux paramètres de manière plus simple. Néanmoins, le rendement en UNT ne devrait être considéré que lorsque la valeur nutritive du fourrage produit a été de valeur nutritive acceptable, c'est-à-dire supérieure à 500 g UNT kg⁻¹ MS. Dans le cas contraire, le fourrage devrait être jugé de trop faible qualité même si la production d'UNT ha⁻¹ est élevée, car il ne permettrait de satisfaire les besoins d'aucune classe d'animaux sans complémentation (Lalman et Richards, 2004). Comme l'impact des conditions climatiques a été traité pour expliquer les variations du rendement en matière sèche et de la valeur nutritive, cet aspect sera peu pris en compte dans cette section. Finalement, seules les différences significatives d'au moins 500 kg UNT ha⁻¹ ont été jugées d'intérêt agronomique.

4.4.1 Rendement en unités nutritives totales du fourrage des systèmes estivaux

À tous les sites, le système ensilage a permis de maximiser les rendements en UNT ha⁻¹ (Tableau 4.15). Selon les sites et les années, le système ensilage a permis de produire de 16 à 50 % plus d'UNT ha⁻¹. Une interaction Année × Système significative ($P < 0,0001$) a été observée aux trois sites. Dans tous les cas, cette interaction est causée par des écarts de rendement en UNT entre le système foin et le système ensilage qui ne sont pas les mêmes pour les années d'exploitation 2015 et 2016. En effet, l'écart de rendement entre les deux systèmes a été deux fois plus grand en 2016 qu'en 2015 au site de New Liskeard (827 kg UNT ha⁻¹ en 2015 et 1677 kg UNT ha⁻¹ en 2016) et de Nappan (1612 kg UNT ha⁻¹ en 2015 et 3353 kg UNT ha⁻¹ en 2016). Contrairement aux autres sites, l'écart de rendement en UNT observé à Normandin a été trois fois plus faible en 2016 (421 kg UNT ha⁻¹) qu'en 2015 (1390 kg UNT ha⁻¹) entre les systèmes de récolte (Tableau 4.15).

À New Liskeard, une diminution des rendements en UNT a été observée pour les parcelles du système foin à la deuxième année d'exploitation (1684 kg UNT ha⁻¹ en

2016 vs 2396 kg UNT ha⁻¹ en 2015), alors que les parcelles du système ensilage ont montré des rendements en UNT stables (3361 kg UNT ha⁻¹ en 2016 vs 3223 kg UNT ha⁻¹ en 2015). À Normandin, c'est plutôt le système ensilage qui a montré une baisse de rendements en UNT à la deuxième année de récolte (2517 kg UNT ha⁻¹ en 2016 vs 3138 kg UNT ha⁻¹ en 2015) et le système foin qui a offert une production d'UNT relativement stable (2096 kg UNT ha⁻¹ en 2016 vs 1748 kg UNT ha⁻¹ en 2015). Pour ces deux sites, des rendements en MS plus faibles à la deuxième année de récolte expliquent ces observations (Tableau 4.2), car la valeur nutritive a été meilleure en 2016 (Tableau 4.8). À Nappan, les deux systèmes ont présentés des rendements en UNT plus élevés à la deuxième année d'exploitation, bien que l'augmentation ait été beaucoup plus grande pour le système ensilage. En effet, avec ce système, la production d'UNT est passée de 4863 kg UNT ha⁻¹ en 2015 à 7446 kg UNT ha⁻¹ en 2016. En comparaison, les rendements en UNT avec le système foin sont passés de 3251 kg UNT ha⁻¹ en 2015 à 4093 kg UNT ha⁻¹ en 2016. Néanmoins, de manière générale, les rendements en UNT observés à Nappan ont été plus élevés qu'aux autres sites, particulièrement en 2016. Les rendements en MS plus importants à ce site expliquent cette supériorité (Tableau 4.2), puisque les valeurs nutritives observées ont été globalement plus faibles qu'à New Liskeard et Normandin (Tableau 4.8).

Des différences significatives entre les mélanges complexes ont été observées aux sites de New Liskeard ($P = 0,039$) et de Nappan ($P < 0,0041$). Une interaction significative Année \times Mélange a aussi été observée à ces deux sites ($P < 0,0001$), de sorte que des différences significatives ont été décelées en 2015 seulement. Cette année-là, à New Liskeard, les mélanges 1 (luzerne, pâturin des prés et fléole des prés) et 2 (luzerne, pâturin des prés, fléole des prés et alpiste roseau) ont offert une meilleure production d'UNT que les trois autres mélanges. Dans les mélanges 1 et 2, en 2015, la fétuque des prés a été la graminée dominante dans les parcelles initiées en août, alors qu'il s'agissait plutôt de la fléole des prés dans celles initiées en juillet. Cela dit, en 2016, la fétuque des prés a été la graminée la plus abondante aux deux

périodes d'initiation. De plus, l'importance relative de la luzerne a été plus grande en 2016 (> 60 % MS) qu'en 2015 (données non présentées). Néanmoins, même si des différences de production d'UNT ont été observées, l'écart entre les mélanges les plus performants et les moins performants est négligeable d'un point de vue agronomique (< 200 kg UNT ha⁻¹). À Nappan, les mélanges 1 et 2 ont aussi permis d'obtenir la plus grande production d'UNT, alors que le mélange 4 (luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et dactyle aggloméré) a été le moins performant des cinq combinaisons testées. Cette dernière observation est principalement causée par des rendements en MS moins élevés (Tableau 4.1), car la valeur nutritive du mélange 4 était égale à celle des autres mélanges testés (Tableau 4.8).

4.4.2 Rendement en unités nutritives totales du fourrage des systèmes de stockage sur pied

De manière générale, un apport d'azote de 50 kg ha⁻¹ n'a eu aucun effet sur le rendement en UNT ($P > 0,05$), mais quelques interactions impliquant cet élément ont été significatives (Tableau 4.16). Notamment, une interaction Année × Dose × Initiation a été observée aux trois sites. À New Liskeard, la réponse de l'azote a été différente pour chaque période d'initiation et pour chaque année d'exploitation. En 2015, un apport de 50 kg N ha⁻¹ a permis de maximiser les rendements en UNT aux deux périodes d'initiation du stockage, soit de 2152 kg UNT ha⁻¹ pour le stockage en juillet et de 1808 kg UNT ha⁻¹ pour le stockage en août (Tableau 4.17). L'augmentation de la production d'UNT a été plus importante pour le stockage de juillet (309 kg UNT ha⁻¹) que pour le stockage d'août (209 kg UNT ha⁻¹). Cependant, en 2016, la fertilisation azotée n'a pas eu d'effet sur les rendements en UNT. À Normandin, en 2015, la production d'UNT la plus élevée a été réalisée avec l'application de 50 kg N ha⁻¹ et un stockage en juillet (1536 kg UNT ha⁻¹), alors qu'aucune différence n'a été observée en août entre les parcelles fertilisées (1122 kg UNT ha⁻¹) et non fertilisées (1112 kg UNT ha⁻¹). En 2016, ni la fertilisation azotée, ni

l'initiation de la période d'accumulation n'ont eu un effet sur les rendements en UNT, ceux-ci variant entre 837 et 997 kg UNT ha⁻¹. À Nappan, l'azote n'a eu aucun effet sur les rendements en UNT, excepté en 2015 pour les parcelles initiées en août. À cette période, l'addition de 50 kg N ha⁻¹ a permis d'obtenir un gain de 315 kg UNT ha⁻¹ en comparaison des parcelles ne recevant aucune fertilisation. En 2016, les parcelles initiées en juillet ont permis d'obtenir de meilleurs rendements que les parcelles initiées en août, sans égard à la fertilisation qui n'a eu aucun effet significatif. Ceci dit, dans tous les cas, lorsque des gains de production d'UNT ont été observés avec l'addition de 50 kg N ha⁻¹, ceux-ci ont toujours été inférieurs à 500 kg UNT ha⁻¹. Ainsi, d'un point de vue agronomique, la réponse obtenue suite à l'application d'azote dans cet essai ne justifie pas son emploi pour augmenter la production d'UNT ha⁻¹.

À New Liskeard, l'initiation du stockage n'a pas eu d'effet significatif sur la production d'UNT ha⁻¹ ($P = 0,1672$) (Tableau 4.16). Par contre, l'analyse de l'interaction Année \times Initiation ($P < 0,0001$) montre que la mise en réserve en juillet a permis de maximiser les rendements en UNT en 2015 (1998 kg UNT ha⁻¹), alors que c'est plutôt la mise en réserve en août qui a permis cette maximisation en 2016 (1330 kg UNT ha⁻¹) (Tableau 4.18). Ces observations indiquent que les conditions climatiques de juillet 2016 ont limité le potentiel de rendement en UNT. Les données météorologiques montrent que le mois de juillet 2016 a été plus chaud et moins pluvieux qu'en temps normal. Ainsi, la disponibilité de l'eau pourrait encore une fois être la cause des résultats obtenus. À Normandin, la période d'initiation du stockage a eu un effet significatif (Tableau 4.16) sur les rendements en UNT ($P = 0,0241$) puisqu'une interaction significative Année \times Initiation a été observée ($P < 0,0001$) (Tableau 4.16). Des différences entre les périodes de stockage ont été observées seulement en 2015. Cette année-là, l'initiation en juillet a permis une production d'UNT supérieure (1393 kg UNT ha⁻¹) en comparaison à l'initiation en août (1117 kg UNT ha⁻¹). À Nappan, l'initiation du stockage en juillet a résulté en des rendements

en UNT supérieurs avec près de 20 % de plus que l'initiation en août à chaque année d'exploitation. Par ailleurs, une interaction Année × Initiation significative a aussi été observée ($P < 0,0001$), celle-ci étant expliquée par des différences de rendement en UNT entre les deux périodes d'initiation qui sont plus élevées en 2015 (665 kg UNT ha⁻¹) qu'en 2016 (371 kg UNT ha⁻¹). Globalement, les résultats obtenus aux trois sites, à l'exception de Nappan en 2015, montrent que d'un point de vue pratique, la production d'UNT est relativement peu affectée par le moment d'initiation de la période d'accumulation. Ces résultats peuvent être expliqués par la relation inverse qui existe entre la valeur nutritive et les rendements en matière sèche du fourrage en croissance, c'est-à-dire les deux composantes du calcul des rendements en UNT. En effet, une initiation de la période d'accumulation en juillet a permis d'obtenir des rendements en MS élevés (Tableau 4.4), mais de faible valeur nutritive (Tableau 4.12). En contrepartie, une initiation en août a engendré une production inférieure de fourrage (Tableau 4.4), mais de meilleure valeur nutritive (Tableau 4.12). Ainsi, dans l'une ou l'autre des situations, une composante est favorisée au détriment de l'autre, menant à des productions d'UNT relativement semblables.

Le moment de la paissance a influencé les rendements en UNT à tous les sites (Tableau 4.16). À New Liskeard, durant les deux années d'exploitation, la paissance en septembre a résulté en une plus grande production d'UNT que la paissance en octobre (Tableau 4.18). Néanmoins, la perte observée entre septembre et octobre est faible d'un point de vue agronomique (159 kg UNT ha⁻¹ en 2015 et 221 kg UNT ha⁻¹ en 2016). Aux deux autres sites, le moment de la paissance a aussi affecté significativement la production d'UNT, mais son effet a été plus variable entre les années. En effet, une interaction significative Année × Paissance a été observée à Normandin ($P = 0,0007$) et Nappan ($P < 0,0001$) (Tableau 4.16). Ainsi, à Normandin, la diminution des rendements en UNT ha⁻¹ observée entre les deux paissances a été plus faible en 2015 (8,9 % ; 1314 kg UNT ha⁻¹ en septembre à 1196 UNT ha⁻¹ en octobre) qu'en 2016 (23,2 % ; 1059 kg UNT ha⁻¹ en septembre à 813 kg UNT ha⁻¹ en

octobre) (Tableau 4.18). À Nappan, le moment de la paissance est le facteur qui a influencé le plus la production d'UNT. De plus, des résultats contrastants ont été obtenus entre les deux années d'exploitation. Effectivement, en 2015, des rendements en UNT deux fois plus élevés ont été obtenus en octobre (4042 kg UNT ha⁻¹) en comparaison de septembre (2113 kg UNT ha⁻¹), alors qu'en 2016, des rendements en UNT plus élevés ont été obtenus à la paissance de septembre (2067 kg UNT ha⁻¹) plutôt qu'à celle d'octobre (1329 kg UNT ha⁻¹) (Tableau 4.18). La température plus chaude du mois de septembre (16,0 °C en 2015 vs 14,9 °C en 2016) et les pluviométries dans les normales (85,2 mm en 2015 vs 49,9 mm en 2016) de la première année d'exploitation peuvent expliquer ces résultats opposés (Tableau 4.1).

Des différences significatives ont été observées entre les différents mélanges complexes aux deux années à New Liskeard ($P < 0,0001$) et Nappan ($P < 0,0001$) (Tableau 4.16). À New Liskeard, les mélanges 3, 4 et 5 ont été les plus productifs en termes d'UNT à l'hectare (Tableau 4.18). Néanmoins, l'écart de rendement en UNT entre les mélanges les moins performants et les plus performants a été d'au plus 130 kg UNT ha⁻¹ en 2015 et de 121 kg UNT ha⁻¹ en 2016. À Nappan, le mélange 4 a offert les meilleurs rendements aux deux années, c'est à dire de 3413 kg UNT ha⁻¹ en 2015 et de 2032 kg UNT ha⁻¹ en 2016. En 2015, l'écart de production de ce dernier mélange avec le mélange le moins performant (mélange 5) a été de 535 kg UNT ha⁻¹, ce qui est intéressant d'un point de vue agronomique. Un écart intéressant a aussi été obtenu en 2016, soit de plus de 500 kg UNT ha⁻¹ entre le mélange le plus productif (mélange 4, 2032 kg UNT ha⁻¹) et les moins productifs (mélange 1, 1530 kg UNT ha⁻¹ ; mélange 2, 1512 kg UNT ha⁻¹) (Tableau 4.18). À Normandin, des différences significatives entre les mélanges ont seulement été observées en 2015. En effet, les mélanges 1, 2 et 5 ont montré les meilleurs rendements en UNT, soit respectivement de 1334, 1264 et 1265 kg UNT ha⁻¹ (Tableau 4.18).

Finalement, la réponse des mélanges n'a pas été la même selon le moment d'initiation de la période d'accumulation ($P = 0,0003$ pour New Liskeard ; $P < 0,0001$ pour

Nappan) (Tableau 4.16). À New Liskeard, le mélange 5 a présenté une meilleure performance lors d'une initiation du stockage en août que lors d'une initiation du stockage en juillet. Cependant, peu importe le moment de l'initiation du stockage, la production des différents mélanges n'a pas été très contrastante avec au plus 172 kg UNT ha⁻¹ d'écart entre le mélange le plus productif et le moins productif (Tableau 4.19). À Nappan, les données sont par contre plus probantes. Lors d'une initiation en juillet, les mélanges ont offert des rendements en UNT semblables, bien que le mélange 4 ait été légèrement supérieur. Par contre, lorsque l'initiation du stockage a débuté au mois d'août, le mélange 4 s'est montré nettement plus productif que les autres mélanges. En effet, sa production a atteint 2626 kg UNT ha⁻¹, alors que la production moyenne des autres mélanges n'a été que de 2004 kg UNT ha⁻¹ (Tableau 4.19). Ainsi, le mélange 4 (luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés) semble être le meilleur choix pour maximiser la production d'UNT pour des courtes périodes d'accumulation à ce site. Dans ce mélange, la fétuque élevée et le dactyle aggloméré sont les graminées qui ont contribué le plus au rendement en matière sèche. Selon le moment de la paissance et l'année, l'abondance relative de la fétuque élevée a varié de 16 à 24 %, alors qu'elle a varié de 19 à 44 % pour le dactyle (données non présentées).

4.5 Valorisation des fourrages

Les exigences nutritionnelles utilisées dans cette section proviennent d'une synthèse du « Nutrient Requirements of Beef Cattle » réalisée par l'Oklahoma State University (Lalman et Richards, 2004). La valorisation des fourrages a été évaluée en regard des deux systèmes estivaux et des quatre périodes de stockage. L'effet de la fertilisation azotée et des mélanges complexes sur la valeur nutritive étant relativement faible lorsque des différences ont été observées, ces deux paramètres ne seront pas discutés dans cette section.

