
Amélioration des performances technico-économiques de troupeaux laitiers à haut niveau de production dans le Hainaut

Auteur : Denolf, Edouard

Promoteur(s) : Beckers, Yves; 8319

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/7549>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



AMÉLIORATION DES PERFORMANCES TECHNICO-ÉCONOMIQUES DE TROUPEAUX LAITIERS A HAUT NIVEAU DE PRODUCTION DANS LE HAINAUT

EDOUARD DENOLF

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES, À FINALITÉ**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

(CO)-PROMOTEUR(S): BECKERS YVES, BOULET LISE

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**AMÉLIORATION DES PERFORMANCES
TECHNICO-ÉCONOMIQUES DE TROUPEAUX
LAITIERS A HAUT NIVEAU DE PRODUCTION
DANS LE HAINAUT**

EDOUARD DENOLF

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES, À FINALITÉ**

ANNÉE ACADEMIQUE 2018-2019

(CO)-PROMOTEUR(S): BECKERS YVES, BOULET LISE

Organismes ayant contribué à ce travail

- Centre wallon de Recherches Agronomiques



- Avenir-Conseil-Elevage



- ILVO



Instituut voor Landbouw-,
Visserij- en Voedingsonderzoek

- INAGRO



- 3 exploitations agricoles de la province du Hainaut

Remerciements

Après mes six ans passés dans ces vieux murs de Gembloux, ce travail de fin d'étude représente un aboutissement des nombreuses choses qui se sont passées ici. Ces années ont été très riches en enseignements, apprentissages divers et rencontres.

La réalisation de ce travail de fin d'études n'aurait pas été possible sans les remarques et le soutien de nombreuses personnes que je tiens à remercier :

Monsieur Yves Beckers, mon promoteur et président de jury, pour son suivi et ses remarques nécessaires à l'amélioration et à la bonne conduite de ce travail mais aussi pour toutes les connaissances que j'ai apprises durant ces années grâce à lui ;

Melle Anne-Catherine Dalcq et Madame Hélène Soyeurt pour leurs participations au jury mais aussi pour leurs conseils avisés sur les démarches à suivre afin de mener à bien la rédaction de ce travail ;

Monsieur Thomas Dogot pour sa participation à ce jury ;

Madame Leen Vandaele pour sa participation à ce jury et son expertise durant ce travail ;

Madame Florence Vanstappen pour sa participation au jury mais aussi pour mon initiation au diagnostic environnemental via DECIIDE ;

Et je remercie tout particulièrement Melle Lise Boulet pour son suivi et ses très nombreuses remarques tout au long de ce travail ainsi que les nombreuses visites enrichissantes dans le cadre du projet PROTECOW. Les nombreuses discussions et débats lors des innombrables kilomètres réalisés ont certainement apporté un plus à ce travail.

Je tiens également à remercier :

Messieurs Eddy Decaesteker et Benoît Verriele pour l'expertise qu'ils ont apportés lors de la réalisation de ce travail et leurs conseils avisés sur les changements à prévoir dans les fermes ;

Monsieur Eric Froidmont qui a toujours été disponible pour une remarque ou un avis ainsi que pour ses relectures ;

Madame Virginie Decruyenaere pour son expertise sur les productions fourragères et les résultats d'analyses d'échantillons ;

Madame Astrid Loriers pour sa disponibilité et tout son temps accordé pour me guider dans l'étude de l'impact environnemental, sans qui cette partie du travail n'aurait pas été réalisable ;

Tout le personnel du CRA-W et particulièrement Monsieur Maxence Didelez et Madame Sophie Mathieux pour le temps que j'ai pu gagner grâce à leurs services ;

Bruno, Gauthier, Aurore et Etienne pour leurs disponibilités, les discussions sur l'agriculture et l'élevage ainsi que leurs serviabilités tout au long des périodes de prises de données ;

L'ensemble des professeurs et assistants qui ont fait partie de mon apprentissage durant ces cinq années ;

Maxime Druez, avec qui j'ai partagé la même galère dans le même bureau depuis le mois de février.

Je tiens également à remercier toute ma famille pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon cursus. Ces remerciements vont tout particulièrement à mes parents, sans qui je ne serais certainement pas occupé d'écrire ces quelques lignes, ainsi que Clément et Marie, qui ont été mes compagnons d'études depuis maintenant de très nombreuses années.

Enfin, je remercie également tous mes amis de notre grande famille gembloutoise pour les très nombreuses discussions parfois très intéressantes, parfois moins, mais toujours avec la bonne humeur que l'on a pu avoir. Je les remercie aussi pour les échanges d'informations, cours et autres bons plans durant toutes ces années. Je pense notamment à Guillaume, Mathieu, Maxime, François, Virginie, Nicolas, Fanny, Maud, Camille et j'en oublie encore. Mais plus particulièrement Martin et Pierre pour nos trois légendaires années au kot mazout, non sans développer une certaine addiction à ce breuvage.

Enfin, je remercie également Laura qui m'a toujours été d'un soutien précieux et d'une aide non-négligeable ces trois dernières années.

Résumé

Les enjeux actuels en production animale ont de multiples aspects, économiques, sociaux ou environnementaux. En effet, face à la faible valorisation économique du lait, l'heure est aux économies dans les exploitations. Pour ce faire, de nombreuses pistes sont de plus en plus privilégiées par les agriculteurs comme l'autonomie alimentaire pour contrer le coût élevé des aliments sur le marché, et une augmentation de l'efficience d'utilisation des aliments pour éviter le gaspillage des ressources. A travers ces enjeux, l'objectif du travail est le suivant : améliorer les performances technico-économiques des exploitations à travers une augmentation de l'autonomie de la ration et de l'efficience azotée des vaches laitières. Ce travail s'intéresse dès lors à trois exploitations laitières familiales dans la région sablo-limoneuse du Hainaut.

Dans la première exploitation, on a pu constater que le pâturage des vaches présente de nombreux avantages. En effet, l'herbe pâturee est le fourrage le moins cher à produire, ce qui influence directement le coût alimentaire lié à la production laitière. De plus, l'herbe est un fourrage riche par nature avec plus de 1000VEM/kgMS et près de 100gDVE/kgMS, ce qui permet de diminuer les correcteurs à fournir aux vaches à haute production pour produire du lait. L'utilisation du pâturage a par ailleurs permis une autonomie de la ration de 88% et une efficience azotée de 36%.

L'analyse de la deuxième exploitation est plus complexe. En effet, de nombreuses observations des animaux comme les boîteries, le manque de rumination ou encore le faible TB traduisent une l'acidose mais les caractéristiques nutritives de la ration comme le contenu en amidon ou encore la fibrosité peuvent en prouver le contraire. Au final les changements mis en place n'ont pas eu les effets attendus, que sont une augmentation du TB et une augmentation de la rumination des vaches. De plus, cela n'a pas permis ni d'améliorer l'autonomie de la ration, ni l'efficience azotée.

L'environnement est un autre enjeu actuel majeur en agriculture. A travers les changements alimentaires mis en place dans les exploitations, l'impact environnemental de ces décisions a aussi été étudié. Cela a permis de mettre en évidence que le pâturage peut diminuer de 6% les émissions de GES d'une exploitation alors que le type de concentrés utilisés joue aussi un rôle important sur l'empreinte environnementale d'une exploitation.

Mots clés

Vaches laitières – efficience azotée – autonomie alimentaire – coût alimentaire – pâturage – environnement

Abstract

Current issues in animal production take in many forms. In fact, due to the low economic value of milk, farmers need to make savings. To this end, they increasingly explore many potential solutions, such as the feed self-sufficiency to deal with the high value of feed on the world market, and an increase of feed efficiency to avoid wasting. Through these issues, the objective of this work is the following: The improvement of the technical and economic performance of farms thanks to an increase in the feed autonomy and nitrogen efficiency. This thesis is concerned with three familial dairy farms in the loamy sand soils of Hainaut.

In the first farm, it has been found that grazing offers many advantages. Indeed, pasture grass is the cheapest forage to produce, which directly influences the food cost linked with dairy production. Moreover, grass is a fodder with naturally high nutritional content with more than 1000 VEM/kgMS and near 100 gDVE/kgMS, which allows to decrease the amount of concentrates to feed high producing cows for dairy production. Furthermore, grazing has permitted the ration autonomy level to 88% and the nitrogen efficiency to 36%.

The analysis of the second farm is more complex. As a matter of facts, many observations on animals like lameness, low chewing rate or low-fat milk content revealed symptoms of acidosis but the ration characteristics such as the starch content or the fibrousness can show the opposite. After setting of the changeset, the expected effects did not occur, with no improvement of the TB and the rumination of the cows activity. Moreover, this did not allow an improvement in the ration autonomy, nor an increase of the nitrogen efficiency.

The environment is another important issue in agriculture nowadays. With the setting of changes in the farms, it was also possible to study the environmental impact of these decisions. This allowed to demonstrate that grazing can reduce the GHG emissions of a farm by 6% while the type of concentrates used the feed the animals also plays an important role for the environmental footprint of an exploitation.

Keywords

Dairy cows – nitrogen efficiency – feeding autonomy – feeding cost – grazing – environment

Liste des abréviations

DVE : *Darmverteerbaar eiwit*
GES : Gaz à Effet de Serre
ha : hectare
haSFPc : hectares de Surfaces Fourragère Principale corrigée
j : jour
JEL : Jours En Lactation
kgMS : kilogramme de matière sèche
MAT : Matière Azotée Totale
MOF : Matière organique fermentescible
MU : Matière Utile
NDF : *Neutral Detergent Fiber*
NFC : *Non-Fibrous Carbohydrates*
OEB: *Onbestendig Eiwit Balans*
OGM : Organismes Génétiquement Modifiés
PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle
RGA: Ray-Grass Anglais
RGH: Ray-Grass Hybride
RGI : Ray-Grass Italien
SAU : Surface Agricole Utile
t : tonne(s)
TB : Taux Butyreux
tMF : tonne de Matière Fraîche
tMS : tonne de Matière Sèche
TP : Taux Protéique
TP_f: Taux Protéique français
Tr : Trèfles
UEL : Unité d'Encombrement Tait
UFL : Unité Fourragère Lait
VEM : *Voedereenheid Melk*
vl : vache laitière
VS : Valeur de Structure

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Revue de la littérature	3
2.1.	L'agriculture en Wallonie et ses enjeux	3
2.1.1.	Evolution	3
2.1.2.	Contexte géographique et pédoclimatique	3
2.1.3.	Enjeux de la production laitière actuelle	3
2.1.4.	Bilan technico-économique des exploitations du projet PROTECOW.....	5
2.2.	Bilans des leviers mobilisables.....	5
2.2.1.	Leviers alimentaires	5
2.2.2.	Gestion de la lactation.....	17
2.2.3.	Logements et bien-être	21
2.3.	L'environnement	22
2.4.	Conclusion	23
3.	Objectif du travail.....	25
4.	Matériel et méthode.....	26
4.1.	Choix des exploitations	26
4.2.	Méthodologie commune aux exploitations.....	26
4.2.1.	Diagnostic.....	26
4.2.2.	Création de scénarios d'amélioration	28
4.2.3.	Suivi et résultats	28
4.2.4.	DECiDE	28
5.	Exploitation A	30
5.1.	Matériel et méthode spécifique à cette exploitation	30
5.1.1.	Caractéristiques générales	30
5.1.2.	Scénario d'amélioration	30
5.1.3.	Suivi et résultats	30
5.2.	Résultats et discussion	31
5.2.1.	Diagnostic.....	31
5.2.2.	Scénarisation	34
5.2.3.	Suivi durant la période de pâturage.....	35
5.2.4.	DECiDE	44
6.	Exploitation B	46

6.1.	Matériel et méthode spécifique à cette exploitation	46
6.1.1.	Caractéristiques générales	46
6.1.2.	Scénario d'amélioration	46
6.1.3.	Suivi et résultats	46
6.2.	Résultats et discussion	47
6.2.1.	Diagnostic.....	47
6.2.2.	Scénarisation	53
6.2.3.	Résultats	54
6.2.4.	Diagnostic environnemental.....	61
7.	Exploitation C	63
7.1.	Matériel et méthode	63
7.1.1.	Caractéristiques générales	63
7.1.2.	Diagnostic.....	63
7.1.3.	Scénarisation	63
7.1.4.	Suivi et prise de données	64
7.2.	Résultats et discussion	64
7.2.1.	Diagnostic.....	64
7.2.2.	Scénarisation	67
7.2.3.	Suivi et résultats	68
7.2.4.	DECiDE	68
8.	Discussion générale	70
8.1.	Performances de production des exploitations étudiées	70
8.2.	Impacts des pratiques de rationnement.....	70
8.2.1.	Fourrages	70
8.2.2.	La complémentation en concentrés	71
8.2.3.	Présentation des aliments	72
8.2.4.	Relation avec les objectifs du travail.....	72
8.3.	Le pâturage	73
8.4.	Bilan environnemental.....	74
9.	Conclusion.....	75
	Références bibliographiques	
	Annexes	

Table des tableaux

Tableau 1: Principales caractéristiques alimentaires des fourrages fréquemment utilisés (Cuvelier et al., 2005).....	10
Tableau 2: Caractéristiques alimentaires de certains concentrés fréquemment utilisés en alimentation animale. Source : (Blok et al., 2016).....	12
Tableau 3: Besoins énergétiques et protéiques moyens des vaches laitières en fonction de leur niveau de production. Source : Adapté des calculs de De Brabander et al. (2007)	14
Tableau 4 : Evolution de la production laitière entre 2016 et 2019 - Exploitation A	32
Tableau 5: Quantité d'herbe disponible (en kgMS) par vache dans chacune des parcelles aux différentes dates de prélèvements - Exploitation A.....	38
Tableau 6 : Quantités d'aliments (en kgMS) distribué dans l'étable (mélangeuse et robot) et ingestion théorique d'herbe (en kgMS) par les méthodes INRA et ILVO - Exploitation A	39
Tableau 7 : Composition et valeurs nutritives de l'herbe aux différentes dates de prélèvement - Exploitation A	41
Tableau 8: Evolution des jours en lactation du troupeau, de la production moyenne de lait, du nombre de traites moyen et des taux butyreux et protéiques ainsi que de la valorisation calculée du lait - Exploitation A	42
Tableau 9: Autonomie, efficience azotée et coût alimentaire associé aux différentes rations - Exploitation A	44
Tableau 10 : Bilan des émissions de GES et énergies pour la situation réelle et la simulation du changement alimentaire - Exploitation A.....	45
Tableau 11 : Evolution de la production laitière entre 2016 et 2018 - Exploitation B	47
Tableau 12 : Quantités distribuées et compositions des aliments (en kgMS) présents dans la ration distribuée aux vaches laitières le 15/02/2019 - Exploitation B.....	49
Tableau 13 : Composition finale de la ration distribuée le 15/02/2019 - Exploitation B	51
Tableau 14 : Quantités d'aliments (en kgMS) distribuées en étable (auge et robot) aux différentes dates de passage en ferme - Exploitation B	54
Tableau 15 : Compositions finales des rations distribuées aux différentes dates de prélèvement - Exploitation B	55
Tableau 16 : Productions laitières théoriques et réelles, taux butyreux et protéiques et valorisation calculée du lait par rapport aux rations distribuées – Exploitation B.....	56
Tableau 17 : Compositions des échantillons de matières fécales - Exploitation B	58
Tableau 18: Compositions des échantillons de matières fécales tamisées selon leur taille - Exploitation B	59
Tableau 19 : Autonomies et efficience azotée associées aux différentes rations distribuées - Exploitation B	59
Tableau 20 : Score de rumination des vaches présentes en étable - Exploitation B	60
Tableau 21 : Résultats du passage des rations au PennState Separator - Exploitation B.....	60
Tableau 22 : Bilan des émissions de GES et énergies pour la situation réelle et la simulation du changement alimentaire - Exploitation B	61
Tableau 23 : Répartition des animaux dans les deux groupes - Exploitation C.....	63
Tableau 24 : Evolution de la production laitière entre 2016 et 2018 – Exploitation C.....	64