Les exigences nutritionnelles des vaches de boucherie de 545 kg à trois stades physiologiques (deuxième trimestre de gestation exigeant 500 g UNT kg⁻¹ MS, dernier trimestre de gestation exigeant 540 g UNT kg⁻¹ MS et premiers trimestre de lactation avec un pic de 9 kg lait jour⁻¹ exigeant 580 g UNT kg⁻¹ MS) ont été utilisés afin de vérifier si les fourrages produits pouvaient rencontrer les besoins des animaux. Les comparaisons des exigences nutritionnelles et des valeurs nutritives des systèmes ensilage et foin sont présentées aux Figure 4.1 (2015) et Figure 4.2 (2016). Les valeurs nutritives du fourrage du système ensilage (gestion à deux coupes estivales) représentent la qualité du matériel séché et non après le processus d'ensilement. Pour les fourrages stockés sur pied, les comparaisons sont présentées aux Figure 4.3 (2015) et Figure 4.4 (2016).

4.5.1 Valorisation du fourrage des systèmes estivaux

Au site de New Liskeard, les fourrages du système foin auraient permis de combler les exigences nutritionnelles des vaches au deuxième trimestre de gestation aux deux années d'exploitation [512 g UNT kg⁻¹ MS en 2015 (Figure 4.1) et 532 g UNT kg⁻¹ MS en 2016 (Figure 4.2)]. Plus nutritifs, les fourrages du système ensilage auraient permis de satisfaire les besoins des vaches au dernier trimestre de gestation en 2015 (569 g UNT kg⁻¹ MS) et celles au début de la lactation en 2016 (586 g UNT kg⁻¹ MS). À Normandin, les fourrages des systèmes ensilage (589 g UNT kg⁻¹ MS en 2015 et 600 g UNT kg⁻¹ MS en 2016) et du système foin 2016 (604 g UNT kg⁻¹ MS) ont offert une qualité adéquate aux vaches au début de la lactation. En contrepartie, le système foin 2015 (558 g UNT kg⁻¹ MS) aurait permis de combler les besoins au dernier trimestre de gestation. Finalement, à Nappan, les deux systèmes auraient permis de combler les besoins des vaches au dernier trimestre de gestation en 2015 (558 g UNT kg⁻¹ MS pour le système ensilage et 542 g UNT kg⁻¹ MS pour le système foin), alors qu'en 2016, le système ensilage a atteint une qualité adéquate pour rencontrer les besoins des vaches à leur deuxième trimestre de gestation (525 g UNT

kg MS⁻¹). De son côté, le système foin 2016 a produit un fourrage d'une faible valeur nutritive (444 g UNT kg MS⁻¹), qui n'aurait convenu à aucune de ces trois classes d'animaux et qui aurait exigé une supplémentation au pâturage.

4.5.2 Valorisation du fourrage des systèmes de stockage sur pied

La plus longue période d'accumulation, soit juillet-octobre (Tableau 3.3, Figure 4.3 et 4.4), n'aurait répondu aux besoins d'aucune classe d'animaux, excepté à New Liskeard en 2015 (521 g UNT kg⁻¹ MS). En effet, le fourrage produit à New Liskeard cette année-là aurait permis d'alimenter des vaches de boucherie au deuxième trimestre de gestation (Figure 4.3). À l'opposé, le stockage août-septembre, c'est-à-dire la plus courte période d'accumulation, a produit un fourrage de bonne valeur nutritive qui aurait permis de satisfaire les besoins des vaches en lactation, et ce, aux trois sites. La valeur nutritive obtenue à cette période a varié de 579 g UNT kg⁻¹ MS (année 2016 à Nappan, Figure 4.4) à 631 g UNT kg⁻¹ MS (année 2015 à Normandin, Figure 4.3). Le fourrage produit lors de la période de stockage juillet-septembre a été d'une qualité adéquate pour répondre aux besoins des vaches au deuxième trimestre de gestation (Figure 4.3 et 4.4), à la seule exception des fourrages du site de New Liskeard en 2016 où la valeur nutritive a été légèrement sous le seuil du 500 g UNT kg⁻¹ MS (Figure 4.4). Finalement, à tous les sites, le fourrage produit lors de la période août-octobre 2015 a atteint une qualité qui aurait permis de combler les exigences nutritionnelles des vaches en début de lactation (Figure 4.3). Néanmoins, cette même période de stockage a présenté des résultats plus hétérogènes entre les sites en 2016 (Figure 4.4). En effet, les fourrages produits à New Liskeard (590 g UNT kg⁻¹ MS) aurait permis de combler les besoins des animaux en lactation, alors que ceux de Normandin (556 g UNT kg⁻¹ MS) et de Nappan (522 g UNT kg⁻¹ MS) aurait respectivement été adéquats pour les animaux à leur dernier et à leur deuxième trimestre de gestation.

4.6 Limites du projet

Les conclusions tirées dans cet essai, particulièrement au niveau des mélanges complexes, ne se limitent qu'aux deux premières années d'exploitation. En effet, selon Cashman *et al.* (2015), il n'est pas possible d'extrapoler ces résultats pour prédire les performances éventuelles des mélanges, d'autant plus que les chercheurs ont observé qu'il y avait une faible corrélation entre les rendements en MS de la première année d'exploitation obtenus par paissance simulée et par paissance animale. Les pâturages sont des systèmes dynamiques dont les performances sont étroitement liées aux conditions pédoclimatiques. De plus, selon la survie de la luzerne et sa contribution au rendement, il est possible que la fertilisation azotée devienne un paramètre influençant les rendements en MS et la valeur nutritive, notamment les teneurs en protéines brutes et en sucres solubles.

CONCLUSIONS

Systèmes estivaux

Une gestion estivale à deux coupes a permis de maximiser le potentiel de rendements en matière sèche et en unités nutritives totales par hectare ainsi que la valeur nutritive des mélanges fourragers complexes à base de luzerne à tous les sites. Les différents mélanges fourragers à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées ont présenté des productions de matière sèche semblables à l'exception de la première année d'exploitation à Nappan. Cette année-là, le mélange composé de luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés a offert la plus faible productivité, alors que les deux mélanges contenant de la luzerne, du pâturin des prés, de la fétuque des prés et de la fléole des prés ont offert une productivité de matière sèche élevée. Du côté de la valeur nutritive, quoique faibles d'un point de vue agronomique, quelques différences statistiques significatives ont été observées entre les mélanges à New Liskeard et à Normandin. De manière générale, ce sont aussi les mélanges composés de luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés qui se sont montrés supérieurs. Finalement, lorsque des différences de rendements en termes d'unités nutritives totales par hectare ont été observées, ce sont ces mêmes mélanges qui se sont démarqués positivement.

Bien que la valeur nutritive des mélanges fourragers ait varié considérablement entre les deux années de production, les rendements atteints, en termes de g UNT kg⁻¹ MS, permettraient d'alimenter minimalement des vaches de boucherie à leur deuxième trimestre de gestation, excepté à Nappan en 2016.

Stockage sur pied

Pour maximiser les rendements en matière sèche des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées stockés sur pied, il a fallu initier la période d'accumulation au début du mois de juillet. Dans les conditions climatiques de New Liskeard et Normandin, les rendements ont peu varié entre la paissance de mi-septembre et celle faite après un gel mortel en octobre. Toutefois, à Nappan, la saison de croissance est plus longue et le mois d'octobre peut permettre, selon les années, un gain de biomasse végétale intéressant. Dans la présente étude, certains mélanges ont montré des productions de matière sèche supérieures à New Liskeard et à Nappan. À New Liskeard, il s'agit des trois mélanges incluant de la fétuque élevée et le brome des prés (mélanges 3, 4 et 5), bien que ce soit la luzerne qui ait contribué le plus au rendement en matière sèche. Cela dit, les différences observées entre les mélanges ont été faibles d'un point de vue agronomique. À Nappan, le mélange de luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés avait une production de MS supérieure de près d'une tonne avec certains autres mélanges. À ce site, la contribution relative des graminées au rendement en MS, notamment la fétuque élevée et le dactyle aggloméré, a été plus importante qu'à New Liskeard et Normandin. Finalement, une fertilisation azotée de 50 kg N ha⁻¹ au début de la période d'accumulation n'a pas été utile puisque celle-ci n'a eu aucun effet sur la production de MS. Il semblerait que la relation symbiotique *Rhizobium*-luzerne ait permis de fixer suffisamment d'azote atmosphérique pour soutenir la croissance des graminées compagnes dans ces mélanges à proportion élevée de légumineuse. D'ailleurs, la luzerne a gagné en importance dans les mélanges à la deuxième année d'exploitation à tous les sites. En moyenne, cette année-là, la proportion de luzerne atteignait près de 80 % de la MS à New Liskeard et Normandin et près de 40 % de la MS à Nappan.

Pour obtenir un fourrage de bonne valeur nutritive, c'est-à-dire avec une teneur élevée en unités nutritives totales, il a fallu initier le stockage au début du mois d'août et

faire paître les stocks accumulés avant le premier gel mortel en septembre. Suite à celui-ci, la valeur nutritive des fourrages a diminué rapidement étant donné la perte de feuilles chez la luzerne. Des différences de valeur nutritive ont été observées entre les mélanges aux sites de New Liskeard et de Normandin. Globalement, ce sont les deux mélanges incluant de la fétuque des prés (mélanges 1 et 2), soit la graminée la plus abondante dans ces mélanges, qui ont offert la meilleure valeur nutritive. Cet aspect est intéressant, car aucune littérature scientifique n'avait jusqu'à ce jour démontré les aptitudes de cette graminée pour le stockage sur pied. De plus, tout comme pour les rendements en matière sèche, la fertilisation azotée n'a eu aucun impact sur la valeur nutritive du fourrage produit. Finalement, les fourrages accumulés dans la période août-septembre auraient permis de combler les besoins nutritionnels des vaches de boucherie en lactation. Pour les autres périodes, la valeur nutritive des fourrages a été très variable entre les années et entre les sites. Cela dit, dans les meilleurs cas, les fourrages stockés en juillet ont présenté une valeur nutritive qui répondrait maximale aux exigences nutritionnelles des vaches au deuxième trimestre de gestation.

La bonne gestion des superficies en pâturage passe par l'optimisation des rendements en matière sèche et de la qualité. Les données recueillies sur les rendements en unités nutritives totales à l'hectare nous permettent d'orienter un peu mieux le choix des mélanges en tenant compte de ces deux paramètres simultanément. D'une part, pour les sites les plus nordiques, soit New Liskeard et Normandin, le mélange 5 (luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau) est celui qui a procuré les meilleurs rendements en UNT dans des conditions de production contrastantes. Par contre, à Nappan, c'est plutôt le mélange 4 (luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés) qui a été le plus performant. Ainsi, selon le lieu d'exploitation, différents mélanges complexes seront à considérer.

Finalement, les conclusions précédentes ne se limitent qu'aux deux premières années d'exploitation et pourraient être fort différentes dans une expérimentation de plus longue durée ou menée avec une paissance animale réelle. Notamment, la survie de la luzerne à l'hiver, au broutage et au piétinement pourraient affecter considérablement les performances des mélanges complexes, tant au niveau de la valeur nutritive que des rendements en matière sèche ou en UNT par hectare. Une diminution de la proportion de légumineuse devrait mener à une reconsidération de l'usage de la fertilisation azotée au moment de la mise en réserve, celle-ci ayant été inutile dans les conditions de l'étude. Par ailleurs, certaines espèces plus lentes à s'établir, comme l'alpiste roseau, pourraient gagner en importance relative dans les années futures et modifier la réponse des mélanges aux différents traitements étudiés. De plus, à New Liskeard, des années supplémentaires d'exploitation durant lesquelles les conditions hydriques sont plus près des normales auraient permis de vérifier davantage le potentiel de certaines graminées pour le stockage sur pied, notamment celui de la fléole des prés et du pâturin des prés.

Tableau 3.1 Espèces, cultivars et dose de semis des différents mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées.

Mélange	Espèces	Cultivars	Dose de semis kg ha ⁻¹
1	Luzerne	CRS 1001	8
	Pâturin des prés	Big Blue	4
	Fétuque des prés	Laura	7
	Fléole des prés	Ovation	5
2	Luzerne	CRS 1001	8
	Pâturin des prés	Big Blue	3
	Fétuque des prés	Laura	7
	Fléole des prés	Ovation	4
	Alpiste roseau	Bellevue	2
3	Luzerne	CRS 1001	8
	Pâturin de prés	Big Blue	3
	Fétuque élevée	Barolex	6
	Alpiste roseau	Bellevue	2
	Brome des prés	Fleet	5
4	Luzerne	CRS 1001	8
	Pâturin des prés	Big Blue	3
	Fétuque élevée	Barolex	5
	Dactyle	Bardiana	4
	Brome des prés	Fleet	7
5	Luzerne	CRS 1001	8
	Fétuque rouge traçante	Boréal	3
	Fétuque élevée	Barolex	6
	Alpiste roseau	Bellevue	2
	Brome des prés	Fleet	5

Tableau 3.2 Dates de récoltes des systèmes fourragers estivaux (Ensilage vs Foin) et des paissances simulées (Septembre vs Octobre) des parcelles stockées sur pied pour les années 2015 et 2016 aux sites de Nappan, New Liskeard et Normandin.

Système fourrager	Nappan		New Liskeard		Normandin	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Ensilage						
Coupe 1	16 juin	14 juin	22 juin	13 juin	18 juin	15 juin
Coupe 2	11 août	5 août	4 août	26 juillet	30 juillet	28 juillet
Foin	3 juillet	14 juillet	6 juillet	27 juin	30 juin	28 juin
Septembre	24 septembre	30 septembre	21 septembre	21 septembre	15 septembre	14 septembre
Octobre^z	28 octobre	8 novembre	7 octobre	6 octobre	19 octobre	26 octobre

^zRécolte après le premier gel mortel de -3 °C

Tableau 3.3 Fertilisation des parcelles stockées sur pied selon le système de gestion estival pour les années 2015 et 2016 aux sites de Nappan, Normandin et New Liskeard.