Tableau 25 : Quantités d'aliments concentrés achetés (kgMF/vl) et le coût associé (€/vl) en 2016 et 2017 - Exploitation C	65
Tableau 26 : Quantités et compositions des aliments (en kgMS) présents dans la ration distribuée aux vaches laitières le 15/05/2019 - Exploitation C	66
Tableau 27 : Composition finale de la ration distribuée au 15-05-2019 – Exploitation C	66
Tableau 28 : Evolution de la quantité de concentrés distribués entre l'ancienne table de distribution des concentrés et la nouvelle - Exploitation C.....	68
Tableau 29 : Bilan des émissions de GES et consommations d'énergies pour la situation réelle et la simulation du changement alimentaire - Exploitation C	69

Table des figures

Figure 1 Répartition des exploitations du projet PROTECOW. Source : (PROTECOW, August-12-2019)	1
Figure 2: Plan des parcelles pâturées - Exploitation A. Source : (SPW, 2018b)	35
Figure 3: Calendrier de pâturage représentant les opérations sur les différentes parcelles et les hauteurs d'herbes mesurées - Exploitation A	36

Table des graphes

Graphe 1 : Evolution de la proportion des différents aliments qui composent la ration entre 2017 et 2018 ainsi que l'autonomie et l'efficience azotée associée - Exploitation A.....	32
Graphe 2 : Evolution des charges opérationnelles (en €/ha) des cultures fourragères ou valorisable dans l'alimentation de bovins entre 2016 et 2018 - Exploitation A	34
Graphe 3 : Evolution des taux butyreux et protéique de l'exploitation B en comparaison aux exploitations du groupe PROTECOW wallon - Exploitation B	48
Graphe 4 : Score final du test Welfare Quality® - Exploitation B	52
Graphe 5 : Productions théoriques et réelles en kg de lait standard permises par les différentes rations - Exploitation B	57

Table des annexes

Annexe 1 Protocole Infrarouge	
Annexe 2 Protocole PennState Separator	
Annexe 3 Source des données fournies par les éleveurs	
Annexe 4 Historique des rations et des quantités distribuée (kgMS) - Exploitation B	
Annexe 5 Prix utilisés pour le calcul du coût des rations (en €/tMS)	
Annexe 6 Répartition détaillé des animaux - Exploitation C	

1. Introduction

La production laitière est un secteur très important dans le monde économique actuel. En 2018, la production mondiale en lait de vache se situait aux alentours de 710 millions de tonnes et les premières estimations pour 2019 avancent le chiffre de 723 millions de tonnes de lait produit (CBL, 2019). Cette production n'est pas uniformément répartie dans les régions du monde avec les USA qui produisent 14,5% de la production mondiale de lait et l'Inde, 12,4% (Faostat, 2019). Il existe cependant un contraste important entre ces deux pays. En effet, toujours selon les données Faostat (2019), pour produire ces quantités de lait, l'Inde possède 18,31% de la population mondiale en vaches laitières alors que les USA ne possèdent que 3,36% de la population mondiale de vaches laitières. La différence majeure entre ces deux pays est donc la productivité moyenne par vache qui est estimée autour des 10 457 kg pour une vache américaine et seulement 1 643 kg de lait pour une vache indienne.

En Belgique, la production totale en litres collectés était de 3,96 millions de litres de lait pour un total de 529 247 vaches. Toutes races et systèmes (conventionnel ou bio) confondus, une vache laitière en Belgique produit en moyenne 7 480 litres de lait sur une année (CBL, 2019)

Malgré l'importance économique du secteur laitier, celui-ci a connu de nombreuses crises sanitaires et économiques. Une crise très marquante et récente reste la crise de 2009, lors de laquelle des agriculteurs ont épandu du lait sur les champs afin de protester contre le prix de vente (+0,24€ pour un litre de lait) qui ne couvrait pas leur coût de production.

La maîtrise des coûts de production semble dès lors être un facteur primordial dans la pérennité des exploitations. En effet, pour faire face à la volatilité des prix du lait mais aussi des aliments sur les marchés mondiaux, il est essentiel pour l'éleveur de gérer au mieux ses coûts de production afin de se dégager un revenu. Parmi les leviers existants, les charges alimentaires restent une composante majeure du coût de production. Dès lors il paraît indispensable aux éleveurs de redevenir moins tributaires de ces incertitudes. Pour se faire, de nombreuses pistes existent.

Le travail de fin d'étude présenté dans ce document est réalisé au sein du Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-w) dans le cadre du projet PROTECOW. Le travail réalisé par ce projet poursuit principalement deux thématiques bien définies que sont l'amélioration des résultats technico-économiques des exploitations qui font partie du projet mais aussi



Figure 1 Répartition des exploitations du projet PROTECOW.
Source : (PROTECOW, August-12-2019)

l'amélioration de l'efficience azotée et de l'autonomie alimentaire de ces mêmes exploitations qui doivent servir de modèles pour une plus grande échelle. Les exploitations qui font partie de ce projet se retrouvent essentiellement dans la zone transfrontalière franco-belge.

Le projet PROTECOW est un projet de recherche INTERREG qui a commencé le 1^{er} janvier 2017 pour se terminer fin décembre 2020 et regroupe 3 régions, à savoir la Wallonie, les Hauts de France ainsi que la Flandre. Il y a au total 5 partenaires dans ce projet qui se partagent les différents axes de travail. Ces partenaires sont Avenir Conseil Elevage (ACE) et l'Institut de l'Elevage (IDELE) pour la France, le Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-w) pour la Wallonie et l'ILVO et INAGRO pour la Flandre. Un groupe franco-belge de 18 éleveurs a été mis en place et est suivi dans le cadre du projet. Il se compose de six exploitations par région.

Le but du groupe d'éleveurs de ce projet est donc de comparer et créer la discussion entre les différentes régions qui travaillent toutes de façons très différentes. Les résultats observés sur les 18 exploitations doivent servir de base de réflexion pour atteindre un public plus large. Tout au long du projet, des réunions, conférences, visites, ... sont organisées afin de donner aux éleveurs des pistes de réflexion sur les manières d'améliorer leur autonomie et leur efficience alimentaire notamment en diminuant la part des aliments achetés souvent onéreux. De plus, des fiches de vulgarisation sont rédigées par les différents acteurs du projet. Ces fiches parlent notamment du remplacement du tourteau de soja et de l'autonomie alimentaire des exploitations.

Ce travail de fin d'étude suit donc les thématiques de travail du projet, à savoir l'autonomie alimentaire, l'efficience azotée et l'amélioration des résultats économiques. Après une analyse détaillée des fermes sur base des données récoltées mais aussi grâce aux entretiens avec les agriculteurs, un changement d'ordre alimentaire est proposé. Ces nouvelles idées qui sont en accord avec les objectifs des éleveurs. Une fois mises en place celles-ci seront suivies et évaluées.

2. Revue de la littérature

La revue de la littérature qui suit contient un grand nombre d'informations utiles à la compréhension des exploitations laitières qui seront analysées durant ce travail. De plus, cette revue est un point de départ à la réflexion des scénarios qui seront proposés et éventuellement mis en place pour certains.

2.1. L'agriculture en Wallonie et ses enjeux.

2.1.1. Evolution

Durant les dernières décennies, le secteur agricole et plus particulièrement le secteur de la production laitière a évolué constamment et a subi des changements conséquents dans son organisation avec notamment une intensification des exploitations. Ainsi en Wallonie, le nombre d'exploitations ne cesse de diminuer (± 30000 en 1990 et à peine 13000 en 2016 selon le SPW (2018) tandis que la surface agricole utile (SAU) moyenne d'une exploitation augmente d'année en année, passant ainsi de 25,8 ha en 1990 à 56,8 ha en 2016. Cette augmentation de la taille des exploitations se marque également sur le nombre de vaches laitières présentes (SPW, 2018a). Cependant, d'après la Confédération Belge de l'Industrie Laitière (2019) le nombre d'animaux présents en Wallonie diminue malgré tout, passant de 450 000 en 1984 à un peu moins de 200 000 vaches laitières en 2016. A l'inverse, les livraisons de lait augmentent en passant de 388 425 litres de lait par exploitation en 2014 à 418 453 litres de lait en 2017.

2.1.2. Contexte géographique et pédoclimatique

Le Hainaut est composé de régions agricoles diverses. En effet, la majeure partie de cette province est occupée par la région limoneuse, qui se caractérise par des terres fertiles et des cultures agricoles diverses comme les céréales, la betterave sucrière, la pomme de terre ou encore les cultures de légumes. En plus de ces cultures de rente, certains terrains agricoles sont aussi dédiés à l'élevage avec notamment des prairies, celles-ci n'excédant pas 20% de la SAU en région limoneuse. Ces prairies sont principalement utilisées en production bovine. En effet, en 2016, le nombre de vaches laitières dans le Hainaut s'élevait à 60 558 vaches en lactation et de réforme et la population en bétail allaitant est équivalente (60 194 vaches) (Crémer, 2014; SPW, 2018a)). Outre les prairies, le maïs fourrager occupe également sur surface importante. En effet en 2016, la surface emblavée en maïs fourrager avoisinait les 33 500 ha (soit 22% des surfaces agricoles) ce qui en fait la deuxième culture la plus importante après le froment (42 600 ha, 28%) (Statbel, 2018). Cette constatation démontre que la production bovine et donc aussi laitière fait partie des activités agricoles de la région.

2.1.3. Enjeux de la production laitière actuelle

2.1.3.1. Structuration économique des exploitations

Il existe deux leviers majeurs qui permettent d'améliorer la rentabilité et donc la pérennité des exploitations laitières : l'augmentation des produits ou la diminution des charges. Cependant, il est difficile d'agir sur ce premier levier car la valorisation du lait est conditionnée par les aléas du marché mondial, et le prix final y est donc fixé. En outre, le prix du lait n'est pas la seule denrée agricole dont le prix est fixé sur le marché mondial. En effet, c'est le cas pour certaines ressources alimentaires utilisées en élevage comme le soja (et son coproduit, le tourteau de soja) et les céréales (Pflimlin, 2015).

La diminution des coûts de production représente l'autre levier d'action important lorsque l'on parle de rentabilité des exploitations laitières. En effet, la répartition des charges totales d'une exploitation se fait selon deux composantes principales que sont les charges de structure et les charges opérationnelles. Premièrement, ces charges fixes (ou de structure) représentent les frais récurrents auxquels doit faire face l'exploitation c'est-à-dire qui ne sont pas liés aux volumes produits tels que les amortissements, taxes, ... (CRA-W, 2010). A l'inverse, les charges opérationnelles reprennent le coût alimentaire, les frais d'élevage, ainsi que les coûts liés à la production des surfaces fourragères (SPF, 2014). La diminution des coûts de production peut dès lors se caractériser par la diminution de ces charges qui sont plus facilement influençables.

En ce qui concerne les charges fixes, une intensification des outils de production amène le plus souvent à une diminution des charges fixes imputée au produit final, que ce soit le lait ou les récoltes. En effet, une quantité plus élevée de lait produit sur une exploitation permet de diminuer le coût associé au litre de lait. En 2006, les charges de structure représentaient 18,58€/1000kg de lait (SPF, 2014) alors qu'en 2014, les frais fixes liés au capital foncier représentaient 18,7% des frais totaux alors que les frais fixes liés aux équipements représentaient 13,6% des frais totaux (SPF, 2014).

Les leviers d'actions sur les charges opérationnelles passent par l'optimisation des outils de production. En effet, Fabry (2009) estime que pour réduire les charges opérationnelles, l'éleveur doit produire des fourrages de meilleure qualité, ce qui réduit la part d'aliments à acheter. Selon Garnier et al. (2012), la bonne gestion des effluents d'élevage mais aussi du pâturage permet de diminuer les charges opérationnelles liées aux surfaces fourragères. En 2014, les frais liés à l'achat des aliments pour bovins représentaient 15,3% du total des charges, et 4,8% pour les surfaces fourragères, les frais vétérinaires composent quant à eux 2,7% du total des charges (SPF, 2014). Toujours selon l'étude menée par Fabry (2009), c'est 26% du total des charges (et 56% des charges opérationnelles liées au cheptel et aux surfaces fourragères) qui sont utilisées pour l'achat d'aliments alors que 34,9% du coût total est attribué aux équipements.

2.1.3.2. Attentes des citoyens

L'agriculture fait face à des attentes sociétales grandissantes depuis de nombreuses années. Parmi ces préoccupations, on retrouve notamment le bien-être animal, l'impact environnemental mais aussi la production d'aliments et les crises sanitaires (Delanoue et al., 2014). Premièrement, le bien-être animal pour le citoyen se caractérise par un accès au plein air et à la lumière naturelle en opposition au confinement des animaux, mais aussi à une manipulation des animaux qui doit se faire sans la moindre douleur. Parmi les faits qui déplaisent, on peut citer notamment l'écornage des animaux, les boiteries ou encore les mammites (Delanoue, Dockes, et al., 2015). Ensuite, vient l'aspect environnemental car les associations environnementales jugent l'élevage comme ayant un impact négatif sur l'environnement à travers les émissions de méthane et l'utilisation des OGM dans l'alimentation animale. De fait, les citoyens voient d'un bon œil les élevages qui décident de se passer du tourteau de soja et qui essaient de produire eux-mêmes un maximum de l'alimentation destinée aux bovins au sein même de l'exploitation (Delanoue & Roguet, 2015). De plus les élevages liés aux sols jouissent d'une meilleure image auprès des consommateurs. Enfin une

croissance des consommateurs est l'intensification des élevages laitiers du fait de la fin des quotas, ce qui engendrerait des élevages hors-sols et s'est déjà avéré négatif pour l'environnement. Concernant cette croissance des consommateurs par rapport à l'intensification des élevages laitiers, depuis la fin des quotas en 2015, la livraison moyenne de lait par producteur en Wallonie a augmenté de 9,2% entre 2015 et 2018, passant de 403 543L à 440 759L de lait. Il y a donc bien une légère intensification de la production laitière avec des volumes de lait livrés par exploitation plus élevés (CBL, 2019).

2.1.4. Bilan technico-économique des exploitations du projet PROTECOW

Le TFE étant réalisé dans le cadre du projet PROTECOW, il paraît intéressant d'en exposer les résultats obtenus jusqu'ici afin de mieux comprendre la dynamique des exploitations au sein des différentes régions que sont la Flandre, la Wallonie et les Hauts-de-France.

Le premier constat qui ressort de l'étude des marges brutes 2018-2019, est que les éleveurs wallons du projet dégagent une moins grande marge brute que leur homologues français (-42€/1000L de lait) et flamands (-27€/1000L de lait). Le calcul des marges brutes se divise en deux parties que sont les produits et les charges. Premièrement au niveau des produits, le produit viande est fort similaire d'une exploitation à l'autre. La différence se fait donc plutôt sur la valorisation du lait qui est la plus élevée en Flandre (352€/1000L de lait) suivie par la France (341€/1000L de lait) et enfin, la Wallonie (334€ /1000L de lait). Cette différence peut s'expliquer en partie par le contenu en matières utiles qui est plus faible en Wallonie (1,862 kg de matières utile (MU) par jour et par vache (j.vl)) comparativement à la Flandre et à la France (respectivement 1,989 et 1,981 kg MU/j.vl).

Deuxièmement, les charges représentent aussi un facteur important dans les résultats de marges brutes. Parmi les charges, c'est essentiellement le coût alimentaire qui les influence le plus comparativement aux frais d'élevage qui sont comparables entre les 3 régions. Ainsi, les français présentent le coût alimentaire le plus faible (105€/1000L de lait), suivi par les flamands (124€/1000L de lait) et enfin par les wallons avec un coût alimentaire moyen de 136€/1000L de lait. Cette différence s'explique en partie par la quantité de concentrés distribuée qui est plus élevée de 68g/L de lait en Wallonie par rapport aux éleveurs français (Boulet, 2019).

2.2. Bilans des leviers mobilisables.

Pour faire face aux enjeux identifiés précédemment, les éleveurs peuvent actionner différents leviers qui sont repris de manière non exhaustive dans cette deuxième partie.

2.2.1. Leviers alimentaires

Ces différents leviers doivent dans un premier temps répondre aux critères et indicateurs qui permettent de piloter le rationnement des vaches laitières. Les plus courants sont calculés sur base des besoins des ruminants (besoins énergétiques et protéiques, besoins massiques) alors que d'autres permettent d'évaluer la ration sur sa capacité à assurer un bon fonctionnement du rumen comme c'est le cas de la fibrosité ou encore de la teneur en amidon.

2.2.1.1. Le système de rationnement

La capacité d'ingestion.

Le premier critère à prendre en compte dans le rationnement des vaches est la capacité d'ingestion c'est-à-dire la quantité d'aliments qu'une vache est capable d'ingérer. Celle-ci dépend de nombreux facteurs comme le poids des animaux, la gestation, l'âge et le nombre de lactation ainsi que la production laitière potentielle. Différentes formules existent. La première est présentée par l'ILVO (De Brabander et al., 2007) dans laquelle CI est la capacité d'ingestion en kg de matière sèche (kgMS), Mm représente la production de lait (en kg de lait), LG le poids vif des animaux (kg). Cette formule est ensuite corrigée par différents facteurs prenant en compte le stade de lactation (augmentation de la capacité d'ingestion entre la 1^{ère} semaine et la 6^{ème} semaine) mais aussi liés à la gestation lorsque les vaches atteignent 7 mois de gestation.

$$CI = (4,82 + 0,33 \times Mm + 0,010 \times LG) * \text{CorrectionGestation} * \text{CorrectionLactation}$$

La deuxième formule est proposée par l'INRA (Faverdin et al., 2006):

$$CI = \{13,9 + 0,015 \times (PV - 600) + 0,15 \times PLpot + 1,5 \times (3 - NEC)\} \times IL \times IG \times IM$$

Dans ce modèle, CI représente la capacité d'ingestion en UEL, PV le poids vif de l'animal (kg), PLpot la production de lait potentielle (kg de lait), NEC l'état corporel des vaches, IL l'indice lié au stade de lactation, IG l'indice de gestation et IM un indice de maturité (Faverdin et al., 2006).

Besoins énergétiques

En Belgique, les méthodes de rationnement se basent sur l'énergie nette qui est disponible dans les aliments pour répondre aux besoins des animaux. L'énergie nette représente l'énergie brute à laquelle est soustraite l'énergie perdue dans les fèces, l'urine et les gaz ainsi que l'extrachaleur (De Brabander et al., 2007). Au regard de cette énergie disponible, les besoins énergétiques des ruminant dépendent aussi de nombreux facteurs. En effet, selon De Brabander et al. (2007) une part de l'énergie ingérée est allouée aux fonctions vitales et à la gestation, mais la majeure partie est mobilisée pour la production laitière chez la vache en lactation.

En Belgique, le système hollandais de rationnement, basé sur une valeur VEM (De Brabander et al., 2007), traduit les besoins énergétiques des ruminants. Dans le cas d'une vache de 600 kg en 3^{ème} lactation produisant 20 kg de lait et étant non gestante, les besoins totaux avoisinent 13 494 VEM par jour et la production d'un kg de lait standard demande 442 VEM.

Besoins protéiques

Le système hollandais traduit les besoins et apports protéiques des vaches laitières par deux indicateurs que sont DVE et OEB. Ce système considère les protéines non dégradées dans le rumen et les protéines microbiennes, auxquelles sont soustraites les protéines rejetées dans les fèces (Cuvelier et al., 2005). Les DVE expriment donc la quantité de protéines vraies qui sont mobilisables pour répondre aux besoins des animaux, et digestibles dans l'intestin. La valeur DVE n'est donc pas la même que la valeur MAT qui ne tient pas compte de l'origine des acides aminés ni de leur dégradation et digestibilité. La valeur DVE est plus précise et permet donc de mieux estimer les pertes d'azotées à travers les matières fécales et urinaires (Beckers, 2013). En ce qui concerne l'OEB, cet indicateur permet d'estimer la balance entre l'énergie et les

protéines dans le rumen. En effet, elle représente la différence entre la production de protéines microbiennes permise par l'azote disponible dans le rumen et les protéines microbiennes permises par l'énergie. Dans le cas d'un OEB négatif, cela signifie que l'énergie fermentescible est présente en grande quantité par rapport à l'azote métabolisable par les microorganismes du rumen. Dans le cas d'un OEB positif, l'azote est en excès (Cuvelier et al., 2005).

Dans le cas d'une vache produisant 20 kg à 3,4 % de protéines dans le lait, la production d'un kg de lait demande 52 g DVE.

Valeur de structure

La valeur de structure (VS) d'une ration représente sa structure physique et sa valeur d'encombrement, c'est-à-dire la place que prennent les aliments dans le rumen et leur capacité à remplir ce rumen. Cette valeur représente la structure fibreuse de la ration. Cette valeur est majorée en présence de fourrages (plus le fourrage est riche en fibres, plus la VS est élevée) et plus faible que 1 dans le cas de concentrés. (De Brabander et al., 2007).

2.2.1.2. *Les fourrages dans la ration.*

Depuis toujours, les vaches mangent de l'herbe. Cette herbe, d'abord consommée fraîche durant les saisons de pâturage, pouvait aussi être récoltée sous forme de foin pour nourrir les animaux durant l'hiver. Lors de la révolution fourragère, les ensilages d'herbe font leur apparition et avec eux les stabulations en libre circulation avec une zone de repos et une zone d'alimentation. Vinrent ensuite les ensilages de maïs et autres techniques connues actuellement comme les enrubannages ou le séchage en grange. (Vignau-Loustau et al., 2008).

Il existe ainsi une multitude de fourrages utilisés pour le rationnement des vaches laitières, chacun présentant des particularités et des avantages et inconvénients qui leur sont propres.

Maïs

Selon les chiffres de Statbel (2018), le maïs fourrager est la 2^{ième} culture la plus emblavée en 2018 avec une surface de près de 179 500ha, ce qui s'explique par son utilisation fréquente dans la ration des ruminants. Il est utilisé en tant que source énergétique dans la ration car le grain de maïs est riche en amidon. Sa qualité évolue selon le stade de récolte mais l'optimum est atteint pour une teneur en matière sèche qui avoisine 32 à 35%. C'est aussi à ce stade que le maïs ensilé plante entière se conserve le mieux (Demarquilly, 1994).

Ensuite, il est possible de récolter ce maïs selon plusieurs modes qui sont propres au matériel utilisé lors de cette opération. Le maïs peut être récolté en grains (voir 1.2.1.3.) mais aussi en plante entière. Dans ce cas, les facteurs de variation par les systèmes de récolte sont l'éclatement des grains et la taille de coupe. L'étude réalisée par Schwab et al. (2010) sur différents modes de récolte du maïs montre que le contenu en NDF de l'ensilage est plus faible lorsque les grains de maïs ne sont pas éclatés, et ce malgré une augmentation de la taille de coupe. Cependant, par ce même procédé, le contenu en amidon de l'ensilage de maïs a été augmenté par rapport au témoin, ce qui aurait un effet positif sur la quantité de maïs ingérée par les vaches. Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'un éclatement des grains de maïs rend alors l'amidon plus accessible et plus facile à dégrader car il n'est plus protégé par l'enveloppe du grain. Il n'y a par contre aucun effet de la taille de coupe du maïs (0,95cm ou 1,9cm) sur l'ingestion (De Boever et al., 1993; Clark et al., 1999). De Boever et al. (1993) ont d'ailleurs démontré qu'il

n'existe pas de différence de temps de rumination si la longueur de coupe est augmentée de 8mm à 16mm mais il y a bien une diminution du temps de rumination lorsque la longueur de coupe est diminuée à 4mm pour du maïs ensilé normalement.

Les caractéristiques alimentaires du maïs sont présentées dans le tableau 1. Le coût du maïs ensilage incorporé dans une ration revient à 100€/tMS selon les experts (Verriele, 2019).

Graminées et légumineuses

L'herbe est consommée fraîche ou conservée selon 3 modes principaux, séchée, en silo ou enrubannée. Ses caractéristiques varient selon le mode de conservation. L'étude de Demarquilly et al. (1998) compare les caractéristiques de ces différentes méthodes. Premièrement, en cas de récolte et de stockage selon la voie sèche, c'est-à-dire lorsque l'herbe est séchée au champ ou via une installation de séchage, cela engendre une perte des valeurs nutritives due à la respiration des cellules (+-8% de la MAT). Dans le cas d'un séchage de mauvaise qualité, ces pertes sont encore plus élevées (jusqu'à 16% de la MAT). De plus, lorsque l'herbe contient des légumineuses, si il y a une perte de feuilles lors du séchage, cela engendre des pertes de valeurs nutritives comme les DVE car l'azote, et les protéines sont essentiellement contenues dans celles-ci (Baumont et al., 2011). L'ensilage d'herbe représente le meilleur moyen de conserver les atouts du fourrage car c'est la méthode qui permet de limiter le plus les pertes d'énergie et de MAT (transformation des protéines en azote soluble) entre le fourrage frais et le moment où il est consommé par les animaux. C'est aussi la technique qui a permis la plus haute production de lait dans la comparaison des trois méthodes à partir du même fourrage (Demarquilly et al., 1998). Cependant, cet ensilage doit être réalisé dans des conditions idéales et adéquates pour une conservation optimale afin de limiter les pertes dues à la fermentation, aux écoulements ou encore à la moisissure de certaines parties du silo. Toujours selon Baumont et al. (2011), l'ensilage entre 40 et 50% de MS semble être le meilleur compromis pour optimiser la conservation de l'énergie contenue dans le fourrage mais aussi la dégradabilité de l'azote. Le principe de l'enrubannage repose sur les mêmes bases que l'ensilage, à savoir une fermentation des sucres mais aussi avec comme conséquence des pertes d'azote. Cependant, dans le cas d'un enrubannage sec, les caractéristiques sont plus proches du foin que de l'ensilage (Demarquilly et al., 1998). Il existe une dernière forme de fourrages à base de graminées non-prairiales, ce sont les ensilages de céréales immatures. L'avantage de cette méthode est qu'à l'inverse du maïs, le rendement dépend moins de la pluviosité estivale et est donc moins sensible à la sécheresse. Selon l'espèce, il est conseillé de récolter plus ou moins rapidement après la floraison (± 30 j pour froment et avoine et 20j pour l'orge) (Le Gall et al., 2008).

Ensuite, l'espèce utilisée est un autre facteur influençant les quantités récoltées ainsi que les valeurs nutritives (Deprez et al., 2007). En effet, des rendements de l'ordre de 12-16tMS sont admis pour le RGA en Europe de l'Ouest alors que le RGI produit davantage (15-20tMS) mais présente d'autres inconvénients comme une plus faible pérennité et une sensibilité accrue face au gel (Peeters et al., 1996; Peeters, 2004). L'utilisation de légumineuses implantées en association avec des graminées fourragères permet de sécuriser les rendements en cas de sécheresse. En effet, selon Deprez et al. (2007) la quantité récoltée en RGA pur est plus faible que les mélanges à base de luzerne-dactyle ou RGA-trèfle. Ce constat rejoint celui du projet Dairyman, cité par Decruyenaere et al. (2016) qui a montré que l'association de cultures de

graminées et de légumineuses permettait d'augmenter la production des fourrages même en période de sécheresse (16,6tMS pour du dactyle-luzerne, par rapport à 8tMS pour le dactyle seul). En outre, une plus grande quantité d'énergie et d'azote peut être récoltée à travers ces mélanges (Deprez et al., 2007). Selon Decruyenaere et al. (2016), certaines légumineuses ont la capacité d'atteindre des valeurs élevées en protéines. Cependant, ce sont des protéines très dégradables dans le rumen, et donc non valorisables directement par l'animal. Enfin, les légumineuses comme le trèfle violet présentent un meilleur équilibre entre leur teneur en énergie et protéines, représenté par l'OEB (ILVO, 2015 cité par Decruyenaere et al. (2016). Les légumineuses présentent aussi l'avantage d'être très digestibles et d'augmenter l'ingestion (Decruyenaere et al., 2016).