Site	Système estival	Date d'application	Fertilisation	
			Dose (kg ha ⁻¹)	Fertilisant (N-P-K) ^z
Nappan	Ensilage	19 juin 2015	176	34-0-0
		12 août 2015	147	34-0-0
		8 août 2016	147	34-0-0
	Foin	4 juillet 2015	147	34-0-0
		18 juillet 2016	147	34-0-0
Normandin	Ensilage	Semis 2014	115	26-13-13
			125	0-20-20
			6,6	Granubore (15 % B)
		6 mai 2015	33	0-0-60
			90	0-46-0
		30 juillet 2015	147	34-0-0
		20 mai 2016	80	0-0-50
			90	0-46-0 + 17,5 % S
		28 juillet 2016	147	34-0-0
	Foin	Semis 2014	115	26-13-13
			125	0-20-20
			6,6	Granubore (15 % B)
		6 mai 2015	33	0-0-60
			90	0-46-0
		30 juin 2015	147	34-0-0
		20 mai 2016	80	0-0-50
			90	0-46-0 + 17,5 % S
		28 juin 2016	147	34-0-0
New Liskeard	Ensilage	Semis 2014	88	34-0-0
		5 août 2015	147	34-0-0
		27 juillet 2016	147	34-0-0
	Foin	Semis 2014	88	34-0-0
		7 juillet 2015	147	34-0-0
		28 juin 2016	147	34-0-0

^z N: Azote ; P: Phosphore ; K: Potassium ; B: Bore ; S: Soufre

Tableau 3.4 Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées à la coupe de juin (système Ensilage) ou de juillet (système Foin) pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Site	Système	Mélange ^z	2015				2016			
			L ^y	GS	MH	MM	L	GS	MH	MM
			% MS							
New Liskeard	Ensilage	1	41,9	50,6	5,5	2,0	69,1	30,1	0,8	0,0
		2	46,2	46,9	5,7	1,2	72,2	26,6	1,2	0,0
		3	28,1	45,5	5,3	1,1	72,0	27,0	1,0	0,0
		4	45,0	48,0	7,1	0,0	68,2	29,6	2,1	0,0
		5	45,1	49,1	4,9	0,9	73,7	24,1	2,2	0,0
	Foin	1	54,7	40,1	5,3	0,0	62,4	33,9	3,7	0,0
		2	38,7	51,8	9,5	0,0	64,2	33,3	2,4	0,0
		3	40,8	54,5	4,6	0,0	68,6	28,1	3,3	0,0
		4	44,5	48,9	6,5	0,0	68,5	28,4	3,1	0,0
		5	38,7	56,9	4,3	0,0	59,0	38,1	2,9	0,0
Normandin	Ensilage	1	67,3	27,1	4,3	1,2	65,5	29,2	5,3	0,0
		2	75,9	19,8	3,1	1,2	70,4	26,2	3,4	0,0
		3	53,7	41,9	3,1	1,3	72,3	24,8	2,8	0,0
		4	52,3	43,8	2,5	1,4	75,0	22,7	2,2	0,0
		5	43,5	52,7	2,8	1,0	68,7	24,6	6,7	0,0
	Foin	1	58,4	38,2	2,2	1,2	68,1	27,9	4,0	0,0
		2	61,6	35,6	1,9	0,8	72,2	26,2	1,5	0,0
		3	50,5	46,4	2,2	0,9	76,5	20,9	2,5	0,0
		4	52,0	45,7	1,5	0,8	77,6	20,3	2,1	0,0
		5	43,0	53,4	2,5	1,1	76,4	21,9	1,7	0,0
Nappan	Ensilage	1	10,4	74,0	12,3	3,3	31,1	61,5	5,9	1,5
		2	15,0	79,7	2,1	3,1	49,4	46,0	3,4	1,2
		3	21,5	65,4	11,2	1,9	43,3	45,8	7,8	3,1
		4	24,4	57,9	15,0	2,6	22,0	72,5	3,0	2,6
		5	26,1	60,5	11,4	2,0	40,0	44,9	12,4	2,6
	Foin	1	16,2	74,7	5,0	4,1	26,9	59,4	1,9	11,6
		2	18,2	76,4	1,5	3,9	20,3	69,5	0,3	9,8
		3	24,6	60,7	11,5	3,2	20,9	69,2	2,6	7,3
		4	23,1	60,1	12,8	4,0	28,2	54,6	8,0	9,1
		5	22,6	60,4	12,2	4,8	29,6	57,6	5,3	6,4

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés ; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpeste roseau ; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpeste roseau ; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés ; **Mélange 5**: luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpeste roseau.

^y **L**: Luzerne ; **GS**: Graminées semées ; **MH**: Mauvaises herbes ; **MM**: Matériel mort.

Tableau 3.5 Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote appliquées au début de la mise en réserve, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée pour les années 2015 et 2016 au site de Nappan.

Dose kg N ha ⁻¹	Initiation stockage	Paissance	Mélange ^z	2015				2016			
				L ^y	GS	MH	MM	L	GS	MH	MM
				% MS							
0	Juillet	Septembre	1	10,6	45,9	23,5	20,0	58,0	27,6	0,7	13,8
			2	28,1	53,1	5,0	13,8	53,6	35,4	1,2	9,8
			3	43,9	36,4	3,2	16,5	50,6	36,4	0,0	13,0
			4	20,1	51,5	6,6	21,8	26,7	55,7	0,9	16,6
			5	43,0	36,1	10,1	10,8	44,2	41,9	3,3	10,5
		Octobre	1	21,1	39,2	11,9	27,8	47,8	31,4	3,9	16,9
			2	20,3	44,6	7,7	27,4	24,1	48,7	0,6	26,6
			3	26,4	47,3	2,6	23,7	27,7	53,5	1,6	17,2
			4	7,2	48,5	7,6	36,8	22,1	54,2	0,2	23,5
			5	11,4	51,7	14,8	22,2	40,1	40,2	0,5	19,2
	Août	Septembre	1	41,8	38,9	9,2	10,2	73,2	19,7	2,0	5,0
			2	57,0	27,8	6,4	8,8	85,4	7,9	1,7	5,1
			3	59,0	28,1	6,5	6,5	51,3	40,2	1,1	7,4
			4	51,8	33,8	3,0	11,4	22,1	57,0	13,6	7,2
			5	35,0	44,1	12,1	8,9	49,4	40,3	3,9	6,3
		Octobre	1	27,4	50,8	8,5	13,3	49,3	31,2	7,1	12,4
			2	47,2	33,7	9,0	10,1	37,6	42,9	5,4	14,1
			3	15,4	64,7	8,4	11,5	34,1	46,4	5,9	13,6
			4	25,8	65,5	1,4	7,3	25,7	62,6	0,0	11,7
			5	37,6	46,8	6,5	9,1	39,2	43,0	5,8	12,0
50	Juillet	Septembre	1	37,1	37,1	3,5	22,3	69,7	15,0	1,9	13,4
			2	39,1	43,8	1,9	15,2	43,7	39,5	1,4	15,4
			3	24,0	39,4	22,0	14,7	42,0	41,1	3,8	13,1
			4	50,5	21,2	8,9	19,4	27,6	58,9	1,2	12,3
			5	28,6	50,9	3,4	17,1	51,5	39,0	0,9	8,6
		Octobre	1	23,3	42,1	8,9	25,7	59,7	11,3	3,7	25,3
			2	25,1	38,2	7,6	29,0	58,7	28,2	0,0	13,1
			3	27,2	49,2	1,0	22,6	34,4	40,1	0,3	25,1
			4	22,1	55,6	3,8	18,5	23,3	46,8	6,6	23,4
			5	24,4	40,5	3,7	31,4	21,7	58,0	4,6	15,6
	Août	Septembre	1	50,5	28,3	12,4	8,8	64,2	16,6	8,9	10,3
			2	69,5	21,5	3,3	5,7	78,3	13,7	2,3	5,7
			3	65,2	20,1	6,3	8,5	42,9	43,5	2,1	11,6
			4	38,5	50,1	5,0	6,4	12,1	75,8	0,8	11,4
			5	38,5	35,9	18,3	7,2	27,8	60,8	3,6	7,8
		Octobre	1	37,3	27,2	16,5	19,0	64,3	15,2	6,8	13,6
			2	49,6	31,5	7,1	11,9	53,3	21,7	6,0	19,1
			3	15,7	66,1	2,8	15,4	30,3	60,0	0,1	9,5
			4	17,1	70,1	1,3	11,5	10,3	73,9	1,5	14,3
			5	34,8	27,0	22,1	16,1	36,6	23,2	23,9	16,3

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpeste roseau; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpeste roseau; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5**: luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpeste roseau.

^y **L**: Luzerne ; **GS**: Graminées semées ; **MH**: Mauvaises herbes ; **MM**: Matériel mort.

Tableau 3.6 Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote appliquées au début de la mise en réserve, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée pour les années 2015 et 2016 au site de New Liskeard.

Dose kg N ha ⁻¹	Initiation stockage	Paissance	Mélange ^z	2015				2016			
				L ^y	GS	MH	MM	L	GS	MH	MM
% MS											
0	Juillet	Septembre	1	70,7	27,5	1,8	0,0	87,5	12,5	0,0	0,0
			2	59,6	37,1	3,3	0,0	77,9	20,1	0,0	2,0
			3	56,0	33,6	10,4	0,0	75,5	20,9	0,0	3,6
			4	56,7	38,3	4,9	0,0	82,1	15,5	0,0	2,4
			5	49,9	44,0	6,1	0,0	73,4	23,1	0,0	3,5
		Octobre	1	73,0	26,0	1,0	0,0	81,0	13,3	0,0	5,7
			2	75,5	22,1	2,4	0,0	84,3	10,5	0,0	5,1
			3	49,3	45,5	5,3	0,0	77,3	17,3	0,0	5,4
			4	46,3	44,9	8,8	0,0	72,4	19,9	0,0	7,7
			5	55,2	32,5	12,4	0,0	87,8	10,2	0,0	1,9
	Août	Septembre	1	65,2	32,6	2,1	0,0	82,4	17,2	0,0	0,4
			2	67,7	27,0	5,4	0,0	79,5	18,6	0,0	1,9
			3	73,1	22,9	3,9	0,0	88,8	9,6	0,0	1,5
			4	65,0	28,8	6,2	0,0	79,0	19,7	0,0	1,3
			5	63,6	34,3	2,1	0,0	87,5	12,2	0,0	0,3
		Octobre	1	75,7	21,7	2,6	0,0	92,0	7,8	0,0	0,2
			2	60,9	34,8	4,3	0,0	90,5	7,3	0,0	2,1
			3	63,8	33,6	2,6	0,0	89,5	10,5	0,0	0,0
			4	69,7	26,8	3,5	0,0	93,9	3,2	0,0	2,9
			5	58,4	38,3	3,3	0,0	85,9	13,3	0,4	0,5
50	Juillet	Septembre	1	54,2	42,5	3,4	0,0	77,6	19,2	0,0	3,2
			2	50,0	45,9	4,1	0,0	74,3	24,4	0,0	1,3
			3	51,5	41,7	6,8	0,0	73,3	24,6	0,0	2,0
			4	45,8	50,2	3,9	0,0	70,1	25,9	0,0	4,0
			5	61,2	35,6	3,2	0,0	63,3	33,5	1,6	1,6
		Octobre	1	45,2	48,7	6,2	0,0	85,9	10,8	0,0	3,3
			2	51,4	46,0	2,6	0,0	63,7	25,1	0,0	11,2
			3	49,5	42,6	7,9	0,0	66,0	26,3	0,0	7,7
			4	14,9	65,8	19,3	0,0	58,1	37,2	0,0	4,7
			5	22,2	63,7	14,1	0,0	72,7	21,6	0,0	5,7
	Août	Septembre	1	88,2	11,8	0,0	0,0	82,9	17,1	0,0	0,0
			2	74,0	21,6	4,3	0,0	73,8	25,6	0,0	0,6
			3	69,5	28,8	1,7	0,0	79,8	20,2	0,0	0,0
			4	68,8	28,5	2,7	0,0	70,7	29,0	0,0	0,3
			5	74,1	22,9	3,0	0,0	89,6	9,7	0,0	0,7
		Octobre	1	54,5	40,7	4,7	0,0	91,7	8,3	0,0	0,0
			2	57,6	38,9	3,4	0,0	98,4	1,6	0,0	0,0
			3	49,9	43,5	6,6	0,0	83,9	16,1	0,0	0,0
			4	69,0	23,8	7,2	0,0	96,9	3,1	0,0	0,0
			5	61,9	28,6	9,6	0,0	76,0	23,5	0,0	0,5

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fêtuque des prés et fléole des prés ; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fêtuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau ; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fêtuque élevée, brome des prés et alpiste roseau ; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fêtuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés ; **Mélange 5**: luzerne, fêtuque rouge traçante, fêtuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^y **L**: Luzerne ; **GS**: Graminées semées ; **MH**: Mauvaises herbes ; **MM**: Matériel mort.

Tableau 3.7 Composition botanique des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote appliquées au début de la mise en réserve, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée pour les années 2015 et 2016 au site de Normandin.

Dose kg N ha ⁻¹	Initiation stockage	Paissance	Mélange ^z	2015				2016			
				L ^y	GS	MH	MM	L	GS	MH	MM
				% MS							
0	Juillet	Septembre	1	55,4	24,3	2,1	18,1	95,6	3,7	0,8	0,0
			2	66,5	21,9	2,4	9,1	95,9	3,8	0,3	0,0
			3	55,6	27,4	1,4	15,6	88,3	11,5	0,2	0,0
			4	72,4	17,2	1,4	9,0	87,1	11,0	1,9	0,0
			5	50,1	33,9	2,6	13,4	94,8	5,1	0,1	0,0
		Octobre	1	69,2	21,2	4,2	5,3	80,7	16,4	2,8	0,0
			2	64,2	22,5	0,9	12,4	84,4	15,3	0,3	0,0
			3	75,9	18,3	2,0	3,8	73,8	24,3	2,0	0,0
			4	49,5	33,6	1,9	15,0	75,6	24,3	0,1	0,0
			5	65,1	29,2	1,0	4,7	72,6	27,4	0,0	0,0
	Août	Septembre	1	56,7	32,2	6,2	4,9	90,0	6,9	3,2	0,0
			2	67,0	30,3	0,9	1,7	94,3	4,9	0,8	0,0
			3	52,1	38,8	1,4	7,7	90,4	7,9	1,7	0,0
			4	56,4	30,3	7,9	5,4	88,9	10,6	0,4	0,0
			5	56,7	35,2	3,1	5,0	85,5	12,2	2,3	0,0
		Octobre	1	72,8	21,7	4,2	1,3	79,7	20,0	0,3	0,0
			2	62,6	31,5	1,0	4,8	82,9	16,0	1,1	0,0
			3	81,3	15,8	2,0	0,9	75,2	24,6	0,3	0,0
			4	65,0	29,0	2,6	3,4	69,3	29,4	1,3	0,0
			5	72,1	24,4	2,7	0,9	73,9	24,4	1,7	0,0
50	Juillet	Septembre	1	38,2	37,5	2,2	22,1	94,4	5,1	0,5	0,0
			2	67,7	25,0	0,9	6,4	90,6	9,4	0,0	0,0
			3	38,4	40,6	2,1	18,9	90,1	9,7	0,3	0,0
			4	56,0	31,0	2,4	10,6	87,2	12,7	0,0	0,0
			5	27,8	50,5	0,4	21,3	84,4	15,1	0,5	0,0
		Octobre	1	53,1	37,3	1,8	7,8	61,4	38,3	0,3	0,0
			2	30,2	46,9	3,7	19,2	55,8	43,6	0,6	0,0
			3	63,0	30,2	0,6	6,2	57,8	41,3	0,9	0,0
			4	30,3	50,4	3,5	15,7	47,2	52,0	0,8	0,0
			5	68,8	22,3	1,2	7,6	47,2	52,7	0,1	0,0
	Août	Septembre	1	31,3	55,8	1,6	11,3	83,9	14,0	2,1	0,0
			2	51,5	37,1	7,4	4,0	83,6	11,8	4,6	0,0
			3	40,2	53,1	1,1	5,6	72,6	24,4	3,0	0,0
			4	54,0	42,1	1,8	2,1	75,7	23,3	1,0	0,0
			5	31,3	59,8	0,4	8,4	75,1	23,2	1,7	0,0
		Octobre	1	57,0	37,7	3,4	1,8	69,2	30,6	0,2	0,0
			2	29,2	60,1	2,8	7,9	65,1	33,5	1,4	0,0
			3	61,0	32,7	4,7	1,6	42,5	55,7	1,9	0,0
			4	33,9	57,0	1,5	7,5	62,8	37,0	0,2	0,0
			5	54,5	40,8	3,8	0,9	56,1	43,1	0,7	0,0

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés ; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau ; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau ; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés ; **Mélange 5**: luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^y **L**: Luzerne ; **GS**: Graminées semées ; **MH**: Mauvaises herbes ; **MM**: Matériel mort.

Tableau 3.8 Statistiques de performance de la spectroscopie de réflectance dans le visible et le proche infrarouge pour prédire la concentration des attributs de valeur nutritive (g kg^{-1} MS) du groupe d'échantillons de validation des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées récoltés en été et en automne.

Paramètres ^z	n ^y	ET	Moyenne	Pente	ETP(C)	R ²	RDP
aNDF	30	73,104	499,27	1,020	11,365	0,976	6,43
ADF	30	67,615	366,40	1,017	8,867	0,983	7,63
DVMS	30	79,953	697,82	1,047	19,936	0,935	4,01
Protéines brutes	30	40,062	158,09	0,911	11,001	0,934	3,64

^z **aNDF**: fibres insolubles au détergent neutre ; **ADF**: fibres insolubles au détergent acide ; **DVMS**: digestibilité vraie de la matière sèche mesurée *in vitro* après 48 heures d'incubation avec du liquide ruminal.

^y **n**: nombre d'échantillons pour le groupe de validation; **ET**: écart-type ; **ETP(C)**: erreur type de prédiction corrigée pour le biais ; **RDP**: ratio de déviation de la prédiction [ET du groupe de validation /ETP(C)].

Tableau 3.9 Attributs de valeur nutritive moyens du fourrage en fonction du mode de gestion des coupes estivales et des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées cultivés aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan en 2015 et 2016.

Site	Système	Coupe	Mélange ^z	DVMS	aNDF	ADF	PB	NDFd
				g kg ⁻¹ MS				
New Liskeard	Ensilage	1	1	754	448	329	194	450
			2	755	447	326	193	451
			3	741	455	332	195	430
			4	744	460	333	192	442
			5	741	453	330	197	430
		2	1	770	390	292	211	408
			2	775	382	287	215	411
			3	756	406	302	208	397
			4	761	413	299	205	420
			5	761	405	297	210	408
	Foin	1	1	697	499	366	159	391
			2	698	499	363	158	395
			3	687	507	369	162	382
			4	689	508	370	160	386
			5	686	501	370	163	373
Normandin	Ensilage	1	1	785	438	299	171	509
			2	783	437	301	173	504
			3	771	438	301	173	477
			4	767	450	305	169	485
			5	773	443	302	173	491
		2	1	762	455	345	200	477
			2	759	455	344	198	470
			3	748	462	347	195	455
			4	741	480	357	186	462
			5	738	480	360	188	454
	Foin	1	1	738	486	341	151	461
			2	737	488	347	155	463
			3	733	485	347	161	453
			4	734	482	341	157	451
			5	732	481	341	156	445
Nappan	Ensilage	1	1	710	556	367	142	478
			2	707	565	369	142	483
			3	713	523	353	158	455
			4	700	542	358	147	452
			5	707	530	353	150	451
		2	1	708	468	343	194	370
			2	706	477	347	189	376
			3	715	472	341	201	393
			4	706	507	351	177	417
			5	717	465	334	197	387
	Foin	1	1	627	597	398	118	377
			2	617	606	403	118	371
			3	640	574	385	129	379
			4	657	556	380	139	387
			5	640	568	385	137	372

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau 3.10 Attributs de valeur nutritive moyens du fourrage en fonction de deux périodes d'initiation du stockage sur pied et de deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Initiation stockage	Paissance	Mélange ^z	DVMS	g kg ⁻¹ MS			NDFd g kg ⁻¹ aNDF
					aNDF	ADF	PB	
New Liskeard	Juillet	Septembre	1	687	473	347	173	336
			2	684	482	348	174	342
			3	674	484	345	175	325
			4	666	505	357	169	336
			5	669	482	348	178	311
		Octobre	1	661	493	363	160	313
			2	663	496	361	162	319
			3	643	510	368	161	300
			4	652	511	363	158	318
			5	650	507	363	159	310
	Août	Septembre	1	785	387	298	230	446
			2	776	394	308	229	431
			3	769	403	305	223	428
			4	767	413	308	219	436
			5	777	396	303	227	438
		Octobre	1	752	408	318	212	394
			2	752	410	320	211	395
			3	752	417	316	210	406
			4	755	424	313	209	424
			5	748	416	319	209	395
Normandin	Juillet	Septembre	1	669	526	419	163	370
			2	667	526	423	161	368
			3	653	538	428	161	355
			4	653	548	431	161	366
			5	661	538	425	163	370
		Octobre	1	586	605	473	101	318
			2	577	608	475	104	306
			3	558	627	492	103	296
			4	573	623	480	103	317
			5	588	599	466	110	314
	Août	Septembre	1	810	403	293	214	528
			2	810	401	291	216	525
			3	800	410	297	213	512
			4	791	427	303	207	509
			5	794	422	299	208	511
		Octobre	1	734	480	356	138	449
			2	734	483	357	138	451
			3	725	481	352	142	429
			4	720	493	357	139	434
			5	719	485	357	143	423
Nappan	Juillet	Septembre	1	682	473	339	204	327
			2	671	491	349	199	329
			3	675	484	342	212	328
			4	681	513	353	196	377
			5	688	476	332	216	344
		Octobre	1	610	543	395	169	284
			2	629	537	378	166	311
			3	613	533	375	175	274
			4	667	532	363	168	374
			5	626	529	368	180	295
	Août	Septembre	1	779	407	290	240	456
			2	785	406	293	241	468
			3	758	440	305	225	448
			4	755	480	318	207	488
			5	768	442	299	223	475
		Octobre	1	701	489	366	183	395
			2	696	496	366	188	393
			3	720	478	331	188	415
			4	723	506	338	177	454
			5	722	473	329	192	412

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau 3.11 Attributs de valeur nutritive moyens du fourrage en fonction de deux doses d'azote, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Initiation stockage	Paissance	Dose	DVMS	aNDF	ADF	PB	NDFd
			kg N ha ⁻¹					
New Liskeard	Juillet	Septembre	0	673	478	352	175	317
			50	678	492	347	173	343
		Octobre	0	651	501	366	160	303
			50	657	506	361	160	321
	Août	Septembre	0	781	391	298	226	441
			50	769	405	311	225	430
		Octobre	0	753	410	315	211	397
			50	751	420	319	210	408
Normandin	Juillet	Septembre	0	663	531	428	166	365
			50	658	539	423	158	366
		Octobre	0	559	624	498	105	295
			50	594	601	456	103	325
	Août	Septembre	0	803	402	294	217	509
			50	799	423	299	206	525
		Octobre	0	720	485	364	143	423
			50	734	484	347	137	452
Nappan	Juillet	Septembre	0	680	488	342	202	344
			50	679	487	344	208	338
		Octobre	0	630	540	377	170	316
			50	628	530	374	174	299
	Août	Septembre	0	771	430	296	226	466
			50	767	440	306	228	468
		Octobre	0	716	484	339	183	415
			50	708	494	354	188	413

Tableau 4.1 Températures mensuelles moyennes et précipitations mensuelles totales durant les saisons de croissance 2014 à 2016, et moyennes de plusieurs années antérieures, aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Site et mois	Température mensuelle moyenne (°C)				Précipitations mensuelles totales (mm)			
	2014	2015	2016	Moyenne ^Z	2014	2015	2016	Moyenne
New Liskeard								
Mai	11,1	13,3	11,8	11,2	91,7	48,3	35,2	71,4
Juin	17,2	15,1	16,2	16,7	49,7	39,0	47,8	77,9
Juillet	18,1	18,4	19,8	19,0	62,4	38,1	63,2	86,4
Août	16,8	17,5	20,4	17,6	130,5	90,6	62,0	82,9
Septembre	12,3	15,2	15,3	13,1	92,7	67,8	56,2	81,4
Octobre	6,6	4,4	7,7	ND	179,1	60,3	80,4	ND
Normandin								
Avril	1,4	1,3	-4,7	0,6	35,2	130,0	77,9	54,1
Mai	10,2	10,7	10,1	9,0	67,7	50,5	81,0	69,5
Juin	16,7	13,9	14,7	14,6	78,1	62,0	134,9	80,7
Juillet	17,9	17,6	17,1	17,1	101,1	145,8	125,3	106,9
Août	17,3	17,7	17,5	15,7	141,9	101,2	94,1	88,1
Septembre	11,3	14,6	13,0	10,9	85,3	69,0	130,4	91,0
Octobre	6,7	3,1	6,2	4,8	112,5	96,2	190,3	67,6
Nappan								
Avril	4,2	1,4	3,5	4,1	102,6	72,1	66,0	62,7
Mai	9,2	10,8	10,4	10,2	54,0	58,6	70,6	91,7
Juin	15,0	13,0	14,5	15,0	175,1	202,1	28,6	79,6
Juillet	19,9	17,8	19,1	18,5	92,7	52,8	50,6	89,0
Août	17,6	20,6	18,6	18,2	84,0	100,5	95,4	74,4
Septembre	13,8	16,0	14,9	14,2	65,1	85,2	49,9	98,4
Octobre	10,4	7,6	9,2	8,5	128,0	104,6	124,3	97,2

^ZNew Liskeard: 1990-2015; Normandin: 1937-2016; Nappan: 1970-2000

Tableau 4.2 Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha⁻¹) en fonction du système de gestion des coupes estivales et des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées cultivés aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan en 2015 et 2016.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan		
		2015	2016	2015	2016	2015	2016	
Systèmes	Ensilage	5730 ^a	5770 ^a	5369 ^a	4217 ^a	8726 ^a	14413 ^a	
	Foin	4683 ^b	3168 ^b	3140 ^b	3473 ^b	6000 ^b	9261 ^b	
	ETM ^Z	88	107	178	154	535	562	
Mélanges ^Y	1	5226	4493	4339	3950	7896 ^{ab}	11486	
	2	5288	4520	4409	3957	8128 ^a	11554	
	3	5243	4456	4129	3743	7105 ^b	12186	
	4	5104	4429	4147	3881	6395 ^c	11801	
	5	5170	4446	4249	3693	7293 ^b	12157	
	ETM	101	140	214	158	397	481	
Sources de variation		dl ^X	Valeur F	Pr F	Valeur F	Pr F	Valeur F	Pr F
Système (S)		1	685,11	0,0001	98,36	0,0025	26,67	< 0,0001
Mélange (M)		4	0,57	NS ^w	0,96	NS	2,87	0,0379
S × M		4	0,38	NS	0,61	NS	2,64	NS
Année (A)		1	157,62	< 0,0001	42,1	< 0,0001	985,46	< 0,0001
A × S		1	174,98	< 0,0001	138,04	< 0,0001	72,48	< 0,0001
A × M		4	0,11	NS	0,56	NS	8,05	< 0,0001
A × S × M		4	0,23	NS	0,40	NS	1,96	NS

Note: Les données d'une même colonne et d'un même facteur principal affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

^Y **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^X dl: degré(s) de liberté

^w NS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau 4.3 Analyse de variance rapportant les effets des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées et des années d'exploitation sur les rendements en matière sèche (kg MS ha⁻¹) aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Source de variation	Degrés de liberté	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		F	Pr F	F	Pr F	F	Pr F
Dose d'azote (D)	1	19,0	0,0469	0,8	NS	0,1	NS *
Initiation du stockage (I)	1	61,8	< 0,0001	112,6	0,0004	74,5	< 0,0001
D × I	1	0,0	NS	1,8	NS	1,3	NS
Paissance (P)	1	16,8	0,0013	4,0	NS	127,8	< 0,0001
D × P	1	0,8	NS	1,0	NS	0,2	NS
I × P	1	0,4	NS	7,3	0,0273	12,4	0,0006
D × I × P	1	0,1	NS	0,0	NS	1,0	NS
Mélange (M)	4	15,5	< 0,0001	2,0	NS	17,7	< 0,0001
D × M	4	3,3	0,0179	0,5	NS	0,4	NS
I × M	4	6,2	0,0003	0,5	NS	5,9	0,0003
D × I × M	4	1,7	NS	1,3	NS	3,6	0,0097
P × M	4	1,7	NS	1,2	NS	6,7	0,0001
D × P × M	4	0,3	NS	0,6	NS	1,2	NS
I × P × M	4	2,9	0,0292	0,3	NS	2,4	NS
D × I × P × M	4	1,7	NS	0,2	NS	1,7	NS
Année (A)	1	1136,4	< 0,0001	180,2	< 0,0001	1222,1	< 0,0001
A × D	1	38,8	< 0,0001	1,3	NS	2,7	NS
A × I	1	137,4	< 0,0001	27,1	< 0,0001	47,9	< 0,0001
A × D × I	1	4,2	0,0432	21,6	< 0,0001	8,3	0,0050
A × P	1	5,8	0,0181	5,2	0,0256	1154,0	< 0,0001
A × D × P	1	0,0	NS	0,0	NS	0,2	NS
A × I × P	1	13,3	0,0005	0,8	NS	17,2	< 0,0001
A × D × I × P	1	0,3	NS	0,9	NS	1,1	NS
A × M	4	1,5	NS	1,6	NS	3,2	0,0168
A × D × M	4	0,4	NS	1,1	NS	1,3	NS
A × I × M	4	1,7	NS	0,6	NS	3,2	0,0160
A × D × I × M	4	0,1	NS	1,4	NS	4,5	0,0025
A × P × M	4	0,8	NS	0,3	NS	2,5	NS
A × D × P × M	4	1,0	NS	0,5	NS	0,3	NS
A × I × P × M	4	2,6	0,0440	0,6	NS	0,5	NS
A × D × I × P × M	4	2,7	0,0374	0,7	NS	1,1	NS

*NS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau 4.4 Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées selon deux doses d'azote, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Fertilisation azotée (kg N ha ⁻¹)	0	3101 ^b	2251	2172	1734	5759	3194
	50	3594 ^a	2358	2406	1889	5711	3376
	ETM ^Z	96	92	158	158	159	129
Initiation du stockage	Juillet	3789 ^a	2384	2771 ^a	2109 ^a	6790 ^a	3855 ^a
	Août	2906 ^b	2226	1806 ^b	1513 ^b	4680 ^b	2714 ^b
	ETM	95	92	119	119	159	129
Paissance	Septembre	3446 ^a	2477 ^a	2307	1910	3889 ^b	3820 ^a
	Octobre	3249 ^b	2131 ^b	2272	1713	7581 ^a	2749 ^b
	ETM	95	92	117	117	140	106
Mélanges ^Y	1	3136 ^b	2174 ^b	2370	1754	5566 ^{bc}	2950 ^c
	2	3217 ^b	2246 ^b	2268	1742	5640 ^b	2926 ^c
	3	3462 ^a	2328 ^a	2164	1812	5880 ^b	3370 ^b
	4	3444 ^a	2427 ^a	2316	1890	6323 ^a	3899 ^a
	5	3481 ^a	2350 ^a	2329	1859	5268 ^c	3280 ^{bc}
	ETM	101	91	123	122	180	107

Note: Les données d'une même colonne et d'un même facteur principal affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

^Y **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau 4.5 Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des doses de fertilisation azotée appliquées à la mise en réserve et des périodes d'initiation du stockage sur pied pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Initiation stockage	Dose d'azote (kg N ha ⁻¹)	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Juillet	0	3515	2366	2523	2066	7024	3772
	50	4064	2402	3021	2152	6557	3939
Août	0	2688	2136	1820	1403	4495	2617
	50	3125	2316	1793	1625	4866	2813
	ETM ^Z	111	104	169	168	223	181

Note: Les données d'une même colonne affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.6 Rendements en matière sèche moyens (kg MS ha⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des quatre périodes d'accumulation pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Périodes de stockage	New Liskeard		Normandin		Nappan	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Juillet - Septembre	3812	2593	2696	2145	4596	4332
Juillet - Octobre	3767	2174	2848	2073	8985	3378
Août - Septembre	3081	2362	1917	1675	3184	3309
Août - Octobre	2732	2090	1696	1353	6177	2120
ETM ^z	110	104	128	128	196	147

^z ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.7 Rendements en matière sèche (kg MS ha⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux périodes d'initiation du stockage sur pied pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Initiation stockage	Mélanges ^z	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Juillet	1	3566	2211	2901	2076	6773	3571
	2	3669	2280	2722	2076	7046	3553
	3	3853	2366	2594	2089	6835	3928
	4	4063	2609	2775	2187	6814	4347
	5	3796	2453	2867	2118	6487	3878
Août	1	2706	2137	1838	1432	4359	2329
	2	2764	2211	1814	1409	4234	2298
	3	3070	2289	1733	1535	4926	2812
	4	2826	2246	1857	1594	5833	3451
	5	3166	2246	1791	1601	4050	2683
	ETM ^y	121	103	137	128	254	148

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5**: luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^y ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.8 Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg⁻¹ MS) des fourrages en fonction du système de gestion des coupes estivales et des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Systèmes	Ensilage	568,8 ^a	586,0 ^a	587,0 ^a	599,6	558,5	525,1 ^a
	Foin	512,0 ^b	532,0 ^b	557,5 ^b	603,8	542,4	444,1 ^b
	ETM ^z	4,3	4,3	2,2	2,1	3,7	3,8
Mélanges ^y	1	554,5 ^a	560,1 ^{ab}	583,6 ^a	606,2	549,1	486,8
	2	552,0 ^a	565,1 ^a	581,0 ^a	606,1	545,6	484,3
	3	529,0 ^b	556,0 ^b	565,8 ^b	600,4	553,7	481,1
	4	533,4 ^b	559,7 ^{ab}	566,6 ^b	598,3	553,7	484,4
	5	533,2 ^b	554,1 ^b	564,2 ^b	597,4	550,3	486,4
	ETM	5,0	4,8	3,5	3,3	4,3	4,7
Source de variation	dl ^x	Valeur F	Pr F	Valeur F	Pr F	Valeur F	Pr F
Système (S)	1	775,05	< 0,0001	40,76	< 0,0001	47,75	0,0203
Mélange (M)	4	11,78	< 0,0001	9,15	< 0,0001	0,22	NS ^w
S × M	4	0,10	NS	1,24	NS	2,87	0,0265
Année (A)	1	94,28	< 0,0001	157,13	< 0,0001	768,11	< 0,0001
A × S	1	0,58	NS	50,97	< 0,0001	186,72	< 0,0001
A × M	4	4,59	0,0019	1,01	NS	0,84	NS
A × S × M	4	2,52	0,0452	1,22	NS	1,19	NS