La taille des particules du fourrage récolté a aussi une importance. Selon l'étude de Grant et al. (1990), la taille des particules de luzerne (3,1mm, 2,6mm ou 2mm) n'influence ni l'ingestion totale ni l'ingestion en fibres NDF de la ration, mais a une très grande influence sur le temps de rumination. En effet, les vaches qui ont reçu la luzerne la plus longue (3,1mm) ruminent plus que les vaches nourries avec une luzerne comportant des brins plus courts. De plus, cette étude a montré que la diminution du pH est moins importante en présence de brins plus longs, ce qui peut prévenir certaines pathologies comme l'acidose. Toujours dans le rumen, l'étude a révélé que la production d'acide acétique est plus élevée avec des brins longs alors que le propionate augmente avec la diminution de la taille des brins. Selon Brouk et al. (1993), la luzerne se compose de peu de NDF, qui plus est, ce NDF est très dégradable dans le rumen. Ceci explique le fait que la capacité d'ingestion peut être élevée en présence d'ensilage de luzerne. Cette étude n'a révélé aucune différence entre le foin et l'ensilage sur le comportement alimentaire des animaux.

Certaines valeurs alimentaires sont présentées dans le tableau 1.

L'utilisation de fourrages à base de graminées et/ou de légumineuses dans la ration des vaches laitières est également intéressante grâce à leurs teneurs en minéraux, oligo-éléments ainsi que vitamines. Comparativement, un ensilage d'herbe est plus riche en minéraux et oligo-éléments qu'une graine de soja ou un ensilage de maïs. L'herbe et le trèfle peuvent aussi apporter des oméga3 et des oméga6, ce qui n'est pas le cas du maïs et de certains coproduits (De Brabander et al., 2007).

Les coûts associés à la récolte de l'herbe varient fortement. Selon Lépée (2011), la récolte la plus onéreuse ($\pm 50\text{€/tMS}$) est l'enrubannage individuel de ballots d'herbe, ce qui s'explique par le temps nécessaire pour emballer les ballots mais aussi par le coût des plastiques et ficelles utilisés en grandes quantités. Les chantiers d'ensilage par autochargeuse et par ensileuse sont moins coûteux (respectivement 38€/tMS et 41€/tMS) alors que le coût de récolte du foin est équivalent à ceux de l'ensilage du fait des nombreux passages de tracteurs nécessaires pour le séchage.

Coproduits agro-alimentaires

Les pulpes de betteraves surpressées représentent un coproduit issu de l'industrie sucrière et valorisable dans l'alimentation animale (Institut de l'Elevage, 2000). Leur qualité et leur valeurs nutritives varient selon les caractéristiques des usines et de la betterave, cependant, dans

la majorité des cas, leur composition est assez constante (Institut de l'Elevage, 2000). Dans la ration des vaches laitières, les pulpes se distinguent par une quantité d'énergie élevée mais un apport en protéines assez faible (De Brabander et al., 2007). En outre, c'est un aliment riche en pectines, hydrates de carbone facilement fermentescibles, ce qui en fait un aliment potentiellement acidogène. De ce fait, il est recommandé de ne pas dépasser 3 à 5kg MS de pulpes dans la ration des vaches laitières. Le coût des pulpes de betteraves est déterminé par l'industrie betteravière, il est donc aisément calculer le coût dans la ration (Legrand, 2005). En 2018, le prix des pulpes sur pressées était de 80,85€/tMS à la sortie de l'usine (source : facture 2018 pulpes surpressées)

Les drèches de brasserie, au même titre que les pulpes de betteraves représentent un coproduit de l'industrie qui est intéressant à valoriser dans l'alimentation animale. Elles se caractérisent par un apport d'énergie mais surtout protéique dans la ration (Heuzé et al., 2017). Le coût des drèches varie fortement selon leur provenance (brasserie proche de l'exploitation ou sur le marché).

Autres produits et coproduits agro-alimentaires

La betterave fourragère est un aliment brut contenant beaucoup d'eau (entre 14 et 22% de matière sèche). Sa teneur élevée en sucres en fait un aliment riche en énergie mais déficient en protéines (De Vliegher et al., n.d.). L'utilisation de betteraves fourragères doit néanmoins être ajustée car leur richesse en sucres peut entraîner un dysfonctionnement du rumen, et l'acidose de par leur teneur en sucres ou l'acétonémie de par la production d'acides butyriques dans le rumen lorsqu'elles sont incorporées en trop grande quantité (max 0,8% du poids vif, +-5,6

	% MS	VEM (/kgMS)	DVE (g/kgMS)	OEB (g/kgMS)	MAT (g/kg MS)	NDF (g/kgMS)
Ensilage de maïs	32	890	49	-19	87	250
Ensilage d'herbe	40	900	73	56	200	320
Foin (Regain)	85	770	81	3	144	295
RGA (frais-épiaison)	16	910	84	-3	142	239
Luzerne (frais)	18	750	81	48	193	299
Pulpes de betteraves	21	1010	100	-65	108	206
Drèches de brasseries	22	810	99	106	269	150
Betteraves fourragères	15	890	69	-61	97	73
Herbe fraîche (jeune)	16	980	100	41	210	215

Tableau 1: Principales caractéristiques alimentaires des fourrages fréquemment utilisés (Cuvelier et al., 2005).

kgMS) (Verité et al., 1973; Dulphy et al., 2000). Le coût de production des betteraves fourragères revient à 73,6€/tMS (Deprez et al., 2007).

2.2.1.3. Les concentrés dans la ration

L'usage de concentrés énergétiques ou protéiques dans la ration permet d'augmenter le niveau de production permis par la ration de base mais surtout de rééquilibrer la ration en fonction des fourrages utilisés (Cuvelier et al., 2005). Il existe une multitude de concentrés d'origines différentes.

Les concentrés énergétiques

Parmi les concentrés énergétiques, les plus fréquemment utilisés sont les céréales, données entières ou traitées (broyées, aplatis) mais aussi leurs dérivés issus de l'industrie agro-alimentaire. C'est le contenu élevé en amidon de ces produits qui en fait un aliment riche. La qualité et la quantité de cet amidon varie en fonction des espèces. Une étude de Sauvant et al. (1994) montre que des céréales de type avoine et froment (entier, farine et son) possèdent une fraction d'amidon très rapidement dégradable dans le rumen ($\pm 80\%$ rapidement dégradable et 20% lentement dégradable). A l'inverse, l'orge et le maïs grain contiennent d'avantage d'amidon lent, respectivement 60% et 77%. Ainsi, une partie du contenu en énergie est rendue accessible aux micro-organismes du rumen, tandis que la partie non dégradée qui passe directement dans l'intestin sert directement à couvrir les besoins d'entretien et de production de l'individu (Sauvant et al., 1994).

Outre la nature des céréales, la dégradabilité de l'amidon dans le rumen dépend également des traitements subis par cette céréale. Ainsi, la digestibilité du grain de maïs évolue en fonction du conditionnement des grains. Par exemple, le grain de maïs est digéré dans le rumen à 62,6% lorsqu'il est entier, à 65% s'il est concassé, à 76,4% lorsqu'il est broyé, à 86% avec l'ensilage de maïs plante entière et à 87% s'il est floconné (Nocek et al., 1991).

Enfin, les pulpes de betteraves sèches sont aussi considérées comme un concentré énergétique avec 932VEM/kgMS, cela s'explique notamment par le contenu élevé pectines et en sucres solubles. Les pulpes de betteraves sont moins riches en protéines (93gDVE/kgMS et - 60gOEB/kgMS) mais représentent tout de même un aliment équilibré avec 100gDVE/kVEM (Cuvelier et al., 2005).

Au niveau des coûts, les pulpes sèches sur le marché reviennent à 248€/t (selon les prix donné par un nutritionniste actif en Wallonie au 24/06/2018) alors que dans le cas de céréales autoproduites et autoconsommées, il faut compter un coût de production de 150€/t pour le froment et le maïs mais 135€/t pour de l'orge ou du triticale (Avenir-Conseil-Elevage, 2018)

Les concentrés protéiques

Lorsque la ration est riche en énergie, comme une ration à base de maïs, il nécessite de la corriger avec des concentrés riches en protéines à base de graines protéagineuses qui ont des contenus en protéines mais aussi en huile et en énergie qui varient selon les espèces et le conditionnement des graines (Cuvelier et al., 2005).

Il est ainsi possible d'utiliser des graines protéagineuses entières comme le pois et la féverole qui ont des valeurs en matières azotées de l'ordre de 24% et 29% de la MS alors que d'autres

	VEM (/kgMS)	DVE (g/kgMS)	OEB (g/kgMS)	MAT (g/kgMS)	Amidon (g/kgMS)
Tourteau de soja	1014	255	190	485	8
Tourteau de colza	879	135	140	344	8
Féverole	1020	101	104	251	329
Lupin	1100	131	184	362	21
Pois protéagineux	1023	94	51	203	416
Maïs	1096	84	-42	76	620
Froment	1021	80	-13	112	589
Orge	982	77	-24	100	528
Triticale	1035	78	-18	107	540
P Betteraves sèches	932	93	-60	88	7
Tourteau de lin	1103	161	121	331	27
Tourteau de tournesol	787	134	160	352	8

Tableau 2: Caractéristiques alimentaires de certains concentrés fréquemment utilisés en alimentation animale. Source : (Blok et al., 2016)

comme le lupin présente des teneurs aux alentours des 36% de la MS (Decruyenaere et al., 2016). Divers traitements permettent d'améliorer la qualité des concentrés protéiques comme le toastage qui consiste en un traitement thermique des graines, ce qui permet l'élimination des facteurs antinutritionnels et une meilleure conservation mais surtout l'aptitude de certaines protéines à être dégradées dans l'intestin et non dans le rumen. Delbeque et al. (2017) montrent ainsi que les valeurs alimentaires des graines de féverole et de lupin étaient augmentées après ce traitement thermique. Certaines graines entières citées plus haut présentent aussi une teneur en énergie élevée de par leur contenu en amidon, comme le pois et la féverole (Decruyenaere et al., 2016). Dans le cas où ces graines sont autoproduites, il faut compter un coût de production de 185€/t pour le pois protéagineux et 180€/t pour la féverole (Avenir-Conseil-Elevage, 2018). (Blok et al., 2016)

Deuxièmement, les coproduits des graines des protéa-oléagineuses peuvent aussi être utilisés en alimentation bovine. Ils se caractérisent par des teneurs élevées en protéines mais aussi en énergie de par la quantité résiduelle en matière grasse qu'ils contiennent en fonction des modes d'extraction des huiles (Cuvelier et al., 2005). Le tourteau principalement utilisé reste le tourteau de soja car il se caractérise par des valeurs nutritives plus élevées que les tourteaux de

colza, de tournesol et de lin qui se caractérisent par des valeurs nutritives plus faibles. Au 24/06/18, les prix sur le marché étaient les suivants : 385€/t pour le tourteau de soja, 263€/t pour le tourteau de colza et 397€/t pour le tourteau de lin (Prix marché au 24/06/2019).

Compte tenu des enjeux cités plus haut, de nombreux essais ont été réalisés afin de remplacer entièrement ou partiellement le tourteau de soja dans la ration des vaches laitières. Parmi ceux-ci, un essai sur le lupin réalisé au CRA-w (Froidmont, 2013) a montré que cet aliment, en substitution complète du tourteau de soja n'engendre pas de différences au niveau de la production laitière mais peut avoir un effet négatif sur le contenu en matières grasses du lait (TB) lorsqu'il est apporté à plus de 30% de la ration. Selon un autre essai de Brunschwig et al. (2007), le remplacement partiel du tourteau de soja par du tourteau de colza engendre une légère hausse de la production laitière et du contenu en matières azotées (TP) du lait mais diminue cependant le TB. Ce constat est le même lorsque l'on compare le tourteau de soja au tourteau de colza fermier (riche en matières grasses). La production de lait et le TP augmentent alors que le TB chute (Brunschwig et al., 2006). Le tourteau de tournesol en remplacement du tourteau de soja aurait un effet positif sur la production et les taux (Lamy et al., 2002).

Les concentrés riches en lipides comme le lin ont un intérêt en début de lactation lorsque la vache mobilise ses réserves corporelles pour couvrir ses besoins de production mais aussi pour modifier le profil en acides gras du lait (Hoden et al., 1991; Brunschwig et al., 1996; Viturro et al., 2013).

2.2.1.4. *Les critères de rationnement*

De nombreux critères existent afin d'optimiser une ration mais aussi pour gérer au mieux la production laitière. Par exemple, selon Rickaby (1979) et Devries (2009), la matière sèche de la ration totale mélangée ne peut pas être inférieure à 40%, sous risque de provoquer une modification des fermentations ruminales et donc une diminution de l'ingestion. Par ailleurs, cela permet aussi de diminuer le tri de la ration par les vaches.

Amidon dans la ration

L'amidon contenu dans la ration est un facteur important. En effet, c'est avec l'amidon qu'il est possible de densifier les rations des vaches laitières et d'apporter beaucoup d'énergie pour faire du lait. Cependant, un trop grand apport d'amidon provoque un déséquilibre dans le rumen. En effet, l'amidon induit un déséquilibre au sein de la flore microbienne du rumen avec une disparition des bactéries cellulolytiques au profit des bactéries amylolytiques. Cet effet est indépendant de la baisse de pH observée après une forte ingestion d'amidon. Le niveau d'amidon à ne pas dépasser dans une ration varie selon les auteurs mais tourne aux alentours de 25-30% de la quantité totale (Peyraud et al., 2006; De Brabander et al., 2007). Plus précisément, selon Sauvant et al. (1984, 1994, 1999), l'amidon ingéré peut aller jusqu'à 25% pour des vaches très hautes productrices s'il est distribué en association avec suffisamment de fibres dont la longueur est supérieure à 4mm. Dans le cas contraire il ne doit pas dépasser 20%. De l'autre côté de l'Atlantique, les recommandations sont différentes avec un niveau optimal de 25% d'amidon dans les ration et un minimum de 21% (Hutjens, 2007). Enfin, il existe deux types d'amidon que sont les amidons rapides et les amidons lents. Les amidons rapides se dégradent très vite dans le rumen et sont donc accessibles aux micro-organismes. Ils sont principalement contenus dans le blé ou l'orge. La part d'amidon digérée dans le rumen ne doit

pas excéder 20% de la MS de la ration (Sauvant et al., 1999). A l'inverse, l'amidon lent sécurise les fermentations ruminales. De plus, cet amidon va être rendu disponible à la vache car il sera digéré dans l'intestin (Sauvant et al., 1994). Cependant, lorsque l'amidon est présent en trop grande quantité dans l'intestin, celui-ci est perdu car le glucose est préférentiellement absorbé par les parois intestinales au détriment de l'amidon. Une trop grande quantité d'amidon dans les intestin est donc perdue (Huntington et al., 1986).