Note: Les données d'une même colonne et pour un effet principal donné affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^z ETM: Écart-type de la moyenne

^y **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^x dl: degré(s) de liberté

^w NS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau 4.9 Analyse de variance rapportant les effets des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées et des années d'exploitation sur la valeur nutritive (g UNT kg⁻¹ MS) du fourrage aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Source de variation	Degrés de liberté	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		F	Pr F	F	Pr F	F	Pr F
Dose d'azote (D)	1	0,49	NS ^x	1,63	NS	0	NS
Initiation du stockage (I)	1	1117,92	< 0,0001	918,03	< 0,0001	59,27	< 0,0001
D × I	1	13,13	0,0004	0,3	NS	0,01	NS
Paissance (P)	1	33,78	< 0,0001	185,54	< 0,0001	66,24	< 0,0001
D × P	1	1,76	NS	5,48	0,0373	0,58	NS
I × P	1	0	NS	2,23	NS	0,52	NS
D × I × P	1	0,47	NS	1,72	NS	0,02	NS
Mélange (M)	4	3,64	0,0073	7,39	< 0,0001	0,79	NS
D × M	4	0,14	NS	0,38	NS	2,16	NS
I × M	4	1,78	NS	2,3	NS	1,04	NS
D × I × M	4	1,03	NS	0,78	NS	0,66	NS
P × M	4	1,88	NS	0,68	NS	7,27	< 0,0001
D × P × M	4	0,12	NS	1,58	NS	0,66	NS
I × P × M	4	0,69	NS	0,35	NS	4,1	0,0036
D × I × P × M	4	0,62	NS	0,21	NS	0,26	NS
Année (A)	1	35,66	< 0,0001	185,43	< 0,0001	64,68	< 0,0001
A × D	1	0,02	NS	3,74	NS	4,73	0,0313
A × I	1	106,75	< 0,0001	13,96	0,0003	5,17	0,0245
A × D × I	1	0,21	NS	1,6	NS	0,41	NS
A × P	1	0,89	NS	60,83	< 0,0001	3,86	< 0,0001
A × D × P	1	0,07	NS	4,94	0,0279	5,88	0,0165
A × I × P	1	0,2	NS	0,11	NS	0,63	NS
A × D × I × P	1	0,67	NS	3,74	NS	0,18	NS
A × M	4	2,22	NS	1,43	NS	0,87	NS
A × D × M	4	3,98	0,0042	0,82	NS	0,26	NS
A × I × M	4	0,51	NS	0,27	NS	3,26	0,0136
A × D × I × M	4	0,24	NS	0,57	NS	0,26	NS
A × P × M	4	0,16	NS	0,59	NS	1,81	NS
A × D × P × M	4	0,39	NS	0,94	NS	0,50	NS
A × I × P × M	4	0,78	NS	0,64	NS	1,41	NS
A × D × I × P × M	4	0,93	NS	3,12	0,017	0,99	NS

^x NS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau 4.10 Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées à la mise en réserve et des deux périodes d'initiation du stockage sur pied au site de New Liskeard.

Dose d'azote (kg N ha ⁻¹)	Mois d'initiation du stockage	
	Juillet	Août
0	503,4	598,8
50	508,9	585,7
ETM ^z	4,2	4,2

^z ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.11 Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux doses d'azote appliquées à la mise en réserve et de deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Fertilisation azotée kg N ha ⁻¹	Période de paissance			
		Septembre		Octobre	
		2015	2016	2015	2016
New Liskeard	0	566,7	553,9	551,3	532,4
	50	559,7	546,4	549,9	533,1
	ETM ^z	5,1	5,0	5,0	5,0
Normandin	0	572,4	568,1	532,7	477,0
	50	582,8	557,2	550,9	496,6
	ETM	6,4	6,4	6,5	6,4
Nappan	0	554,1	547,1	528,3	495,4
	50	550,6	545,3	547,9	483,7
	ETM	8,1	8,1	8,2	8,1

^z ETM = Écart-type de la moyenne

Tableau 4.12 Valeurs nutritives moyennes (g UNT kg⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux doses d'azote appliquées à la mise en réserve, de deux périodes d'initiation du stockage sur pied, et de deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Fertilisation azotée (kg N ha ⁻¹)	0	559,0	543,2	552,5	522,5	541,2	521,3
	50	554,8	539,8	566,9	526,9	549,3	514,5
	ETM ^Z	4,3	4,3	5,5	5,5	7,1	7,1
Initiation du stockage	Juillet	527,2 ^b	485,1 ^b	502,4 ^b	457,8 ^b	505,1 ^b	485,5 ^b
	Août	586,6 ^a	597,8 ^a	617,0 ^a	591,6 ^a	585,3 ^a	550,2 ^a
	ETM	3,6	3,5	4,6	4,6	7,1	7,1
Paissance	Septembre	563,2 ^a	550,2 ^a	577,6 ^a	562,6 ^a	552,4 ^a	546,2 ^a
	Octobre	550,6 ^b	532,8 ^b	541,8 ^b	486,8 ^b	538,1 ^b	489,5 ^b
	ETM	3,6	3,5	4,6	4,6	5,8	5,7
Mélanges ^Y	1	569,8 ^a	544,1	573,9 ^a	528,2 ^{ab}	547,3	516,0
	2	563,7 ^a	541,4	568,1 ^a	531,1 ^a	551,3	515,7
	3	551,6 ^b	536,7	551,2 ^b	518,4 ^b	537,5	513,9
	4	548,9 ^b	540,7	548,9 ^b	521,2 ^{ab}	542,6	525,2
	5	550,4 ^b	544,4	556,3 ^b	524,8 ^{ab}	547,5	518,5
	ETM	4,8	4,7	5,4	5,3	7,1	6,9

Note: Les données d'une même colonne et pour un même effet principal affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

^Y **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpeste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpeste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpeste roseau.

Tableau 4.13 Valeur nutritive (g UNT kg⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux périodes d'initiation du stockage sur pied au site de Nappan pour les années 2015 et 2016.

Mélanges ^z	Mois d'initiation du stockage			
	Juillet		Août	
	2015	2016	2015	2016
1	494,2	489,9	600,4	542,2
2	507,4	489,6	595,1	541,9
3	500,4	474,3	574,6	553,5
4	513,4	494,5	571,8	556,0
5	510,3	479,4	584,6	557,5
ETM ^y	9,8	9,8	10,3	9,8

Note: Les données d'une même colonne affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^y ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.14 Valeur nutritive (g UNT kg⁻¹ MS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction de deux doses d'azote appliquées au moment de la mise en réserve au site de New Liskeard pour les années 2015 et 2016.

Mélanges ^z	Dose de fertilisation azotée			
	0 kg N ha ⁻¹		50 kg N ha ⁻¹	
	2015	2016	2015	2016
1	568,4	548,5	571,2	539,7
2	556,5	551,1	570,9	531,8
3	560,9	535,1	542,4	538,2
4	553,7	538,0	544,1	543,4
5	555,6	543,1	545,3	545,8
ETM ^y	7,0	6,7	6,7	6,7

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5**: luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^y ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.15 Rendements moyens en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha⁻¹) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées et exploités selon deux mode de gestion des coupes estivales pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Systèmes	Ensilage	3223 ^a	3361 ^a	3138 ^a	2517 ^a	4863 ^a	7446 ^a
	Foin	2396 ^b	1684 ^b	1748 ^b	2096 ^b	3251 ^b	4093 ^b
	ETM ^z	68	77	99	85	288	298
Mélanges ^y	1	2891 ^a	2545	2541	2391	4348 ^a	5642
	2	2911 ^a	2589	2576	2396	4454 ^a	5680
	3	2778 ^b	2490	2345	2238	3952 ^b	5907
	4	2724 ^b	2500	2356	2310	3523 ^c	5685
	5	2744 ^b	2488	2396	2196	4008 ^b	5933
	ETM	72	91	121	92	223	254
Source de variation	dl ^x	Valeur F	Pr F	Valeur F	Pr F	Valeur F	Pr F
Système (S)	1	812,27	< 0,0001	131,48	0,0014	40,68	< 0,0001
Mélange (M)	4	2,62	0,0390	1,98	NS ^w	5,00	0,0041
S × M	4	0,33	NS	0,26	NS	1,37	NS
Année (A)	1	85,55	< 0,0001	16,34	0,0001	585,06	< 0,0001
A × S	1	186,65	< 0,0001	205,30	< 0,0001	151,31	< 0,0001
A × M	4	0,50	NS	0,66	NS	7,17	< 0,0001
A × S × M	4	0,21	NS	0,54	NS	1,16	NS

Note: Les données d'une même colonne et pour un même effet principal affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^zETM: Écart-type de la moyenne

^y**Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^xdl: degré(s) de liberté

^wNS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau 4.16 Analyse de variance rapportant les effets des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées et des années d'exploitation sur le rendement en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha⁻¹) aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Source de variation	Degrés de liberté	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		F	Pr F	F	Pr F	F	Pr F
Dose d'azote (D)	1	13,22	NS ^x	0,62	NS	2,34	NS
Initiation du stockage (I)	1	2,16	NS	11,79	0,0241	99	< 0,0001
D × I	1	0,08	NS	1,01	NS	5,49	0,0355
Paissance (P)	1	21,95	0,0005	35,01	0,0003	171,23	< 0,0001
D × P	1	0,34	NS	2,18	NS	0,19	NS
I × P	1	0,53	NS	3,57	NS	9,33	0,0082
D × I × P	1	0,14	NS	0,08	NS	2,2	NS
Mélange (M)	4	7,03	< 0,0001	2,26	NS	22,63	< 0,0001
D × M	4	2,99	0,0210	0,61	NS	0,81	NS
I × M	4	5,72	0,0003	1,41	NS	6,67	< 0,0001
D × I × M	4	1,07	NS	1,57	NS	2,67	0,0364
P × M	4	0,45	NS	1,48	NS	12,2	< 0,0001
D × P × M	4	0,3	NS	0,79	NS	1,46	NS
I × P × M	4	2,93	0,0228	0,3	NS	2,06	NS
D × I × P × M	4	1,31	NS	0,18	NS	1,63	NS
Année (A)	1	1305,59	< 0,0001	296,07	< 0,0001	1351,23	< 0,0001
A × D	1	37,34	< 0,0001	2,03	NS	0	NS
A × I	1	193,68	< 0,0001	32,66	< 0,0001	15,24	0,0002
A × D × I	1	5,45	0,021	22,92	< 0,0001	9,92	0,0021
A × P	1	3,43	NS	11,91	0,0007	1262,75	< 0,0001
A × D × P	1	0,03	NS	0,18	NS	4,65	0,0334
A × I × P	1	10,61	0,0014	0,55	NS	4,18	0,0435
A × D × I × P	1	1,07	NS	2,76	NS	0,94	NS
A × M	4	0,82	NS	3,01	0,0202	1,93	NS
A × D × M	4	1,61	NS	1,62	NS	1,89	NS
A × I × M	4	2,81	0,0278	0,77	NS	2,05	NS
A × D × I × M	4	0,1	NS	1,6	NS	3,7	0,0074
A × P × M	4	0,94	NS	0,45	NS	1,6	NS
A × D × P × M	4	1,2	NS	0,65	NS	0,6	NS
A × I × P × M	4	2,33	NS	0,95	NS	0,67	NS
A × D × I × P × M	4	3,34	0,012	1,58	NS	0,36	NS

^x NS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau 4.17 Rendements moyens en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha⁻¹) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées au début de la période de stockage et des deux périodes d'initiation du stockage sur pied aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Initiation du stockage	Dose d'azote (kg N ha ⁻¹)	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Juillet	0	1843 ^b	1143 ^b	1250 ^{ab}	941	3492 ^a	1844 ^a
	50	2152 ^a	1170 ^b	1536 ^a	997	3329 ^a	1923 ^a
Août	0	1599 ^c	1290 ^{ab}	1112 ^b	837	2587 ^c	1469 ^b
	50	1808 ^b	1372 ^a	1122 ^b	971	2902 ^b	1555 ^b
ETM ^Z		61	61	102	102	93	69

Note: Les données d'une même colonne affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

Tableau 4.18 Rendements moyens en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha⁻¹) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées au début du stockage, des deux périodes d'initiation du stockage sur pied et des deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Fertilisation azotée kg N ha ⁻¹	0	1721 ^b	1217	1181	889	3040	1657
	50	1981 ^a	1270	1329	984	3115	1739
	ETM ^Z	52	52	94	94	65	48
Initiation du stockage	Juillet	1998 ^a	1156 ^b	1393 ^a	969	3410 ^a	1883 ^a
	Août	1704 ^b	1330 ^a	1117 ^b	904	2745 ^b	1512 ^b
	ETM	51	51	72	72	65	48
Paissance	Septembre	1930 ^a	1354 ^a	1314 ^a	1059 ^a	2113 ^b	2067 ^a
	Octobre	1771 ^b	1133 ^b	1196 ^b	813 ^b	4042 ^a	1329 ^b
	ETM	51	51	69	69	62	44
Mélanges ^Y	1	1775 ^c	1181 ^c	1334 ^a	912	2956 ^{bc}	1530 ^c
	2	1806 ^{bc}	1213 ^{bc}	1264 ^{ab}	909	3028 ^{bc}	1512 ^c
	3	1897 ^a	1245 ^{ab}	1166 ^c	925	3112 ^b	1726 ^b
	4	1869 ^{ab}	1302 ^a	1244 ^{bc}	971	3413 ^a	2032 ^a
	5	1905 ^a	1273 ^a	1265 ^{ab}	964	2878 ^c	1688 ^b
	ETM	52	52	72	72	83	44

Note: Les données d'une même colonne, et pour un effet principal donné, affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

^Y **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau 4.19 Rendements en unités nutritives totales à l'hectare (kg UNT ha⁻¹) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux périodes d'initiation du stockage sur pied aux sites de New Liskeard et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Initiation stockage	Mélanges ^z	New Liskeard	Nappan
Juillet	1	1509	2543
	2	1556	2654
	3	1569	2638
	4	1681	2819
	5	1570	2581
	ETM ^y	55	73
Août	1	1449	1944
	2	1465	1886
	3	1574	2200
	4	1490	2626
	5	1608	1985
	ETM	55	76

^z **Mélange 1**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2**: luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4**: luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5**: luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

^y ETM: Écart-type de la moyenne

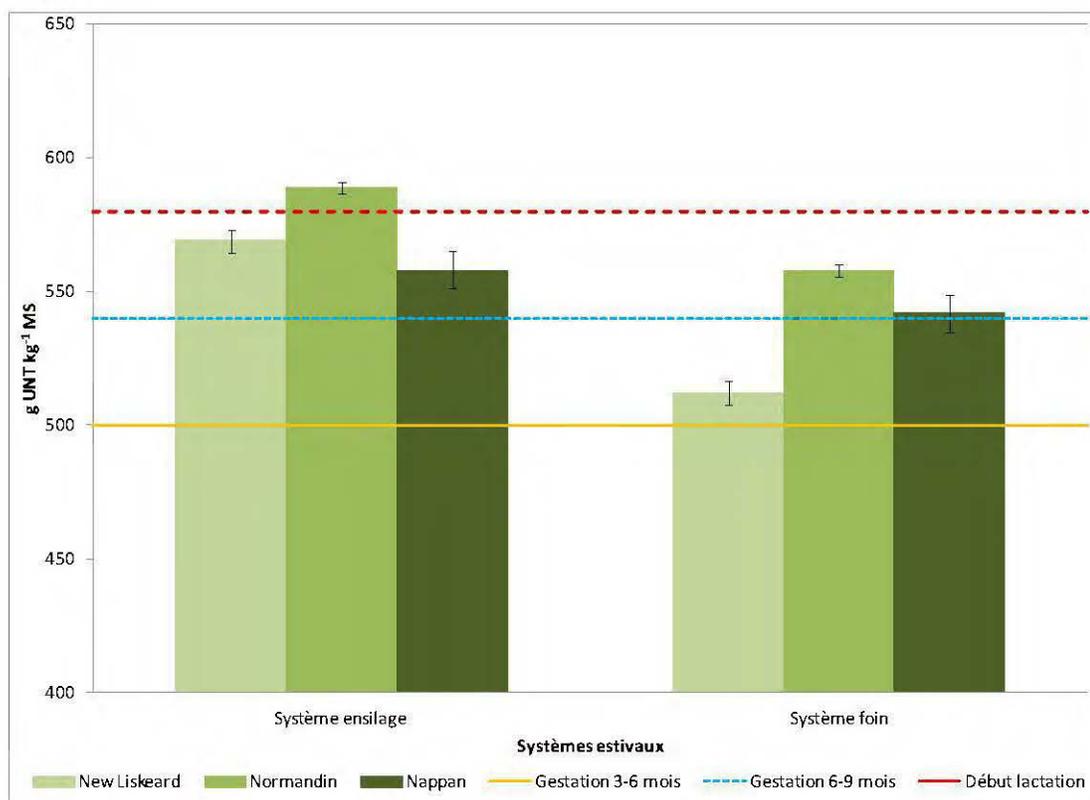


Figure 4.1 Capacité des systèmes fourragers estivaux en 2015 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

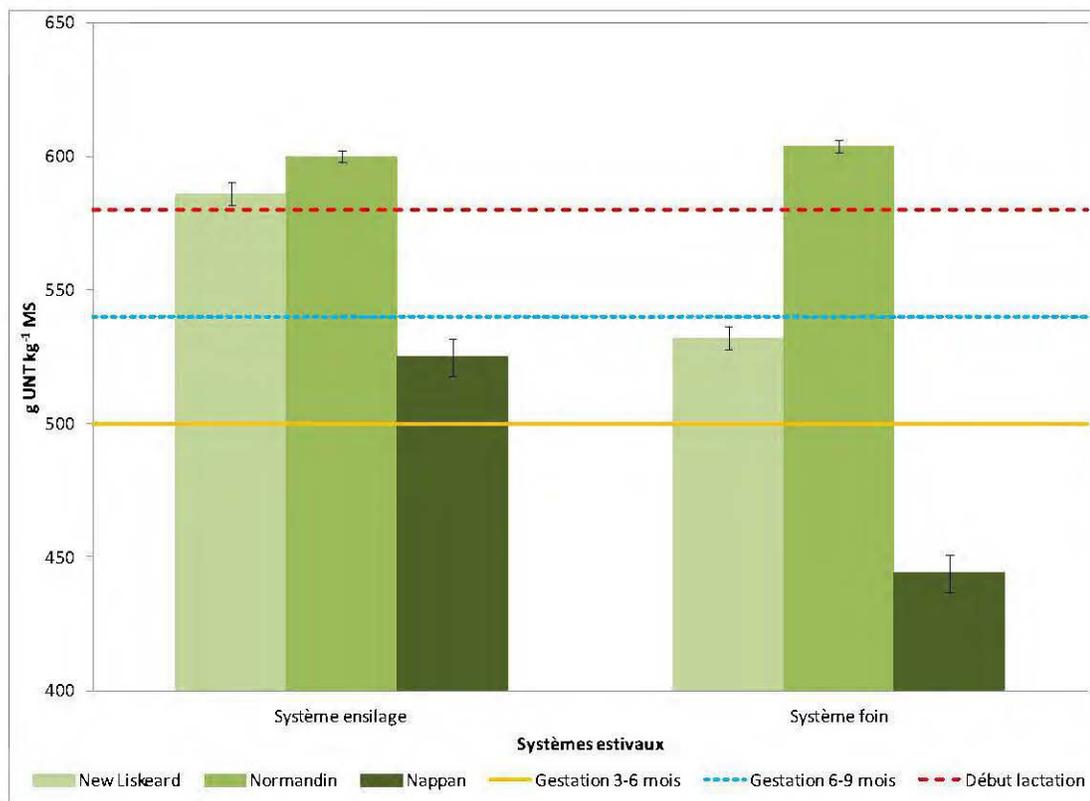


Figure 4.2 Capacité des systèmes fourragers estivaux en 2016 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

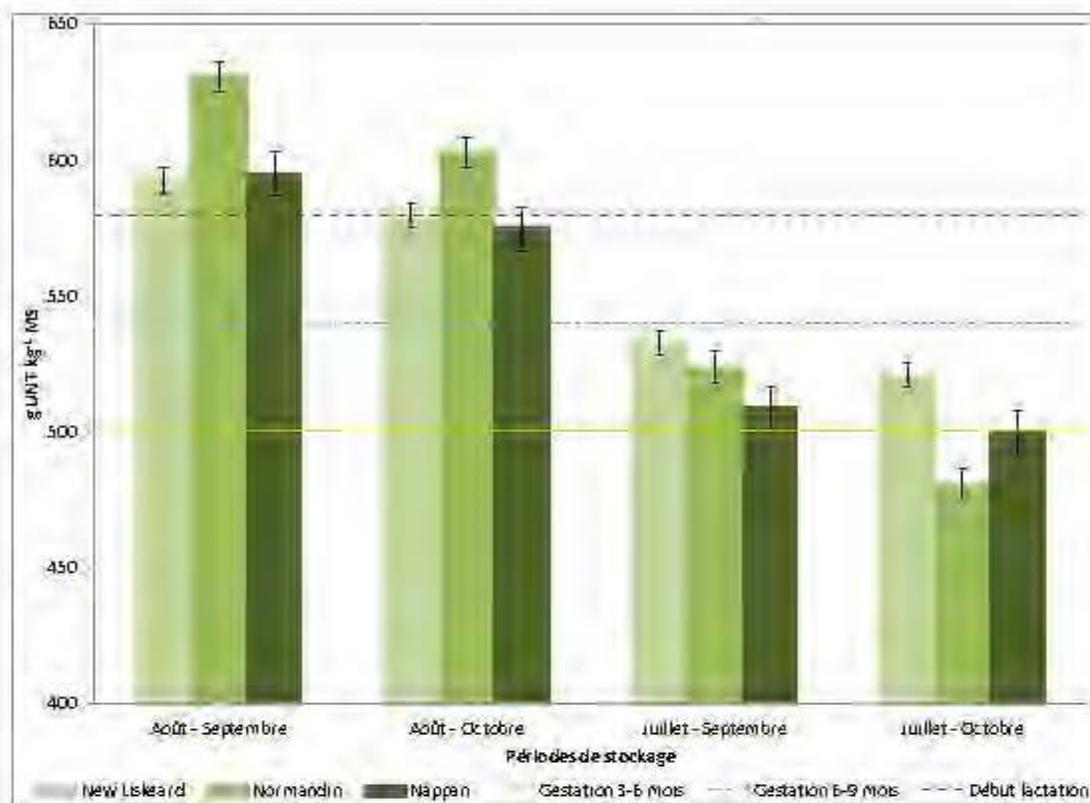


Figure 4.3 Capacité des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées stockés sur pied selon quatre périodes d'accumulation en 2015 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

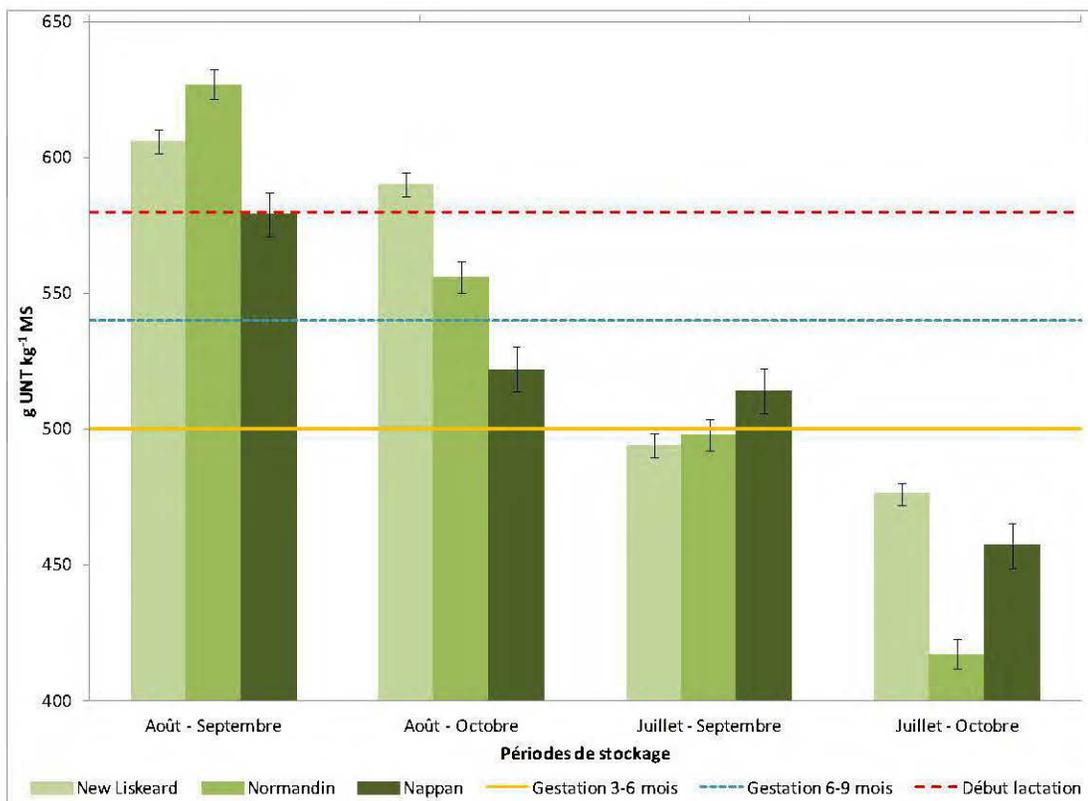


Figure 4.4 Capacité des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées stockés sur pied selon quatre périodes d'accumulation en 2016 de subvenir aux besoins de trois différentes classes de vaches de boucherie matures de 545 kg aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

APPENDICE A

Équilibre des apports protéiques et énergétiques du fourrage des systèmes de stockage sur pied

Le ratio protéines brutes: sucres solubles (PB:SS) peut être utilisé pour évaluer le potentiel du gain moyen quotidien (GMQ) des bouvillons en croissance (Scott, 2010). Dans cette étude, les valeurs nutritives obtenues, exprimées par les UNT, ne permettraient pas de soutenir les exigences élevées de cette classe de bovin. Ainsi, le calcul de ce ratio a été d'un intérêt moindre étant donné les objectifs fixés. Cependant, l'information recueillie peut être importante d'un point de vue agronomique, puisqu'un déséquilibre entre les apports protéiques et énergétiques entraîne une perte azotée dans l'environnement (Kleen *et al.* 2010). C'est pourquoi ces données sont consignées dans cet appendice.

La concentration en azote a été déterminée par combustion sèche avec un appareil TruMac CNS (Leco Corporation, St. Joseph, MI) à partir d'un échantillon sec de 0,25 g. La combustion a été réalisée à une température de 1350 °C, soit la température recommandée par le fabricant. La concentration en protéines brutes a été calculée en multipliant la teneur en azote par le facteur 6,25. La concentration en sucres solubles des fourrages a été déterminée par colorimétrie en utilisant la méthode au phénol-sulfurique (Dubois *et al.*, 1956) avec le glucose comme courbe d'étalonnage. Au préalable, la solubilisation des sucres a été réalisée par agitation (200 rotations par minute) de 0,1 g d'échantillon séché dans 50 ml d'eau distillée à la température de la pièce (21 °C) pendant une heure. La solution a ensuite été filtrée par gravité en utilisant un papier Whatman 541. Les extractions ont été congelées et ont été analysées dans un délai maximal de deux mois suivant la congélation. Ces deux paramètres ont ensuite été prédits par spectroscopie de réflectance dans le visible et le proche infrarouge (Near Infrared Reflectance 6500, Foss) selon la

procédure décrite dans la section Matériel et Méthodes du mémoire. Le ratio de déviation de la prédiction de la protéine brute a été de 3,64 alors que celui pour les sucres solubles a été de 4,51 (Tableau A1).

Aux trois sites, le ratio PB:SS a principalement été influencé par l'année d'exploitation ($P < 0,0001$), le moment de la paissance simulée en automne ($P < 0,0001$) et l'interaction de ces deux facteurs ($P < 0,0001$) (Tableau A2). En fait, ces trois éléments ont été responsables de 68 % de la variation observée à New Liskeard, de 90 % à Nappan et de 95 % à Normandin. Une variation de ce ratio est observée si le traitement influence la teneur en PB, en SS ou ces deux paramètres de manière non proportionnelle ou opposée. Les moyennes des teneurs en PB et en SS des systèmes estivaux et des systèmes de stockage sur pied sont présentées aux tableaux A3, A4 et A5. Globalement, pour la période de paissance en octobre, les ratios ont été significativement plus élevés que ceux observés en septembre (Tableau A6). Ce phénomène est probablement relié à l'augmentation des sucres solubles généralement observée lorsque des graminées de climat frais croissent à des températures de 5 à 10 °C (Berthiaume et Tremblay, 2011) et à l'endurcissement pour l'hiver. De plus, la maturité des plantes augmente durant cette même période, ce qui diminuerait les concentrations en protéines dans les feuilles.

De grandes différences ont été observées entre les ratios obtenus aux deux années d'exploitation. À New Liskeard et Normandin, les ratios PB:SS se sont rapprochés davantage du ratio cible de 1,4 (Edwards *et al.*, 2007) en 2015, alors que l'inverse a été observé à Nappan (Tableau A6). Néanmoins, les ratios obtenus sont plus élevés que souhaités, indiquant un asynchronisme entre les apports azotés et énergétiques. Ce déséquilibre mène à la perte de l'azote dans l'environnement (Kleen *et al.*, 2010) et à des gains moyens quotidiens plus faibles chez les bouvillons en croissance (Scott, 2010). Dans un essai réalisé sur les mélanges complexes, mais récoltés durant l'été, Simili da Silva (2014) avait obtenu des ratios se situant entre 0,96 et 1,56. Les ratios observés dans la présente étude sont de deux à trois fois supérieurs à ces valeurs.

L'initiation du stockage n'a eu un effet significatif qu'à New Liskeard ($P < 0,0001$) et cet effet a été différent selon les années ($P = 0,0019$), expliqué par un écart entre les ratios plus grand en 2016 qu'en 2015. Une interaction triple Année \times Initiation \times Paissance a aussi été observée ($P = 0,013$) (Tableau A2). Les données montrent que pour une même période d'initiation, les différences entre les ratios 2015 et 2016 étaient plus grandes lorsque la paissance simulée a été réalisée en octobre plutôt qu'en septembre.

Les mélanges complexes ont eu un effet sur le ratio PB:SS du fourrage qu'à Normandin ($P = 0,0022$) à la première année d'exploitation (Tableau A6). En 2015, les ratios PB:SS des mélanges 1 (luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés) et 2 (luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau) ont été les plus près du ratio cible de 1,4. En effet, ceux-ci ont respectivement été de 1,72 et de 1,75 (Tableau A6).

L'application de 50 kg N ha⁻¹ n'a eu aucun effet sur le ratio PB:SS du fourrage (Tableau A2). Ces résultats semblent indiquer que la quantité d'azote apportée par la luzerne dans le mélange était suffisante pour combler les besoins des graminées compagnes. Par ailleurs, plusieurs essais ont obtenu des résultats mitigés quant à l'effet de la fertilisation azotée des pâturages stockés sur pied, notamment sur la teneur en PB (Nave *et al.*, 2016 ; Cuomo *et al.*, 2005 ; Hedtcke *et al.*, 2002).

Tableau A1. Statistiques de la performance de la spectroscopie par réflectance dans le visible et le proche infrarouge pour prédire les concentrations (g kg^{-1} MS) en sucres solubles et en protéines brutes du groupe de validation des échantillons des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées récoltés en été et en automne.

Paramètres	n ^z	ET	Moyenne	Pente	ETP(C)	R ²	RDP
Sucres solubles	30	34,022	82,339	1,012	7,545	0,951	4,51
Protéines brutes	30	40,062	158,085	0,911	11,001	0,934	3,64

^z n: nombre d'échantillons pour le groupe de validation; ET: écart-type ; ETP(C): erreur type de prédiction corrigée pour le biais ; RDP: ratio de déviation de la prédiction [ET du groupe de validation / ETP(C)].