Les fibres dans la ration

Les fibres contenues dans la ration peuvent être représentées par le contenu en NDF. Cette valeur correspond donc au contenu en cellulose, hémicellulose et lignine de la ration. Selon Cuvelier et al. (2005), la teneur minimum en NDF dans la ration est idéalement supérieure à 30%. Cependant, le Nation Research Council (2001) recommande 25% de NDF dans la ration des vaches laitières dont 19% doivent être apportés par les fourrages.

Ensuite, la teneur en cellulose qui est une part des NDF peut aussi être un critère de rationnement. La quantité idéale de cellulose dans la ration est d'au moins 18% de la ration selon Cuvelier et al. (2005), pour éviter un manque de structure, ce qui aurait des conséquences diverses comme le manque de rumination, une chute du taux butyreux et une possible acidose.

Ensuite le dernier critère de fibrosité est la valeur de structure présentée au point 2.2.1.1.. La valeur minimum de la ration est de 1 (Cuvelier et al., 2005).

Matières grasses dans la ration

Selon Wattiaux et al. (1995), le pourcentage de matières grasses dans une ration se trouve idéalement autour de 2 à 4%. Au-delà de 8%, des effets négatifs sont observés sur les fermentations ruminales car les acides gras vont s'accrocher aux micro-organismes du rumen et donc empêcher le bon déroulement des fermentations des hydrates de carbones fibreux. De plus, un apport élevé en acides gras longs réduit la synthèse d'acides gras à courtes et moyennes chaînes dans le pis avec une conséquence négative sur le contenu en matières grasses du lait. Selon Cuvelier et al. (2005), la matière grasse dans la ration ne doit pas excéder 5%.

2.2.1.5. Bilan des besoins et possibilités

Le tableaux 3 suivant reprend les besoins en VEM et DVE sur base des calculs présentés par (De Brabander et al., 2007), pour une vache de 650 kg avec différents niveaux de production sur une lactation de 305 jours.

Il apparaît donc ici qu'au plus le niveau de production est élevé, au plus la ration doit être composée d'éléments riches pour satisfaire les besoins énergétiques et protéiques de l'individu

<i>Production annuelle (kg de lait)</i>	<i>8000</i>	<i>9000</i>	<i>10000</i>
<i>Production moyenne (kg/jour)</i>	26,2	29,5	32,8
<i>Capacité ingestion (kgMS)</i>	20,2	21,3	22,4
<i>Besoins en VEM/kgMS</i>	876	907	935
<i>Besoins en gDVE/kgMS</i>	75	80	85
<i>DVE/kVEM</i>	85,7	88,7	91,4

Tableau 3: Besoins énergétiques et protéiques moyens des vaches laitières en fonction de leur niveau de production. Source : Adapté des calculs de De Brabander et al. (2007)

(935VEM/kgMS et 85gDVE/kgMS pour une vache produisant 10 000kg de lait sur une lactation alors qu'une vache produisant 9 000 kg de lait voit ses besoins diminuer de 3% en VEM/kgMS mais de 6% en gDVE/kgMS). En outre, au plus une vache est productive, au plus la quantité de gDVE/kVEM doit être élevée.

En comparaison avec les valeurs présentées dans les tableaux 1 pour les fourrages et 2 pour les concentrés, il apparaît qu'il n'est pas possible de nourrir des vaches laitières hautes productrices seulement à partir de fourrages tels que les ensilages d'herbe et les ensilages de maïs. Pour concentrer la ration afin de répondre aux besoins, il est nécessaire d'utiliser des aliments concentrés comme les tourteaux de soja ou encore le blé décrits plus haut (voir 2.2.1.3.). Cette nécessité de recourir aux concentrés conditionne l'autonomie alimentaire des exploitations agricoles (Paccard et al., 2003).

2.2.1.6. L'autonomie alimentaire

L'autonomie alimentaire d'une exploitation peut être définie comme la part des aliments produits sur l'exploitation par rapport à la totalité des aliments utilisés pour nourrir le cheptel. L'autonomie alimentaire permet aux exploitants d'être moins vulnérables face à la volatilité des prix du marché et par ailleurs, limite les coûts alimentaires du cheptel. L'autonomie alimentaire peut se raisonner sur différentes échelles telles que sur la ferme ou encore au niveau d'une région. Par exemple, un élevage peut ne pas être autonome par productions végétales sur la ferme mais utiliser des coproduits provenant de la région autour de l'exploitation. Ensuite, il existe différents types d'autonomie : massique, énergétique et protéique. Dans le premier cas, c'est la quantité (en kgMS) d'aliments qui est prise en compte. Pour l'autonomie énergétique, c'est la quantité d'énergie apportée par les aliments qui est considérée en UFL pour le système français ou en VEM ici. Enfin l'autonomie protéique reprend les quantités de protéines apportées par les aliments et peut être exprimée en matière azotée totale (MAT) (Rouillé et al., 2014). Dans les systèmes d'exploitation pris en compte dans ce travail, le niveau d'autonomie de base est assez élevé avec une production des fourrages au sein même de l'exploitation. En effet, l'autonomie massique globale des exploitations laitières françaises atteignait 86% ce qui s'explique par le fait que les élevages restent très liés au sol. Par contre, les niveaux d'autonomies énergétique (82%) et protéique (71%) présentent des valeurs plus faibles. Néanmoins, il existe des variations entre les systèmes. Ainsi, les exploitants qui utilisent beaucoup d'herbe dans l'alimentation de leurs animaux sont plus autonomes en concentrés protéiques que les systèmes basés sur le maïs. De plus, le niveau global d'autonomie fourragère reste semblable dans tous les systèmes d'exploitations, les leviers d'actions sont donc axés sur les concentrés et sur la production de fourrages de haute qualité (Paccard et al., 2003; Rouillé et al., 2014).

Premièrement, l'herbe étant le fourrage le moins cher à produire et aussi le plus équilibré, elle entre en compte dans l'optimisation de ces trois types d'autonomie. Il paraît donc essentiel de la valoriser au mieux en faisant pâturer les vaches efficacement (Brocard et al., 2018). En effet, de nombreuses études Huneau et al. (2013) et Brocard et al. (2017, 2018) montrent que le coût alimentaire des vaches au pâturage peut diminuer jusqu'à 100€/1000L de lait en comparaison avec une ration totale mélangée à l'auge durant la période hivernale. La principale économie réalisée porte sur la diminution des quantités de concentrés (jusqu'à 2,8kg/j.vl). Le second

avantage est une diminution des frais sanitaires avec un effet positif du pâturage sur la locomotion des animaux par exemple.

La pousse de l'herbe est le facteur le plus déterminant dans l'optimisation du pâturage. En effet au plus l'herbe est jeune, au plus elle est digestible et est riche en valeurs nutritives (1000 VEM/kgMS, 20% de MAT, 95gDVE/kgMS). La sortie précoce des animaux au pâturage permet de réguler au mieux la pousse de l'herbe et d'anticiper la forte croissance observée au mois de mai. Ensuite, une entrée des animaux dans une parcelle où la hauteur d'herbe se trouve aux alentours des 15cm semble être un bon compromis entre la qualité et la quantité alors que la hauteur de sortie préconisée se situe entre 5 et 7 cm. La hauteur de sortie est dépendante de la hauteur d'entrée et de la densité de la parcelle (Baumont et al., 2012; Crémer et al., 2012; Crémer, 2015a).

Ensuite, la qualité des fourrages utilisés peut aussi affecter le niveau d'autonomie. La première étape pour diminuer l'achat d'aliments concentrés c'est la production de fourrages de haute qualité (Delaby et al., 2009). Ainsi, en complément des fourrages habituellement produits comme l'herbe ou le maïs, on peut retrouver des cultures de méteils, des associations de cultures (Coquil et al., 2009) ou encore des dérobées (Projet PROTECOW, 2018a). Par exemple, Rouillé et al. (2018) ont identifié que l'utilisation de l'ensilage de luzerne en substitution partielle à l'ensilage de maïs peut aussi augmenter le niveau d'autonomie de l'exploitation sans en diminuer les performances zootechniques.

L'implantation de cultures de protéagineux est également une solution. Parmi ces cultures, il y a le pois, les féveroles, le lupin, la vesce, les pois chiches mais aussi la culture locale du soja (Carrouée et al., 2003). Selon une étude de Froidmont (2013), le lupin peut être récolté comme culture immature en mélange avec un ensilage de maïs. La conclusion de cette étude est que l'ensilage mixte permet de diminuer en partie la quantité de concentrés qui doit être apportée aux vaches en production.

L'utilisation de coproduits issus de l'industrie agro-alimentaire joue sur l'autonomie au niveau régional. L'avantage de ces sous-produits est leur bonne valeur nutritive mais aussi leur prix plus faible par quantité de matière sèche. Un exemple parmi d'autres est le soluble de blé produit en Wallonie avec 1137VEM / kgMS, 134gDVE/kgMS et 66gOEB/kgMS pour un coût de 185€/tMS comparativement au tourteau de soja (428€/tMS) (Les prix sont donnés par les nutritionnistes actifs sur la Wallonie) (Lessire et al., 2014).

Toujours dans une optique d'autonomie régionale, le tourteau de colza est un aliment intéressant en substitution du tourteau de soja comme le montre l'étude menée par Tisserand (2001). Un mélange de pois et de tourteau de colza permet de diminuer le coût d'achat des aliments concentrés achetés (+0,20€/kg). Ensuite, on retrouve le maïs qui peut être récolté sous forme de grains (Carpentier, 2015) ou l'orge (Rouillé et al., 2014) pour nourrir les vaches laitières. L'épeautre peut être utilisé pour le jeune bétail (Chambre d'agriculture de la Somme, 2009).

2.2.1.7. L'alimentation de précision

Selon une étude de Chanteloube et al. (2015), les éleveurs se mettent à la recherche d'outils qui permettent de maximiser l'efficacité alimentaire et considèrent désormais celle-ci comme un

enjeu pour l'avenir. L'optimisation de la ration en fonction des besoins des animaux est dès lors un objectif majeur dans les exploitations.

Comme expliqué par Peyraud (n.d.), le principe de l'alimentation de précision est le suivant. A partir des caractéristiques de chaque animal (production, âge, ...) il est possible de modifier les quantités reçues par les animaux, et ce, de manière individuelle. Dans l'étude citée par Peyraud (n.d.), une telle pratique a permis d'augmenter l'efficience d'utilisation des protéines mobilisables de 10% par rapport à un scénario où les quantités d'aliments ne sont pas ajustées. Selon Meijer et al. (2010), l'alimentation de précision peut aussi passer par la réponse de la production laitière en fonction des concentrés le but étant d'optimiser la quantité de lait produit pour un coût de concentrés optimal. Cette technique permet aussi de gérer encore plus précisément les vaches car des individus peuvent réagir différemment face à un même apport de concentrés.

Ainsi, de plus en plus d'éleveurs se tournent vers l'alimentation de précision en s'équipant d'outils leur permettant d'ajuster les quantités d'aliments distribués aux vaches laitières (Bach et al., 2017). Parmi ceux-ci, on peut citer les mélangeuses, les DAC, ou encore les robots de traite. En pratique cela permet d'ajuster au mieux l'alimentation en fonction du niveau de production. Les mélangeuses permettent de diminuer le tri des aliments et de prévenir voire maîtriser certaines maladies métaboliques. Wand (2008), André et al. (2010) et Tremblay et al. (2016) montrent que cette méthode d'alimentation de précision est un avantage mais doit être surveillée car les animaux recevant une grande quantité de concentrés ont une tendance à gaspiller et cela peut représenter une perte.

2.2.2. Gestion de la lactation

2.2.2.1. Paramètres de la courbe de lactation

La lactation d'une vache laitière est caractérisée par deux grandes phases que sont la phase ascendante également appelée début de lactation (montée de la production jusqu'au pic de lactation) et une phase descendante (du pic de lactation au tarissement) (Delage et al., 1953). Cette deuxième phase correspond à la période au cours de laquelle la production diminue peu à peu.

Le début de lactation, (4^{ième} à 8^{ième} semaine) est particulièrement critique car les besoins des animaux dépassent largement les apports puisque la capacité d'ingestion de la vache n'atteint son maximum que vers les 12^{ième} ou 15^{ième} semaines (Drâme et al., 1999). La vache mobilise donc ses réserves corporelles afin de subvenir à ces besoins. Ainsi, comme le montrent Viturro et al. (2013), l'utilisation d'un concentré riche en protéines et en lipides comme le tourteau de lin au cours de cette période permet d'augmenter la quantité de lait produite car les lipides apportés permettent de contrer le déficit énergétique des bovins.

La persistance de la lactation est un paramètre important qui s'apparente au maintien de la production à un niveau élevé durant la phase descendante de la lactation. En effet, selon une étude réalisée par Dekkers et al. (1998), le coût alimentaire est plus élevé lorsque la lactation est peu persistante c'est-à-dire quand la production de lait baisse assez rapidement. Améliorer la persistance de la lactation est important pour deux raisons majeures que sont l'efficacité de valorisation du fourrage (proportion plus grande par rapport aux concentrés dans la ration)

(Sölkner et al., 1987) mais aussi un pic de production étalé sur une plus grande période, ce qui est moins stressant pour les animaux, ceux-ci étant alors moins sujets aux pathologies d'ordre métabolique. La persistance de la lactation dépend de nombreux facteurs tels que la parité, l'alimentation ou encore la génétique. Ainsi, les vaches en première lactation présenteraient une persistance de la lactation meilleure que les vaches ayant vêlées plusieurs fois (Gengler, 1996). Enfin concernant les facteurs alimentaires, certains aliments auraient un effet positif sur la persistance de lactation comme les pulpes de betteraves (Institut de l'Elevage, 2000).