Tableau A2. Analyse de variance rapportant l'effet des doses d'azote, des périodes d'initiation du stockage sur pied, des périodes de paissance simulée à l'automne, des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées et des années d'exploitation sur le ratio protéines-énergie (PB:SS) des fourrage aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Source de variation	Degrés de liberté	New Liskeard		Normandin		Nappan	
		F	Pr F	F	Pr F	F	Pr F
Dose d'azote (D)	1	0,44	NS *	3,02	NS	0,8	NS
Initiation du stockage (I)	1	497,13	< 0,0001	0,39	NS	4,13	NS
D × I	1	0,91	NS	0,98	NS	0,02	NS
Paissance (P)	1	289,39	< 0,0001	472,55	< 0,0001	228,77	< 0,0001
D × P	1	2,46	NS	0,03	NS	0,01	NS
I × P	1	20,65	0,0018	1,24	NS	8,24	0,0209
D × I × P	1	1,44	NS	0,04	NS	0,37	NS
Mélange (M)	4	1,67	NS	4,7	0,0022	2,1	NS
D × M	4	0,44	NS	3,15	0,02	0,65	NS
I × M	4	1,85	NS	2,13	NS	6,24	0,0003
D × I × M	4	2,51	NS	0,93	NS	1,36	NS
P × M	4	1,83	NS	0,92	NS	4,29	0,0039
D × P × M	4	0,47	NS	1,2	NS	1,47	NS
I × P × M	4	1,5	NS	1,12	NS	3,19	0,0187
D × I × P × M	4	1,55	NS	0,32	NS	0,9	NS
Année (A)	1	737,17	< 0,0001	233,89	< 0,0001	301,85	< 0,0001
A × D	1	1,96	NS	0,33	NS	0,66	NS
A × I	1	10,29	0,0019	3,07	NS	38,05	< 0,0001
A × D × I	1	0,07	NS	0,88	NS	0,97	NS
A × P	1	139,93	< 0,0001	2,14	NS	301,98	< 0,0001
A × D × P	1	1,51	NS	0,3	NS	0,32	NS
A × I × P	1	6,45	0,013	0,37	NS	2,07	NS
A × D × I × P	1	1,13	NS	1,24	NS	0,15	NS
A × M	4	2,88	0,0276	1,75	NS	9,43	< 0,0001
A × D × M	4	0,35	NS	0,42	NS	0,55	NS
A × I × M	4	0,22	NS	1,35	NS	3,44	0,012
A × D × I × M	4	0,36	NS	0,38	NS	0,49	NS
A × P × M	4	0,09	NS	1,16	NS	3,08	0,0205
A × D × P × M	4	0,35	NS	0,54	NS	0,82	NS
A × I × P × M	4	0,32	NS	1,16	NS	0,67	NS
A × D × I × P × M	4	0,92	NS	0,57	NS	0,64	NS

* NS: Non significatif lorsque $P > 0,05$

Tableau A3. Teneurs moyennes en sucres solubles (SS) et en protéines brutes (PB) et ratio PB:SS moyens dans les mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées exploités sous deux modes de gestion des coupes estivales pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Site	Système	Coupe	Mélange ^z	g kg MS ¹		PB:SS
				SS	PB	
New Liskeard	Ensilage	1	1	71	194	2,8
			2	73	193	2,7
			3	68	195	2,9
			4	66	192	2,9
			5	69	197	2,9
		2	1	65	211	3,3
			2	65	215	3,3
			3	58	208	3,7
			4	58	205	3,6
			5	60	210	3,6
	Foin	1	1	73	159	2,2
			2	73	158	2,2
			3	65	162	2,5
			4	68	160	2,4
			5	66	163	2,5
Normandin	Ensilage	1	1	83	171	2,2
			2	82	173	2,2
			3	71	173	2,5
			4	72	169	2,4
			5	71	173	2,5
		2	1	44	200	4,8
			2	45	198	4,7
			3	43	195	4,7
			4	42	186	4,6
			5	41	188	4,9
	Foin	1	1	74	151	2,5
			2	73	155	2,5
			3	65	161	2,9
			4	65	157	2,8
			5	69	156	2,7
Nappan	Ensilage	1	1	74	142	2,2
			2	72	142	2,2
			3	67	158	2,7
			4	73	147	2,4
			5	74	150	2,4
		2	1	50	194	4,0
			2	52	189	3,7
			3	47	201	4,6
			4	48	177	4,0
			5	48	197	4,4
	Foin	1	1	82	118	1,5
			2	80	118	1,5
			3	75	129	1,9
			4	71	139	2,1
			5	73	137	2,1

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau A4. Teneurs moyennes en sucres solubles (SS) et en protéines brutes (PB) et ratio PB:SS moyens dans les mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées exploités selon deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Initiation stockage	Paissance	Mélange ^z	SS	PB	PB:SS
				g kg ⁻¹ MS		
New Liskeard	Juillet	Septembre	1	75	173	2,4
			2	75	174	2,4
			3	70	175	2,5
			4	65	169	2,6
			5	69	178	2,6
		Octobre	1	88	160	2,0
			2	87	162	2,1
			3	80	161	2,2
			4	84	158	2,0
			5	82	159	2,1
	Août	Septembre	1	68	230	3,4
			2	66	229	3,5
			3	66	223	3,4
			4	65	219	3,4
			5	66	227	3,5
		Octobre	1	84	212	2,7
			2	87	211	2,7
			3	83	210	2,7
			4	84	209	2,6
			5	84	209	2,7
Normandin	Juillet	Septembre	1	57	163	3,0
			2	57	161	3,1
			3	49	161	3,4
			4	44	161	3,7
			5	50	163	3,4
		Octobre	1	101	101	1,3
			2	96	104	1,2
			3	75	103	1,5
			4	78	103	1,5
			5	92	110	1,4
	Août	Septembre	1	67	214	3,3
			2	66	216	3,4
			3	62	213	3,5
			4	61	207	3,4
			5	64	208	3,3
		Octobre	1	131	138	1,2
			2	128	138	1,2
			3	119	142	1,3
			4	121	139	1,2
			5	121	143	1,3
Nappan	Juillet	Septembre	1	75	204	2,9
			2	72	199	2,8
			3	61	212	3,7
			4	59	196	3,7
			5	62	216	3,7
		Octobre	1	86	169	2,0
			2	98	166	1,8
			3	90	175	2,0
			4	101	168	1,7
			5	91	180	2,0
	Août	Septembre	1	66	240	4,1
			2	67	241	4,0
			3	62	225	4,1
			4	63	207	3,8
			5	64	223	3,9
		Octobre	1	97	183	1,9
			2	96	188	2,0
			3	111	188	1,7
			4	110	177	1,7
			5	109	192	1,8

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau A5. Teneurs moyennes en sucres solubles (SS) et en protéines brutes (PB) et ratio PB:SS moyens dans les mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées exploités selon deux doses d'azote, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Initiation stockage	Paissance	Dose	SS	PB	PB:SS
			kg N ha ⁻¹	g kg ⁻¹ MS		
New Liskeard	Juillet	Septembre	0	70	175	2,5
			50	72	173	2,5
		Octobre	0	83	160	2,1
			50	86	160	2,0
	Août	Septembre	0	67	226	3,4
			50	65	225	3,5
		Octobre	0	83	211	2,7
			50	85	210	2,6
Normandin	Juillet	Septembre	0	49	166	3,5
			50	54	158	3,2
		Octobre	0	75	105	1,6
			50	101	103	1,2
	Août	Septembre	0	63	217	3,5
			50	65	206	3,3
		Octobre	0	115	143	1,3
			50	133	137	1,1
Nappan	Juillet	Septembre	0	67	202	3,3
			50	65	208	3,5
		Octobre	0	93	170	1,9
			50	94	174	1,9
	Août	Septembre	0	63	226	3,9
			50	65	228	4,0
		Octobre	0	107	183	1,7
			50	102	188	1,9

Tableau A6. Ratios moyens entre les teneurs en protéines brutes et en sucres solubles à l'eau (PB:SS) des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées en fonction des deux doses d'azote appliquées en début de la période de stockage, des deux périodes d'initiation du stockage sur pied et des deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Effets principaux des facteurs fixes		New Liskeard		Normandin		Nappan	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
Fertilisation azotée (kg N ha ⁻¹)	0	2,20	3,16	2,05	2,89	3,17	2,25
	50	2,12	3,19	1,78	2,57	3,33	2,32
	ETM ^Z	0,04	0,04	0,13	0,13	0,21	0,21
Initiation du stockage	Juillet	1,83 ^b	2,72 ^b	1,90	2,81	2,94	2,33
	Août	2,50 ^a	3,63 ^a	1,93	2,65	3,55	2,24
	ETM	0,04	0,04	0,10	0,10	0,21	0,21
Paissance	Septembre	2,68 ^a	3,25 ^a	2,91 ^a	3,80 ^a	4,63 ^a	2,70 ^a
	Octobre	1,64 ^b	3,10 ^b	0,92 ^b	1,65 ^b	1,87 ^b	1,87 ^b
	ETM	0,04	0,04	0,10	0,10	0,21	0,21
Mélanges ^Y	1	2,09	3,14	1,72 ^c	2,65	3,06	2,41
	2	2,05	3,25	1,75 ^{bc}	2,71	2,90	2,43
	3	2,20	3,21	2,08 ^a	2,75	3,41	2,31
	4	2,26	3,06	2,13 ^a	2,75	3,38	2,02
	5	2,21	3,20	1,89 ^{ab}	2,78	3,48	2,27
	ETM	0,06	0,06	0,12	0,11	0,22	0,21

Note: Les données d'une même colonne et d'un même facteur principal affichant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test de Student.

^Z ETM: Écart-type de la moyenne

^Y **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

APPENDICE B

Les teneurs en lignine dans les mélanges complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées

Les teneurs en lignine ont été mesurées, mais les données n'ont pas été utilisées puisqu'elles n'ont pas été nécessaires au calcul des Unités Nutritives Totales (UNT). Toutefois, elles pourraient être éventuellement utiles. De ce fait, les concentrations moyennes sont rapportées dans cet appendice. Elles ont été déterminées selon la procédure de Van Soest *et al.* (1991). La fibre ADF a été déterminée avec un appareil ANKOM 200/220 Fiber Analyzer (ANKOM Technology Corp., Macedon, NY) suivi d'un trempage dans l'acide sulfurique 72 % des sachets qui ont servi à déterminer la fibre ADF. Le paramètre de la lignine a été prédit par spectroscopie de réflectance dans le visible et le proche infrarouge (Near Infrared Reflectance 6500, Foss) selon la procédure décrite dans la section Matériel et Méthodes du mémoire. Le ratio de déviation de la prédiction pour la lignine a été de 3,45 (Tableau B1).

Les données moyennes ont été colligées et peuvent être consultées aux Tableaux B2, B3 et B4.

Tableau B1. Statistiques de la performance de la spectroscopie par réflectance dans le visible et le proche infrarouge pour prédire les concentrations (g kg^{-1} MS) en lignine du groupe de validation des échantillons des mélanges fourragers complexes à base de luzerne et de 3 à 4 graminées récoltés en été et en automne.

Paramètres	n^z	ET	Moyenne	Pente	ETP(C)	R²	RDP
Lignine	30	22,406	74,404	1,036	6,490	0,917	3,45

^z **n**: nombre d'échantillons pour le groupe de validation; **ET**: écart-type ; **ETP(C)**: erreur type de prédiction corrigée pour le biais ; **RDP**: ratio de déviation de la prédiction. [ET du groupe de validation / ETP(C)].

Tableau B2. Teneurs en lignine moyennes (g lignine kg⁻¹ MS) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées exploités selon deux modes de gestion des coupes estivales pour les années 2015 et 2016 aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan.

Site	Système	Coupe	Mélange ^z	Lignine
New Liskeard	Ensilage	1	1	67
			2	67
			3	68
			4	68
			5	68
		2	1	70
			2	69
			3	71
			4	68
			5	69
	Foin	1	1	76
			2	75
			3	77
			4	76
			5	78
Normandin	Ensilage	1	1	55
			2	55
			3	58
			4	57
			5	57
		2	1	75
			2	75
			3	75
			4	76
			5	76
	Foin	1	1	63
			2	65
			3	67
			4	65
			5	64
Nappan	Ensilage	1	1	56
			2	55
			3	57
			4	57
			5	58
		2	1	71
			2	70
			3	68
			4	65
			5	68
	Foin	1	1	68
			2	69
			3	65
			4	67
			5	68

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau B3. Teneurs en lignine moyennes (g lignine kg⁻¹ MS) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées exploités selon deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Initiation stockage	Paissance	Mélange ^z	Lignine
New Liskeard	Juillet	Septembre	1	82
			2	83
			3	81
			4	81
			5	81
		Octobre	1	88
			2	88
			3	87
			4	84
			5	85
	Août	Septembre	1	69
			2	71
			3	69
			4	69
			5	69
		Octobre	1	75
			2	76
			3	72
			4	71
			5	72
Normandin	Juillet	Septembre	1	93
			2	95
			3	94
			4	97
			5	93
		Octobre	1	105
			2	107
			3	111
			4	105
			5	104
	Août	Septembre	1	64
			2	64
			3	64
			4	63
			5	62
		Octobre	1	72
			2	74
			3	73
			4	73
			5	73
Nappan	Juillet	Septembre	1	73
			2	73
			3	73
			4	69
			5	69
		Octobre	1	90
			2	83
			3	82
			4	70
			5	82
	Août	Septembre	1	62
			2	62
			3	60
			4	57
			5	55
		Octobre	1	75
			2	77
			3	63
			4	60
			5	64

^z **Mélange 1:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés et fléole des prés; **Mélange 2:** luzerne, pâturin des prés, fétuque des prés, fléole des prés et alpiste roseau; **Mélange 3:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau; **Mélange 4:** luzerne, pâturin des prés, fétuque élevée, dactyle aggloméré et brome des prés; **Mélange 5:** luzerne, fétuque rouge traçante, fétuque élevée, brome des prés et alpiste roseau.

Tableau B4. Teneurs en lignine moyennes (g lignine kg⁻¹ MS) des mélanges complexes à base de luzerne et de 3 ou 4 graminées exploités selon deux doses d'azote, deux périodes d'initiation du stockage sur pied et deux périodes de paissance simulée à l'automne aux sites de New Liskeard, Normandin et Nappan pour les années 2015 et 2016.

Site	Initiation stockage	Paissance	Dose	Lignine		
			kg N ha ⁻¹	g kg ⁻¹ MS		
New Liskeard	Juillet	Septembre	0	85		
			50	78		
		Août	Octobre	0	89	
				50	84	
			Septembre	0	69	
				50	70	
	Normandin	Juillet	Septembre	0	96	
				50	93	
			Août	Octobre	0	113
					50	99
				Septembre	0	65
					50	62
Nappan	Juillet	Septembre	0	71		
			50	72		
		Août	Octobre	0	80	
				50	83	
			Septembre	0	58	
				50	60	
	Nappan	Août	Octobre	0	64	
				50	72	

RÉFÉRENCES

- AAC. (2011). *Gestion durable des nutriments sur le terrain quant aux systèmes d'alimentation hivernaux pour le bétail au champ*. Consulté le 12 mars 2015 sur <http://publications.gc.ca/pub?id=402748&sl=0>
- AAC. (2017). *Avis de demande de propositions 2017 - Nouvelles variétés en 2017*. Consulté le 26 août 2017 sur <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/transfert-et-licences-de-technologie/occasion-de-concession-de-licence/demandes-de-propositions-relatives-aux-varietes/2017-varietes/nouvelles-varietes-en-2017/?id=1298907155271>
- Allen, V.G., C. Batello, E.J. Berretta, J. Hodgson, M. Kothmann, X. Li, J. McIvor, J. Milne, C. Morris, A. Peeters et Sanderson M. (2001). Une Terminologie Internationale pour les Terres pâturées et les Animaux au Pâturage [An international terminology for grazing lands and grazing animals]. *Grass and Forage Science*, 66, 2-28
- Allen, V., Fontenot, J., et Notter, D. (1992). Forage systems for beef production from conception to slaughter: II. Stocker systems. *Journal of Animal Science*, 70, 588-596
- Añez-Osuna, F., Penner, G.B., Larson, K., Jefferson, P. G., Lardner, H. A., et McKinnon, J. J. (2015). Effect of rumen degradable energy supplementation on forage utilization and performance of steers grazing stockpiled cool season perennial grass pastures. *Canadian Journal of Animal Science*, 95, 255-265
- ANKOM Technology. *Procedures*. Consulté le 19 avril 2015 sur <https://ankom.com/procedures.aspx>
- AOAC. (2005). 4.1.10. AOAC Official method of analysis. 942.05. Ash of Animal Feed.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 15^{ième} édition. 967.05. Moisture in peat.