Enfin, il est également important de bien gérer l'alimentation des vaches en fin de lactation afin de contrôler leur état d'embonpoint (Note d'Etat Corporel (NEC) idéale entre 3 et 3.5) (Froment, 2007). Par ailleurs, plusieurs études montrent qu'un tarissement réduit (28-40 jours vs 56-60 jours) diminue plus ou moins fortement la quantité de lait produite lors de la lactation suivante. Cependant, la succession de périodes courtes de tarissement ne cumule pas ses effets sur les lactations suivantes (Weber et al., 2015; Kok et al., 2017).

2.2.2.2. *La production laitière et les taux du lait*

Production du lait et de ses constituants

Tout d'abord, la production de lait est corrélée avec la quantité de glucose disponible. En effet, le glucose est utilisé dans la mamelle pour fabriquer du lactose. Ce lactose est retrouvé en quantités constantes dans le lait de vache, et les cellules du pis ajoutent donc de l'eau pour diluer ce lactose jusqu'à une concentration de 4,5%. Le niveau de production des vaches est donc tributaire de la quantité de glucose présente dans le pis. Celui-ci provient de deux sources majeures que sont les glucoses et amidons digérés et absorbés dans l'intestin mais surtout le glucose reformé à partir du propionate issu des fermentations ruminales des hydrates de carbone non-fibreux (Wattiaux & Armentano, 1995).

La variation de la quantité de matières utiles dans le lait est due à de nombreux facteurs. Premièrement, le facteur le plus important est le niveau de production, ce qui influence la quantité de matières utiles. En effet, pour des taux équivalents, au plus la vache va produire de lait, au plus elle produira de matières utiles (matières grasses et azotées). Cependant, le plus souvent l'augmentation du niveau de production va de pair avec une diminution des taux suite à ce phénomène de dilution. En effet, la matière grasse a besoin d'acétate et de butyrate pour se former alors que la quantité de lait produite est tributaire du propionate (Beckers, 2014).

En ce qui concerne les matières grasses secrétées dans le lait, elles proviennent de différentes sources. Ainsi, la première voie de synthèse de la matière grasse (acides gras à courte chaîne) est liée à l'acétate issu des fermentations ruminales des hydrates de carbone fibreux. Cet acétate est utilisé comme précurseur pour la formation des triglycérides dans le lait. La deuxième voie comprend la moitié des acides gras (essentiellement les acides gras à longues chaînes) contenus dans le lait, ceux-ci étant absorbés dans l'intestin et non dégradés dans le rumen (Wattiaux & Grummer, 1995).

Les protéines retrouvées dans le lait ont des origines différentes. Lorsque les protéines ingérées par l'animal arrivent dans le rumen, elles sont soit dégradées en acides aminés, soit non dégradées et passent donc dans l'intestin, on les appelle alors les protéines by-pass. Les acides aminés résultant de la dégradation des protéines dans le rumen sont ensuite soit dégradés en

ammoniac pour reformer par la suite des protéines microbiennes soit directement utilisés par les micro-organismes du rumen pour reformer des protéines. Dans l'intestin, ces protéines sont de nouveau dégradées en acides aminés qui vont transiter par le foie où une petite partie va être dégradée en ammoniac et en glucose. Enfin, une partie des acides aminés non dégradés dans le foie va être utilisée par la glande mammaire pour former les protéines du lait (Wattiaux, 1995).

Il existe une différence entre les productions de lait en stabulation et au pâturage. En effet, avec le début de la saison de pâturage, le contenu en matières grasses peut augmenter (si ration à base d'ensilage d'herbe et de foin en stabulation), ou diminuer (si ration essentiellement à base de maïs en stabulation) (Hoden et al., 1991). De plus, la quantité de lait produite au pâturage ainsi que le contenu en matières azotées sont généralement plus faibles. Cependant, des concentrés peuvent être utilisés pour contrer cette évolution (Delaby et al., 2003).

Facteur génétique

La variation génétique entre les différentes races de vaches est un facteur important dans la production de lait mais aussi pour la quantité de matière utiles produites. A titre de comparaison, une vache de race Prim'Holstein peut produire jusqu'à 10500 L de lait sur une lactation avec des taux butyreux et protéiques respectivement à 39,7g/L et 32g/L alors que d'autres races comme la Normande produisent moins de lait (+7500 L) mais avec des taux supérieurs (42,9 de TB et 34,5 de TP) (France Génétique Elevage, 2011).

Stade de lactation

Parmi les facteurs en lien direct avec l'animal, on peut citer le stade de lactation. En effet, l'évolution des quantités de matières grasses et protéiques du lait est inverse par rapport à de la production, c'est-à-dire que les taux sont assez hauts au tout début de lactation et diminuent jusqu'au pic de lactation (+ 50JEL) puis augmentent de nouveau jusqu'au tarissement (Coulon et al., 1991).

Facteurs alimentaires

Parmi les facteurs alimentaires, la ration de base est très importante car d'un point de vue alimentaire, certains fourrages sont plus propices à faire du lait et des taux. Par exemple, Hoden et al. (1991) et Paccard et al. (2006) montrent que dans le cas d'un troupeau au pâturage, la complémentation par de l'ensilage de maïs provoque toujours un effet bénéfique sur la quantité de matières grasses produite dans le lait. En effet, l'orientation des fermentations du rumen est alors propice à la création d'acide butyrique, celui-ci étant favorable à la synthèse de matières grasses dans le lait. Par contre, lorsque la proportion d'amidon augmente dans le maïs (jusqu'à 50%), c'est une baisse des taux butyreux qui est constatée. Par ailleurs, l'utilisation d'herbe ensilée ou sous forme de foin en plat unique diminue systématiquement la quantité de matières grasses dans le lait en comparaison avec des ensilages de maïs, le tout avec un effet plus faible sur le taux azoté en comparaison à l'effet sur le taux butyreux. En ration mixte, composée d'herbe et de maïs, l'effet sur les taux n'est pas observé. De même, la méthode de récolte et de conservation de l'herbe, si elle est récoltée au même stade, n'aurait pas d'effet sur les taux dans le lait (Demarquilly et al., 1998). Selon Phipps et al. (1992), l'usage d'ensilage de céréales immatures n'engendrerait pas ou peu de différence de production par rapport à un ensilage de maïs alors que les TB et TP ont tendance à augmenter. Cependant, un autre essai réalisé en France (Le Gall et al., 2008) montre que l'ensilage de maïs reste plus lactogène bien que les

taux sont plus élevés avec l'ensilage de céréales immatures. Par ailleurs, les betteraves fourragères auraient un effet positif sur le contenu en matières grasses et en protéines dans le lait par la production d'acide butyrique qui est un précurseur de la matière grasse dans le lait (Hoden et al., 1988; Dulphy et al., 2000). Enfin, Sauvant et al., 1990 ont montré que lorsque la fibrosité de la ration diminue et donc aussi le temps de mastication, il en résulte une diminution du TB allant jusque 3g/kg de lait. De plus, lorsque la taille moyenne des particules dans la ration diminue, le TB diminue aussi.

Concernant les coproduits, ils présentent des impacts différents selon leur utilisation. En effet, l'utilisation de drèches de brasserie comme complément n'affecterait pas le niveau de production sauf si elles sont utilisées en substitution du tourteau de soja, ce qui engendre alors une diminution du lait produit car cela reste un aliment moins riche (Heuzé et al., 2017). L'apport de pulpes de betteraves dans la ration a également un effet positif sur la production de lait et sur le taux protéique mais diminuerait le taux butyreux (Institut de l'Elevage, 2000).

Une étude de Chassaing et al. (1994) a mis en évidence que l'ordre de distribution des composés de la ration n'influence ni la production, ni les taux butyreux et protéiques.

Deuxièmement, le type de concentrés énergétiques utilisé a une influence sur la production de matière grasse dans le lait. Ainsi des concentrés lipidiques peuvent avoir un impact négatif (Focant et al., 2010; Hurtaud et al., 2010). Si les lipides sont protégés, ils peuvent dans certains cas améliorer la quantité de matières grasses sécrétée dans le lait notamment en modifiant le profil en acides gras saturés mais aussi en oméga-3 (Hoden et al., 1991; Brunschwig et al., 1996; Viturro et al., 2013). Dans le cas des concentrés énergétiques à base d'amidon, il reste important de dissocier les amidons lents et rapides. Ainsi, selon Sauvant et al. (1994) les concentrés à base d'amidon lentement dégradable (=maïs) n'auraient pas d'effets négatifs sur les taux alors que les amidons rapidement dégradables (= froment, orge) auraient un effet négatif accru sur les taux.

Urée du lait

L'analyse de l'urée du lait permet d'apprécier le ratio énergie/protéines dans la ration (Oltner et al., 1985; Carlsson et al., 1994; Block et al., 1998). Ce taux dépend néanmoins de très nombreux facteurs comme la ration, l'année mais aussi le moment de l'année (Dufrasne et al., 2013). Lorsque le taux d'urée est élevé, c'est le signe d'une trop grande quantité de protéines dans la ration ou d'un manque d'énergie, l'azote en excès dans le rumen étant dès lors éliminé sous forme d'urée dans l'urine et dans le lait. A l'inverse, un taux d'urée faible est le signe d'un manque d'azote dégradable dans le rumen, ce qui pénalise le bon fonctionnement des micro-organismes (Block et al., 1998). Ainsi d'après cette étude, le taux d'urée est plus élevé lorsque les animaux sont au pâturage car l'herbe est riche en azote fermentescible. Le niveau d'urée idéal dans le lait se situerait entre 180 et 250 mg/litre de lait (Kohn et al., 2010; FIDOCL, July-3-2019).

2.2.2.3. Gestion de la reproduction

Dans l'ordre chronologique de la vie d'une vache, le premier paramètre lié à la fois à la reproduction et à la production laitière est l'âge au premier vêlage. Froidmont et al. (2013) exposent ainsi le fait que l'âge au premier vêlage est un levier d'amélioration pour les élevages

laitiers. En effet, en comparant les performances des génisses selon leur âge au premier vêlage, ils constatent que pour la première lactation, les résultats étaient comparables pour des vêlages entre 24 et 30 mois alors qu'un âge au premier vêlage à 21 mois diminuerait la production de même qu'un âge plus élevé (39 mois). Lors de la deuxième lactation, c'est aussi le groupe de génisses ayant vêlé à 24 mois qui s'est détaché du lot avec une production plus élevée en kg de lait, en matières grasses et en protéines. Par ailleurs, les vêlages d'automne maximisent la productivité des génisses lors de la première lactation comparée aux vêlages d'autres saisons. L'intérêt d'un âge au premier vêlage faible est donc réel car il permet de diminuer les frais liés à l'élevage des génisses comme les aliments mais aussi le logement ou les frais d'élevages divers.

L'intervalle entre deux vêlages est également un facteur important dans la rentabilité des élevages laitiers. Bien que l'efficacité économique des exploitations ne soit pas toujours corrélée à l'intervalle vêlage, Dalcq et al. (2014) ont montré qu'en cas d'intervalle vêlage plus long (intervalle subi et non voulu par l'éleveur), un accroissement des frais liés à la reproduction est observé. À l'inverse, en cas de persistance de lactation élevée ou d'intensification de la production, l'optimum économique se déplacerait vers un intervalle plus long (Dekkers et al., 1998; De Vries, 2006). Cependant, il faut également souligner qu'un intervalle plus long engendre un renouvellement plus lent des animaux pouvant avoir pour conséquence la nécessité d'acheter des animaux ou inversement de devoir garder en production des animaux avec des performances faibles (Dalcq et al., 2014).

2.2.3. Logements et bien-être

Une étude réalisée par Bach et al. (2008) montre que malgré une alimentation semblable et la même base génétique, les performances des vaches en lactation peuvent varier très fortement, ce qui démontre toute l'importance des facteurs non alimentaires.

2.2.3.1. Gestion de l'alimentation

L'étude réalisée par Bach et al. (2008) a mis en évidence que les animaux qui ont un surplus de nourriture à l'auge et laissent donc des refus, produisent plus de lait que les animaux qui sont nourris avec la quantité exacte. De plus, si la ration alimentaire est repoussée devant l'auge plus régulièrement, cela augmente aussi la production de lait en stimulant l'ingestion.

2.2.3.2. La surpopulation

Parmi les facteurs non-alimentaires, la surpopulation d'une étable peut avoir de multiples effets sur les performances.

Ainsi selon Bach et al. (2008), un nombre de logettes suffisant (voire en excès) à une influence positive sur la production de lait alors qu'en situation inverse, cela engendre des conséquences négatives sur la reproduction des vaches et donc se marque par des pertes économiques. De plus, un manque de place dans l'aire de couchage diminue le temps de repos des vaches et donc de rumination, avec de possibles conséquences comme l'acidose (Albright, 2010).

Ensuite, le nombre de place à l'auge est aussi déterminant. En effet, selon Nordlund et al. (2006), l'ingestion des vaches dépend fortement de ce critère. Ainsi, plus les cornadis sont chargés, moins les animaux vont ingérer à l'auge. De plus, les animaux qui n'ont pas un accès à l'auge avec le reste du troupeau ont tendance par la suite à s'alimenter plus rapidement en

faisant de plus petits repas avec des possibles effets négatifs sur le pH du rumen et sur la valorisation des aliments (Hulsen et al., 2014). L'accès à l'auge doit donc être suffisant ($> 0,6$ m/ vache)(Grant et al., 1995).

2.2.3.3. Autres facteurs de bien-être

Le pâturage joue un rôle important sur la boiterie et sur la santé générale du troupeau à laquelle est associée une plus faible mortalité (Thomsen et al., 2007; Olmos et al., 2009; Haskell et al., 2010; Burow et al., 2013). Cependant, Huneau et al. (2013) ont observé que lorsque l'accès au pâturage est obligatoire, certains animaux décident alors de rester debout dans le couloir d'alimentation et ce durant de longues heures ce qui est négatif pour les pattes et conduit aux boiteries. Bien que selon Yunta et al. (2012) une boiterie légère n'affecte pas la production laitière ni la composition du lait, de nombreuses études démontrent que cette pathologie peut avoir des impacts importants sur une exploitation. Ainsi Kossaibati et al. (1997), Whay et al. (2003), Bach et al. (2007), Bicalho et al. (2007) et Navarro et al. (2013) ont identifié les conséquences suivantes : pertes économiques dues au traitement, perte en productivité, problèmes de reproduction mais aussi des réformes prématuées. Le déplacement des vaches présentant des boiteries est aussi altéré. L'étude Yunta et al. (2012) présente ainsi que les vaches qui boitent ont tendance à moins se déplacer autour de l'auge, elles se lèvent également moins vite pour aller à l'auge et la quitte plus vite.

2.3. L'environnement

Comme cité dans les enjeux, l'impact sur l'environnement est devenu une question centrale en production animale et tout particulièrement en production bovine (Voir 1.1.3.2.).

Une des composantes principales de l'impact des vaches laitières sur l'environnement n'est autre que la production de gaz à effet de serre (GES) comme le méthane (Doreau et al., 2011). Ce dernier est produit par des Archaea dans le rumen suite à la dégradation des fibres en acétate et en butyrate, ce qui provoque une libération d' H_2 qui est alors éliminé sous forme de CH_4 dans l'environnement (Sauvant et al., 2011) . Ce gaz représente la moitié des GES émis par les ruminants (Doreau et al., 2011). De nombreuses études ont été réalisées afin de limiter la production de méthane chez les ruminants et notamment par le biais de schémas alimentaires spécifiques. Le premier levier concerne le type d'aliments utilisés notamment en privilégiant une ration à base d'ensilage de maïs (Martin et al., 2010) ou de céréales (Moe et al., 2010) à la place des ensilages d'herbe, ce qui aurait un impact positif sur la diminution des émissions de méthane par les ruminants. Ensuite, l'usage des acides gras semble aussi être une possible piste. Ainsi, les études de Giger-Reverdin et al. (2003) et Eugène et al. (2011) ont montré que lorsque la quantité de matière grasse dans la ration est augmentée d'1%, la production de méthane est diminuée d'environ 2% par kgMS ingérée. La nature de l'acide gras ajouté dans la ration joue aussi un rôle. Ainsi la réduction de méthane la plus marquée concerne les acides gras à chaîne moyenne (+8,5%) alors que le lin, permet aussi une diminution de la production de méthane mais plus légère (+5,6%). Enfin, une autre alternative est l'utilisation de plantes présentant des avantages intrinsèques utiles pour lutter contre le méthane. Selon Jayanegara et al. (2012) les tanins, contenus naturellement ou ajoutés à l'alimentation des vaches laitières peuvent avoir une certaine efficacité pour lutter contre la production de méthane car ils réduiraient la

population d'Archaea (Popova et al., 2011). Les saponines diminueraient la dégradation des protéines tout en favorisant la synthèse de protéines microbiennes. (Doreau et al., 2011).

Ensuite, le mode de production a aussi un impact sur le rejet de GES. En effet, de nombreuses études montrent que les prairies présentent de nombreux avantages environnementaux. Ainsi, Benoît et al. (2004) ont identifié qu'elles ont un effet positif sur le lessivage par rapport aux terres de cultures. Selon (Soussana et al., 2010) les prairies jouent un rôle très important dans la séquestration du carbone, et permettent alors d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre des systèmes agricoles. De plus, elles rendent de nombreux services écosystémiques comme l'amélioration de la gestion des eaux ou la conservation de la biodiversité (Amiaud et al., 2012). La fertilisation des prairies joue un rôle important dans le cycle de l'azote dans le sol. Ainsi, au plus la prairie est fertilisée, au plus les restitutions des animaux sont élevées, principalement sous forme d'urée. Alors que, d'autre part, le niveau de fertilisation de la prairie ne joue pas un rôle très important sur la digestibilité ni sur l'ingestion d'herbe par les vaches même si une fertilisation légère permet d'augmenter le contenu en MAT de l'herbe (Peyraud, 2000). Les autres leviers permettant de réduire l'impact écologique liés aux prairies sont l'utilisation de légumineuses et la valorisation des engrains de ferme (Vérité et al., 2000; Dollé et al., 2013).

Par ailleurs, il est aussi possible pour les éleveurs de diminuer leur empreinte environnementale en réfléchissant la ration distribuée aux animaux (Focant et al., 2017). Selon Vaudatin et al. (2017), la production de fourrages de bonne qualité et une adaptation de la quantité de concentrés utilisée permet de diminuer l'impact environnemental en comparaison avec une production de fourrage de moindre qualité. De plus, l'étude de Focant et al. (2017) montre qu'il est possible de diminuer la production de méthane et de diminuer les rejets azotés (ce qui en augmente l'efficience) via une ration à base de colza, d'orge et de graines de lin extrudées. L'élevage de bovins offre aussi la possibilité de valoriser des produits qui sont des déchets de l'industrie agro-alimentaire (Lessire et al., 2014). Les drêches de brasserie peuvent être un problème pour l'environnement si elles sont laissées à l'abandon à l'extérieur de l'usine. Leur utilisation pour l'alimentation animale permet d'éviter les pollutions, notamment celle des eaux avoisinant les brasseries (Crawshaw, 2003).

Il existe dès lors de nombreuses possibilités pour les agriculteurs de réduire leur empreinte environnementale. Les leviers d'actions existent pour l'alimentation autoproduite mais aussi pour la gestion des achats d'aliments et ainsi que la gestion des engrains de ferme.

2.4. Conclusion

La conclusion de cette revue bibliographique est la suivante : il existe de très nombreuses marges de manœuvre pour améliorer les résultats technico-économiques des exploitations en Wallonie.

Tout d'abord, il est possible d'augmenter l'autonomie des exploitations grâce à la production de fourrages de bonne qualité. Cela permet d'optimiser les résultats économiques car la production de fourrages de très haute qualité est synonyme de réduction des achats de concentrés. En effet, dans le cas de vaches laitières hautes productrices, présentant des besoins élevés, une production de fourrages de qualité permet diminuer la quantité de concentrés à

apporter pour répondre à ses besoins des animaux, ce que les fourrages autoproduits utilisées seuls ne sont pas capables de faire. Cela a un impact négatif sur l'autonomie alimentaire.

Ensuite, il est aussi possible d'améliorer les résultats technico-économiques d'une exploitation par la valorisation du lait. Dans ce cas, il faut viser une plus grande richesse de celui-ci, en augmentant son contenu en matières grasses et protéines par exemple.

Le pâturage est aussi une solution qui permet de diminuer le coût d'alimentation des vaches laitières. Cependant, pour valoriser au mieux cette ressource, il est nécessaire de ne pas la gaspiller en gérant au mieux la quantité d'herbe disponible.

Enfin, l'impact de l'élevage sur l'environnement fait partie des enjeux actuels. Pour diminuer cet impact, des solutions d'ordre alimentaire existent comme la réduction de l'utilisation des concentrés ou l'utilisation d'aliments qui réduiraient la production de méthane, ce qui rejoint les objectifs d'autonomie.

3. Objectif du travail

Ce travail, réalisé dans le cadre du projet PROTECOW, est basé sur 3 élevages laitiers wallons. Pour chacun d'entre eux, une analyse a été effectuée afin d'identifier quels étaient les leviers mobilisables pour améliorer les performances technico-économiques de chaque exploitation. Le principal levier qui fait l'objet de ce travail est l'alimentation car c'est celui qui permet la réponse la plus visible et la plus rapide de la part des animaux sur un laps de temps aussi court que celui pris en compte pour la réalisation de ce TFE. L'alimentation représente le poste essentiel des coûts opérationnels, et sur lequel l'éleveur peut avoir une influence.

Ainsi, la première phase du travail a d'abord été constitué d'un état des lieux des pratiques de rationnement et de là, des propositions d'amélioration ont été suggérées en concertation avec les experts nutritionnistes du projet PROTECOW qui sont Eddy DECAESTEKER (INAGRO, Flandre occidentale) et Benoît VERRIELE (ACE, Hauts-de-France).

Le suivi réalisé étant fonction de l'amélioration suggérée, il fut différent selon chaque ferme. Les études réalisées au sein de chaque ferme sont donc les suivantes :

- Exploitation A : Suivi du pâturage afin d'optimiser l'ingestion et la valorisation de l'herbe par les vaches ainsi que de maintenir des taux élevés dans le lait.
- Exploitation B : Modification des pratiques de rationnement en ce qui concerne la quantité et la nature des concentrés distribués. L'objectif était d'augmenter la matière grasse du lait.
- Exploitation C : Adaptation des quantités de concentrés distribuées au robot selon les niveaux de production des vaches laitières.

4. Matériel et méthode

Le chapitre consacré au matériel et à la méthodologie est divisé en plusieurs parties étant donné la diversité des suivis réalisés. Ainsi, dans cette partie sera présentée la méthodologie commune appliquée dans toutes les exploitations. Un point méthodologique plus spécifique sera expliqué dans la partie du travail consacrée à l'élevage en question.

4.1. Choix des exploitations

Les exploitations étudiées dans le cadre de ce travail sont trois des six exploitations wallonnes suivies dans le cadre du projet PROTECOW.

4.2. Méthodologie commune aux exploitations

Ce travail s'est déroulé en trois phases distinctes. Le début du travail a été consacré à une prise de données puis à l'analyse de ces dernières afin de réaliser un diagnostic complet de l'exploitation. Comme expliqué en amont, l'objectif était de déterminer les points à améliorer dans l'exploitation. Suite au diagnostic réalisé dans cette première phase, des scénarios d'amélioration ont été élaborés, proposés aux éleveurs puis mis en place. Enfin, un suivi et une analyse du changement adopté ont été effectués.

4.2.1. Diagnostic

4.2.1.1. Historique de la ferme

Récolte de données et premier passage en fermes

Un entretien avec les exploitants fut mené lors du premier passage en ferme afin d'en apprendre plus sur l'historique et les caractéristiques de l'exploitation mais aussi sur les objectifs à court et moyen termes des éleveurs. Pour ce faire, un questionnaire fut utilisé. Le but de cet entretien était de mieux cerner les volontés et attentes des exploitants pour leur proposer par la suite le scénario le plus approprié à leur exploitation.

Ce premier passage a également permis la récolte des données nécessaires au diagnostic. Selon leurs disponibilités, les informations récupérées sont les suivantes :

- Les bilans d'exercices comptables depuis 3-4ans
- Les fiches de rations fournies par les nutritionnistes ou réalisées par les éleveurs (3-4ans)
- Les analyses des fourrages et aliments présents sur l'exploitation depuis 3-4ans
- Les bilans du comité du lait
- Les données cheptel (inventaire, production, ...)
- Les fiches culturales des cultures présentes sur l'exploitation
- ...

Les différentes données récoltées ainsi que leurs sources sont présentées en annexe 3.

Objectifs de l'analyse des données récoltées

A travers l'analyse des productions laitières annuelles mesurées sur ces trois dernières années, l'objectif est de ressortir l'évolution globale de la production de lait au sein de l'exploitation.

Ensuite, les logiques de rationnement appliquées dans l'exploitation sont mises en évidence grâce aux bilans des différentes rations élaborées par les sociétés d'alimentation et/ou les

nutritionnistes présents sur l'exploitation. En effet, ces comptes-rendus donnent des informations sur les grandes caractéristiques des rations comme les contenus en fibres, amidon, protéines, ainsi que les types d'aliments utilisés (fourrages, coproduits et concentrés) ou encore sur le coût des rations.

De plus grâce à ces données, il est possible de calculer les niveaux d'autonomie et d'efficience azotée au niveau de la ration des vaches laitières.

Le calcul de l'autonomie dans ce travail est l'autonomie massique et ne prend en compte que les rations distribuées aux vaches laitières et se calcule comme suit :

$$Autonomie = \frac{kg\ MS\ ingérés\ produits\ sur\ la\ ferme}{kg\ MS\ ingérés\ totaux}$$

Le calcul de l'efficience azotée permet de mettre en évidence la capacité d'un troupeau laitier à transformer la protéine ingérée par l'alimentation en protéines du lait (Millet et al., n.d.). La formule suivante permet de calculer cette efficience est fournie par l'ILVO (Vandaele, 2019):

$$Efficience\ azotée = \frac{\frac{kg\ de\ lait\ produit\ \times\ \% protéines\ du\ lait}{6,37}}{\frac{kg\ d'aliments\ ingérés\ \times\ \% protéines\ de\ la\ ration}{6,25}}$$

Enfin, l'étude du coût de production des cultures fourragères permet de déterminer s'il est intéressant ou non de favoriser l'utilisation d'un fourrage en substitution d'un autre dans l'alimentation des vaches laitières en fonction de leur nature.

4.2.1.2. Situation initiale

Lors du premier passage en fermes, en plus de la récolte des données portant sur l'historique de l'exploitation, différentes données ont été prélevées avec pour but d'analyser les pratiques.

Rationnement

Les prélèvements de rations ont permis d'étudier par la suite sa composition chimique (protocole en annexe 1) mais aussi sa fibrosité grâce au amis Pen State Separator (Protocole en annexe 2). Le but de ces prélèvements était d'étudier la fibrosité de la ration à travers le Penn State Separator mais aussi d'identifier la composition chimique de la ration (NDF, MAT, cellulose, ...). La ration a ensuite été analysée sur base de la production laitière théoriquement permise par cette ration via une feuille de calcul Excel utilisée au CRA-w appelée « PROTERAT ». Pour ce faire, cet outil confronte les apports alimentaires en VEM/DVE et les besoins des vaches laitières. Ensuite, le coût de la ration ainsi distribuée est établi selon les prix du marché (à dire d'experts) mais aussi selon les factures d'achats d'aliments propres à chaque éleveur. L'annexe 5 présente les valeurs prises en compte pour les différents aliments.

Bien-être

L'étude du bien-être des animaux dans les exploitations est réalisée via le Welfare Quality®. Ce guide prend en compte les installations du bâtiment (nombre d'abreuvoirs et débit, brosse, capacité des animaux à se coucher, ventilation, ...), mais aussi les paramètres santé de l'animal

(boiteries, zone d'épilations, problèmes respiratoires, état des bouses, écoulements vaginaux, ...) et enfin l'expression du comportement naturel des animaux lié au PICA et à la fuite des animaux face à l'humain.

4.2.2. Crédit de scénarios d'amélioration

Comme expliqué précédemment l'objectif de ce travail est de répondre à un objectif d'amélioration au sein de l'exploitation. Les objectifs et les méthodes de création des scénarios sont propres à chaque élevage et sont présentés dans les parties du travail consacrées aux exploitations.

4.2.3. Suivi et résultats

4.2.3.1. Production laitière

Les sources des données récoltées pour l'analyse des productions laitières diffèrent selon les exploitations et la nature des données (voir annexe 3).

4.2.3.2. Rationnement

Les paramètres étudiés pour le rationnement sont les mêmes que lors de l'étude de la situation initiale (Voir 4.2.1.2.).