- Bagg, J. (2003). *L'alpiste roseau*. Consulté le 13 mars 2015 sur http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/info_reed_canarygrass.htm
- Baron, V., Dick, A., Bjorge, M., et Lastiwka, G. (2004). Stockpiling potential of perennial forage species adapted to the Canadian western prairie parkland. *Agronomy Journal*, 96, 1545-1552
- Baron, V., Dick, A., Bjorge, M., et Lastiwka, G. (2005). Accumulation period for stockpiling perennial forages in the western Canadian prairie parkland. *Agronomy Journal*, 97, 1508-1514
- Baron, V., Doce, R., Basarab, J., et Dick, C. (2014). Swath-Grazing Triticale and Corn Compared to Barley and a Traditional Winter Feeding Method in Central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 94, 1125-1137
- Baron, V. S., McCartney, D., Dick, A.C., Ohama, A.J., Basarab, J.A., et Doce, R.R. (2016). Swath-grazing oat or grazing stockpiled perennial grass compared with a traditional winter feeding method for beef cows in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 96, 689-700
- Bélanger, G. (2013). La gestion des coupes. Dans Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, *Colloque sur les plantes fourragères – Une alliée indispensable*.
- Berthiaume, R. et Tremblay, G. F. (2011). Du fourrage sucré pour mieux performer. Dans Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, *Colloque sur les plantes fourragères – Maximiser nos plantes fourragères*.
- Berthiaume, R., Lafrenière, C., Petit, H., Lapierre, H. et Robitaille, L. (1998). *Symposium sur les bovins laitiers - Stratégies permettant de maximiser la valeur alimentaire des fourrages*. Consulté le 2 septembre 2017 sur <https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/documents/64694/strategies-permettant-de-maximiser-la-valeur-alimentaire-des-fourrages>
- Calder, F., Nicholson, J., et Carson, R. (1970). Effect of actual versus simulated grazing on pasture productivity and chemical composition of forage. *Canadian Journal of Animal Science*, 50, 475-482

- Cashman, P., McEvoy, M., Gilliland, T., et O'Donovan, M. (2015). A comparison between cutting and animal grazing for dry-matter yield, quality and tiller density of perennial ryegrass cultivars. *Grass and Forage Science*, 71, 112-122
- Centre d'études sur les coûts de production en agriculture. (2012). Analyse comparative – Veaux d'embouche 2010. Lévis, Québec, Canada.
- Charbonneau, P. (1997). *Démystifier les endophytes*. Consulté le 2 mars 2015 sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/endophyt.htm>
- Collins, M., et Balasko, J. (1981). Effects of N fertilization and cutting schedules on stockpiled tall fescue. I. Forage yield. *Agronomy Journal*, 73, 803-807
- Collins, M., et Taylor, T.H. (1980). Yield and Quality of Alfalfa Harvested During Autumn and Winter and Harvest Effects on the Spring Crop 1. *Agronomy Journal*, 72, 839-844
- Cook, C.W., et Harris, L.E. (1950). The nutritive value of range forage as affected by vegetation type, site and stage of maturity. *Tech. Bull. UTAH Agricultural Experiment Station*, 344
- Cuomo, G., Rudstrom, M., Peterson, P., Johnson, D.G., Singh, A., et Sheaffer, C. (2005). Initiation date and nitrogen rate for stockpiling smooth brome grass in the North-Central USA. *Agronomy Journal*, 97, 1194-1201
- Curtis, L. E. (2006). Impact of Grazing Stockpiled Tall Fescue on Lactating Beef Cows. Mémoire de maîtrise, University of Missouri-Columbia, Columbia.
- da Silva, M.S., Tremblay, G.F., Bélanger, G., Lajeunesse, J., Papadopoulos, Y.A., Fillmore, S.A., et Jobim, C.C. (2013). Energy to protein ratio of grass–legume binary mixtures under frequent clipping. *Agronomy Journal*, 105, 482-492
- da Silva, M.S., Tremblay, G.F., Bélanger, G., Lajeunesse, J., Papadopoulos, Y.A., Fillmore, S.A., et Jobim, C.C. (2014). Forage energy to protein ratio of several legume–grass complex mixtures. *Animal Feed Science and Technology*, 188, 17-27

- Deak, A., Hall, M., Sanderson, M., et Archibald, D. (2007). Production and nutritive value of grazed simple and complex forage mixtures. *Agronomy Journal*, 99, 814-821
- Dierking, R.M., Kallenbach, R.L., Kerley, M.S., Roberts, C.A., et Lock, T.R. (2008). Yield and Nutritive Value of 'Spring Green' Festulolium and 'Jesup' Endophyte-Free Tall Fescue Stockpiled for Winter Pasture. *Crop Science*, 48, 2463-2469
- Drewnoski, M.E., Poore, M.H., Oliphant, E.J., Marshall, B., et Green, J. T. (2007). Agronomic performance of stockpiled tall fescue varies with endophyte infection status. *Forage and Grazinglands*, 5, 1-13
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P., et Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28, 350-356
- Edwards, G.R., Parsons, A., Rasmussen, S., et Bryant, R.H. (2007). High sugar ryegrasses for livestock systems in New Zealand. Dans *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 69, 161-171
- Foster, A., Vera, C.L., Malhi, S.S., et Clarke, F.R. (2013). Forage yield of simple and complex grass–legume mixtures under two management strategies. *Canadian Journal of Plant Science*, 94, 41-50
- Fransen, S., et Griggs, T. (2010). *Chapitre 5. Growth, Development, and Defoliation Responses of Pasture Plants*. Consulté le 8 août 2017 sur <http://www.cals.uidaho.edu/edComm/pdf/PNW/PNW0614.pdf>
- Gresel, C. (2016). *Prévenir la météorisation chez le bovin dans les pâturages de luzerne*. Consulté le 1er septembre 2017 sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/beef/news/vbn0516a1.htm>
- Glasser, F., Doreau, M., Maxin, G., et Baumont, R. (2013). Fat and fatty acid content and composition of forages: A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 185, 19-34
- Hall, M., Levan, P., Cash, E., Harpster, H., et Fales, S. (1998). Fall-grazing management effects on production and persistence of tall fescue, perennial ryegrass, and prairie grass. *Journal of Production Agriculture*, 11, 487-491

- Hedtcke, J.L.U., D.J., Casler, M.D., et Combs, D.K. (2002). Quality of Forage Stockpiled in Wisconsin. *Journal of Range Management*, 55, 33-42
- Howarth, R.E., Chaplin, R.K., Cheng, K.-J., Goplen, B.P., Hall, J.W., Hironaka, R., Majak, W. et Radostits, O. (1991). Bloat in cattle. Agriculture Canada Publication 1858/E. Ottawa, ON. 1–34
- Johnston, J. et M. Bowman. (1998). *Performance of four grass species in stockpiling systems*. Consulté le 13 mars 2015 sur http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/sheep/facts/pasture_4.htm
- Kallenbach, R., Bishop-Hurley, G., Massie, M., Kerley, M., et Roberts, C. (2003). Stockpiled annual ryegrass for winter forage in the lower Midwestern USA. *Crop Science*, 43, 1414-1419
- Kallenbach, R.L., Bishop-Hurley, G., Massie, M.D., Rottinghaus, G., et West, C.P. (2003). Herbage mass, nutritive value, and ergovaline concentration of stockpiled tall fescue. *Crop Science*, 43, 1001-1005
- Katepa-Mupondwa, F., Singh, A., Smith Jr, S.R., et McCaughey, W.P. (2002). Grazing tolerance of alfalfa (*Medicago spp.*) under continuous and rotational stocking systems in pure stands and in mixture with meadow bromegrass (*Bromus riparius* Rehm. syn. *B. biebersteinii* Roem et Schult). *Canadian Journal of Plant Science*, 82, 337-347
- Lafrenière, C. (2013). Pâturages: le casse-tête du choix des espèces. Dans Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, *Colloque sur les plantes fourragères – Une alliée indispensable*.
- Lalman, D. et C. Richards (2004). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Oklahoma Cooperative Extension Service. Stillwater, OK. Consulté le 15 septembre 2017 sur <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1921/E-974web.pdf>
- Li, E., Liu, J., Li, X., Xiang, H., Yu, J., et Wang, D. (2016). Animal saliva has stronger effects on plant growth than salivary components. *Grass and Forage Science*, 69, 153-159

- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D., et Schabenberger, O. (2006). SAS for mixed models. SAS Inst., Cary, NC. SAS for mixed models. 2ième édition. SAS Inst., Cary, NC.
- Liu, J., Wang, L., Wang, D., Bonser, S.P., Sun, F., Zhou, Y., Gao Y., et Teng, X. (2012). Plants can benefit from herbivory: stimulatory effects of sheep saliva on growth of *Leymus chinensis*. *PLoS one*, 7, e29259
- McCartney, D., Basarab, J., Okine, E., Baron, V., et Depalme, A. (2004). Alternative fall and winter feeding systems for spring calving beef cows. *Canadian Journal of Plant Science*, 84, 511-522
- Mertens, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 85, 1217-1240
- Michaud, R. et G. Allard. (2005). Les plantes fourragères pérennes. Dans G. Bélanger, L. Couture et G. Tremblay, *Les plantes fourragères* (p. 5-22). Sainte-Foy: Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.
- Michaud, R. (2013). *De la fétuque sans endophyte*. Consulté le 1^{er} mars 2015 sur <http://www.fourrages.ca/cultures/article/de-la-fetuque-sans-endophyte>
- MAAARO. (2006). *Problèmes de santé animale: Problèmes occasionnés par certains fourrages*. Consulté le 1^{er} mars 2015 sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub19/7probfor.htm>
- MDDELCC. (2017). *Guide de référence du Règlement sur les exploitations agricoles*. Consulté le 13 mai 2018 sur <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu-agricole/guide-reference-REA.pdf>
- Montana State University. (2010). *Watch For Bloat When Grazing Alfalfa This Fall*. Consulté le 1^{er} septembre 2017 sur <http://www.beefmagazine.com/cowcalfweekly/0917-watch-bloat-grazing-alfalfa>
- Nave, R.L., Barbero, R.P., Boyer, C.N., Corbin, M.D., et Bates, G.E. (2016). Nitrogen rate and initiation date effects on stockpiled tall fescue during fall grazing in Tennessee. *Crop, Forage et Turfgrass Management*, 2, 1-8

- Nayigihugu, V., Schleicher, A.D., Koch, D., Held, L., Flake, J.W., et Hess, B. (2007). Beef cattle production, nutritional quality, and economics of windrowed forage vs. baled hay during winter. *Agronomy Journal*, 99, 944-951
- Opitz V. Boberfeld, W., et Banzhaf, K. (2006). Yield and Forage Quality of Different \times Festulolium Cultivars in Winter. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192, 239-247
- Østrem, L., Volden, B., Steinshamn, H., et Volden, H. (2015). Festulolium fibre characteristics and digestibility as affected by maturity. *Grass and Forage Science*. 70, 341-352
- Osweiler, G. D. (2014). *Fescue Poisoning*. Consulté le 1^{er} mars 2015 sur http://www.merckmanuals.com/vet/toxicology/mycotoxicoses/fescue_poisoning.html
- Papadopoulos, Y., McElroy, M.S., Fillmore, S., McRae, K., Duyinsveld, J., et Fredeen, A. (2012). Sward complexity and grass species composition affect the performance of grass-white clover pasture mixtures. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 1199-1205
- Parent, M.-J. (2011). *Pâturage de balles rondes en hiver*. Consulté le 12 mars 2015 sur <http://www.lebulletin.com/autres/paturage-de-balles-rondes-en-hiver-30900>
- Parent, M.-J. (2015). *Un prix pour la ferme Lafontaine-Noël*. Consulté le 12 mars 2015 sur <http://www.lebulletin.com/elevage/un-prix-pour-la-ferme-lafontaine-noel-70769>
- Poore, M., Benson, G., Scott, M., et Green, J. (2000). Production and use of stockpiled fescue to reduce beef cattle production costs. *Journal of Animal Science*, 79, 1-11
- Poore, M., et Drewnoski, M. (2010). Review: Utilization of stockpiled tall fescue in winter grazing systems for beef cattle. *The Professional Animal Scientist*, 26, 142-149
- Potter, B. (2017). *Pâturage de balles rondes pour les vaches de boucherie*. Consulté le 21 août 2017 sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/beef/news/vbn0517a1.htm>

- Rayburn, E., Blaser, R., et Wolf, D. (1979). Winter tall fescue yield and quality with different accumulation periods and N rates. *Agronomy Journal*, 71, 959-963
- Riesterer, J.L., Undersander, D., Casler, M.D., et Combs, D. (2000). Forage yield of stockpiled perennial grasses in the upper midwest USA. *Agronomy Journal*, 92, 740-747
- Riesterer, J.L., Casler, M.D., Undersander, D.J., et Combs, D.K. (2000). Seasonal Yield Distribution of Cool-Season Grasses following Winter Defoliation. *Agronomy Journal*, 92, 974
- Sanderson, M.A. (2010). Stability of production and plant species diversity in managed grasslands: A retrospective study. *Basic and Applied Ecology*, 11, 216-224
- SAS Institute Inc. SAS/STAT® 2012. 9.4 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scott, S. (2010). Maximizing forage utilization in beef production systems. Agriculture and Agri-Food Canada, Brandon, MB.
- Service météorologique du Canada. (2015). *Snow accumulation*. Consulté le 1er mars 2015 sur http://www.climat-quebec.qc.ca/htdocs/data_dyns/page/en/Tableau_Precip_Saison/Tableau_Precip_Saison.html
- Statistique Canada. (2012). Statistiques de bovins. Produit no 23-012-X au catalogue vol. 11, no 1. Ottawa, Ontario, Canada.
- Statistique Canada. (2013). Recettes monétaires agricoles. CANSIM tableau 002-0001. Ottawa, Ontario, Canada.
- Surault, F., Hazard, L., et Emile, J. (2001). Une approche qualitative des ray-grass anglais en stock sur pied au pâturage. *Fourrages*, 168, 499-508
- Surber, G., Fisher, T., Cash, D., Dixon, P., et Moore, J. (2001). Swath/windrow grazing: an alternative livestock feeding technique. *Montana State University Extension Service, MONTGUIDE, MT200106*

- Teutsch, C.D., Fike, J.H., Groover, G.E., et Aref, S. (2005). Nitrogen Rate and Source Effects on the Yield and Nutritive Value of Tall Fescue Stockpiled for Winter Grazing. *Forage and Grazinglands*, 3. Récupéré de DOI: 10.1094/FG-2005-1220-01-RS
- Upfold, R.A. et Wright, H.C. (1994). La production fourragère. Dans Publication 30F. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, Guelph, Ontario.
- Undersander, D., Combs, D., Shaver, R. et Hoffman, P. (2013). *Milk2013 for alfalfa-grass*. Disponible en ligne sur <http://www.uwex.edu/ces/forage/articles.htm#milk2000>
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., et Lewis, B.A. (1991). Methods for Dietary fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal Dairy Science*. 74, 3583-3597
- Volesky, J.D., Adams, D.C., et Clark, R.T. (2002). Windrow grazing and baled-hay feeding strategies for wintering calves. *Journal of Range Management*, 23-32
- Volesky, J.D., Anderson, B., et Stockton, M.C. (2008). Species and stockpile initiation date effects on yield and nutritive value of irrigated cool-season grasses. *Agronomy Journal*, 100, 931-937
- Wand, C. et J. Johnston. (1999). *Mise en réserve des fourrages vivaces en vue du pâturage d'automne et d'hiver*. Consulté le 1^{er} mars 2015 sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/beef/facts/99-010.htm>