4.2.3.3. Valorisation du lait

La valorisation du lait est calculée sur base des prix de facturation par la laiterie INEX au mois de mars 2019. Les prix sont équivalents pour le kilogramme de matières grasses et le kilogramme de matières azotées et à hauteur de 4,2105€/kg. Les prix finaux calculés dans ce travail ne prennent en compte que la production moyenne par vache ainsi que le TB et le TP. Les paramètres liés aux germes, cellules, ... ainsi que les différentes primes ne sont pas prises en compte ici.

4.2.4. DECiDE

Pour chaque exploitation, ce sont deux études de l'impact environnemental qui ont été menées. La première se base sur la dernière année écoulée (du 01-04-2018 au 31-03-2019) et toutes les données récoltées sont encodées dans l'outil. Le deuxième impact est estimé à partir d'un calcul qui prend en compte le changement de stratégie mis en place dans chaque exploitation.

Les détails de chaque simulation sont présentés avec les résultats et la discussion de chaque exploitation.

4.2.4.1. Données requises

Le diagnostic environnemental est réalisé via un programme disponible au CRA-W appelé DECiDE. Cet outil développé par le CRA-w, Air&Climat et Requasud permet de donner une valeur d'empreinte environnementale à une exploitation donnée selon ses consommations, productions et caractéristiques de travail. Plus précisément, les données prises en compte par cet outil sont :

- La typologie de la ferme selon les ateliers des productions animales et végétales présents
- La consommation énergétique, celle-ci pouvant être soit achetée (gaz, chauffage, électricité, eau, ...) ou soit produite (biométhanisation, agro-combustibles, ...)

- L'ensemble du matériel (-15ans) destiné aux ateliers concernés par l'étude environnementale ainsi que les bâtiments et installations (-20ans).
- Le bétail présent ainsi que les mouvements et le type de logement
- La gestion des engrais de ferme (stockage, techniques d'épandage, ...)
- La consommation d'aliments achetés et autoproduits
- Les cultures autoconsommées et cultures de rente (dose de semis, technique culturale, engrais, traitements phytosanitaires, rendements, ...)
- Les MAEC (haies, prairies naturelles, SIE, arbres, ...)
- Les performances du bétail

4.2.4.2. Fonctionnement et hypothèses

Il existe différentes méthodes qui permettent d'étudier l'impact environnemental des exploitations agricole, avec différents niveaux de précisions. Ces niveaux de précisions sont repris par le GIEC et sont exprimés en tiers. Le premier tiers étant une analyse plus globale et peu détaillée alors que le troisième tiers est l'étude la plus poussée. DECiDE se trouverait donc entre les tiers 2 et 3. Les méthodes de calcul utilisées sont basées sur les méthodes identifiées par le GIEC et l'IPPC alors que les données de références pour les calculs sont issues des données wallonnes lorsqu'elles sont disponibles. Les calculs sont les suivants : à chaque valeur entrée dans l'outil, que ce soit un aliment, un travail du sol ou un engrais minéral, l'outil lui attribue une émission de GES basée sur les données du GIEC et de l'IPPC, le plus souvent ramené en équivalent CO₂ (kgCO_{2e}). Le principe est le même pour la consommation d'énergie.

5. Exploitation A

5.1. Matériel et méthode spécifique à cette exploitation

5.1.1. Caractéristiques générales

L'exploitation de type polyculture-élevage avec un cheptel laitier composé d'une soixantaine de vaches en lactation, un cheptel viandeux et quelques cultures de rente (pommes de terre, betteraves) sur une SAU totale de 106,3hectares. En plus de la vente classique du lait à la laiterie, cette exploitation transforme une partie de son lait à la ferme et le commercialise. La traite est réalisée via un robot.

5.1.2. Scénario d'amélioration

Le changement mis en place dans cette exploitation est une optimisation du pâturage. La revue de la littérature ainsi que l'avis des experts a permis de diriger le suivi mais aussi de fixer les objectifs nécessaires le mener à bien.

5.1.3. Suivi et résultats

5.1.3.1. Fréquence des passages en fermes

Après un premier passage en ferme le 15/02/2019 pour récolter les premières données, le suivi dans cette exploitation a commencé le 25/03/2019 pour se terminer le 14/06/2019. Un passage en ferme est prévu tous les 10-15jours, avec quelques exceptions à la demande des exploitants.

5.1.3.2. Mesure des hauteurs d'herbe

Les mesures des hauteurs d'herbe ont été réalisées lors des différents passages en ferme grâce à un herbomètre de la marque JENQUIP. Pour avoir une bonne représentativité de la hauteur moyenne dans la parcelle, les mesures ont été réalisées selon un schéma en zigzag.

La mesure de la hauteur d'herbe moyenne se fait comme suit : avant de commencer la prise de données dans une parcelle, il faut noter la valeur initiale présente sur le quadrant attenant à l'herbomètre. A la fin de la prise de données pour cette parcelle, cette valeur est aussi notée et la hauteur d'herbe se calcule selon la formule :

$$\text{Hauteur d'herbe(cm)} = \frac{\text{Valeur finale quadrant} - \text{Valeur initiale quadrant}}{\text{Nbre mesures} * 2}$$

Durant la première partie du suivi, ces mesures étaient réalisées dans les parcelles qui précédaient théoriquement le passage des vaches ainsi que dans les parcelles qui venaient d'être pâturées. A partir de la mi-mai, toutes les parcelles ayant déjà été pâturées plusieurs fois, les mesures ont été réalisées sur l'ensemble des parcelles disponibles afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble de la disponibilité en herbe et ainsi mieux organiser la rotation.

5.1.3.3. Mesures de la quantité d'herbe disponible

La technique utilisée pour quantifier la quantité de matière sèche disponible dans la parcelle est la technique des quadrats.

Les étapes sont les suivantes :

- Lancer un quadrat de 0.4*0.4 aléatoirement dans la parcelle, avec 3 ou 4 quadrats par parcelles (selon la taille de la parcelle)
- Mesure de la hauteur initiale avec l'herbomètre
- Couper l'herbe à 5cm du sol
- Mesure de la hauteur finale à l'herbomètre

Les échantillons récoltés pour chaque quadrat sont ensuite séchés à l'étuve pour en connaître la matière sèche qui est ensuite moyennées pour représenter la parcelle.

Pour connaître la disponibilité de l'herbe, il a fallu recalculer la quantité d'herbe présente par unité de surface (ici l'hectare) en kilogramme de matière sèche.

$$\text{Disponibilité de l'herbe (en kgMS/ha)} = 1000 \times \left(\frac{10 \times \text{Poids frais}}{0.4 \times 0.4} \right) \times \% \text{ Matière sèche}$$

Cette densité peut être exprimée en fonction de la hauteur d'herbe selon la formule suivante :

$$\text{Densité (en kgMS/ha.cm)} = \frac{\text{Disponibilité en kgMS/ha}}{\text{hauteur initiale} - \text{hauteur finale}}$$

Afin de refléter au maximum l'herbe valorisable pour les animaux, la valeur de 5cm est soustraite à la hauteur d'herbe moyenne dans la parcelle. Cette hauteur de 5cm a été choisie en début d'expérimentation car c'est l'objectif de hauteur de sortie de pâturage choisi par les exploitants et il paraît donc intéressant de quantifier l'herbe disponible en tenant compte de ce paramètre.

$$\begin{aligned} \text{Quantité d'herbe disponible pour les vaches laitières (en kg MS)} \\ = \text{Densité} \times (\text{Hauteur d'herbe totale parcelle} - 5) \times \text{Surface} \end{aligned}$$

Les prairies qui font l'objet de cette mesure sont les prochaines prairies théoriquement pâturées ainsi que la parcelle pâturée le jour de la prise de données.

5.1.3.4. Valeurs alimentaires de l'herbe

Pour chaque parcelle, des échantillons d'herbe (herbe disponible supérieure à 5cm) sont pris aléatoirement ou suivant le plan en zig-zag dans la parcelle. Les échantillons d'herbe provenant des mêmes parcelles sont regroupés afin d'avoir une valeur alimentaire moyenne pour la parcelle. Ensuite pour calculer leurs valeurs alimentaires, les échantillons récoltés suivent le protocole de l'analyse infrarouge et sont analysés sur la base de données relative à l'herbe fraîche.

5.2. Résultats et discussion

5.2.1. Diagnostic

5.2.1.1. Analyses des productions laitières

Le tableau 4 montre l'évolution de la productivité depuis 2016 en reprenant les productions laitières en stabulation et au pâturage.

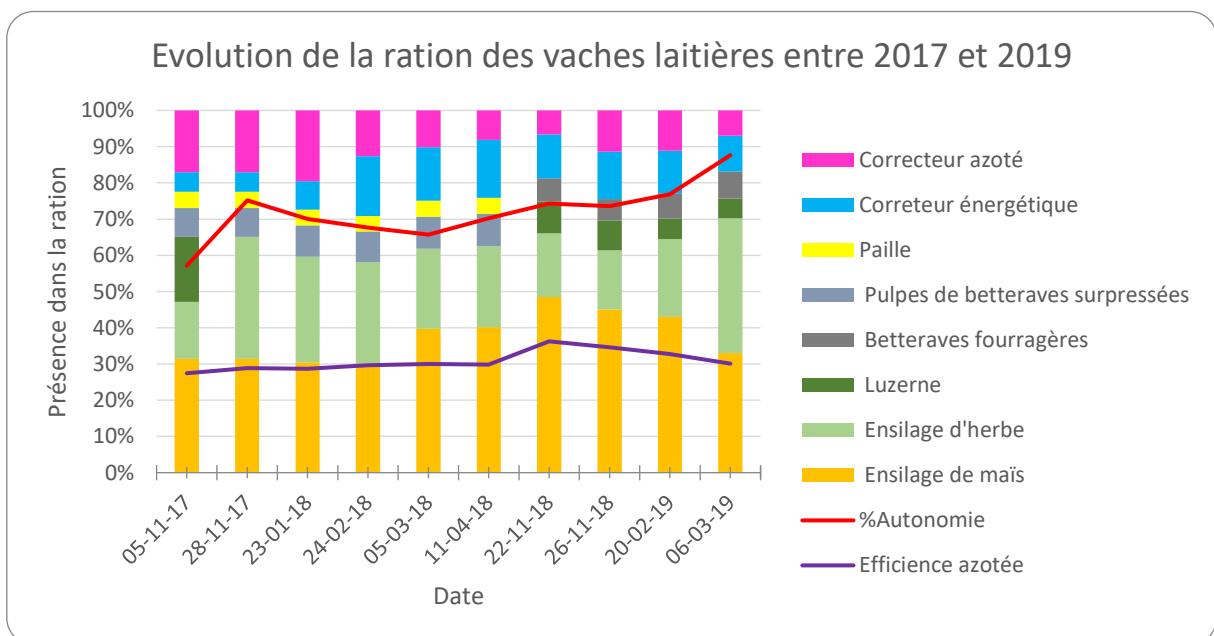
	2016	2017	2018
Lait produit par vache (kg/an)	8 800	8 481	9 257
Lait produit par hectare (kg/haSFPc.an)	14 135	13 183	12 684
TB (g/kg lait)	36,97	36,59	37,67
TP (g/kg lait)	32,24	31,95	32,04

Tableau 4 : Evolution de la production laitière entre 2016 et 2019 - Exploitation A

Le premier constat est que la productivité des vaches laitières a connu une baisse en 2017 puisque la production moyenne annuelle a chuté de près de 300 kg de lait/vl en passant de 8800kg/vl à 8500kg/vl. Par après pour l'année 2018, cette productivité est améliorée avec un niveau de production de 9260 kg/vl. Parallèlement, la productivité par rapport à la superficie fourragère principale corrigée (SFPc) diminue également avec le temps, et passe ainsi de 14 100kg/haSFPc en 2016 à 12 700kg/haSFPc en 2018. Les taux de matières utiles ont connu une légère baisse entre 2016 et 2017 (-0,4g/kg de lait pour le TB et -0,3g/kg de lait pour le TP). Toutefois en 2018, le TB reparti à la hausse avec 37,67g/kg de lait, soit une augmentation de 3%.

5.2.1.2. Analyse des rations

Grâce aux nombreux compte-rendu réalisés par le nutritionniste actif sur l'exploitation, il est possible de dresser un historique précis des rations distribuées. Le graphe 1 reprend ainsi les rations distribuées depuis novembre 2017. La première observation qui ressort de ce graphique est que le type d'aliments utilisés ne varie que très peu à quelques exceptions près. Par exemple, la proportion d'ensilage de maïs varie entre 30% et 50% tandis que l'herbe ensilée ou



Graphe 1 : Evolution de la proportion des différents aliments qui composent la ration entre 2017 et 2018 ainsi que l'autonomie et l'efficience azotée associée - Exploitation A

enrubannée à laquelle on ajoute la luzerne, entre 20% et 50% mais oscille la plupart du temps autour de 30%. A partir du 22 novembre 2018, les betteraves fourragères ont remplacé les pulpes de betteraves surpressées. Cette substitution avait pour objectif d'augmenter les taux dans le lait. De plus, ce remplacement a permis à l'exploitation d'augmenter son niveau d'autonomie sur la ration distribuée aux vaches car la betterave fourragère est produite au sein même de l'exploitation. Sur la même période, la paille présente dans la ration a été substituée par de la luzerne et de fait, la quantité de correcteurs azotés a diminué. La luzerne a été ajoutée à la ration car elle est autoproduite, mais aussi car elle apporte des fibres et de la structure sans pour autant déconcentrer la ration en protéines et énergie puisque sa valeur nutritive est de l'ordre de 750VEM/ kgMS et 80gDVE/kgMS comparativement à la paille de blé 290 VEM/kgMS et 3gDVE/kgMS (Cuvelier et al., 2005).

Par ailleurs, la quantité de concentrés (énergétiques et protéiques) a évolué entre 2017 et 2019. En effet, alors que les correcteurs représentaient parfois jusqu'à 30% des aliments distribués (hiver 2017-2018), cette proportion a diminué pour osciller autour des 20% pour l'hiver 2018-2019.

En lien avec les observations précédentes, il apparaît que le niveau d'autonomie alimentaire pour la ration des vaches laitières augmente également. En début d'hiver 2017-2018, ce niveau atteignait ainsi 60%. En sortie d'hiver 2018-2019, il se dresse désormais à près de 88%. Cette hausse d'autonomie peut aussi s'expliquer par le changement du concentré énergétique distribué au robot qui présente depuis l'hiver 2018-2019 une part de céréales autoproduites (orge) sur l'exploitation.

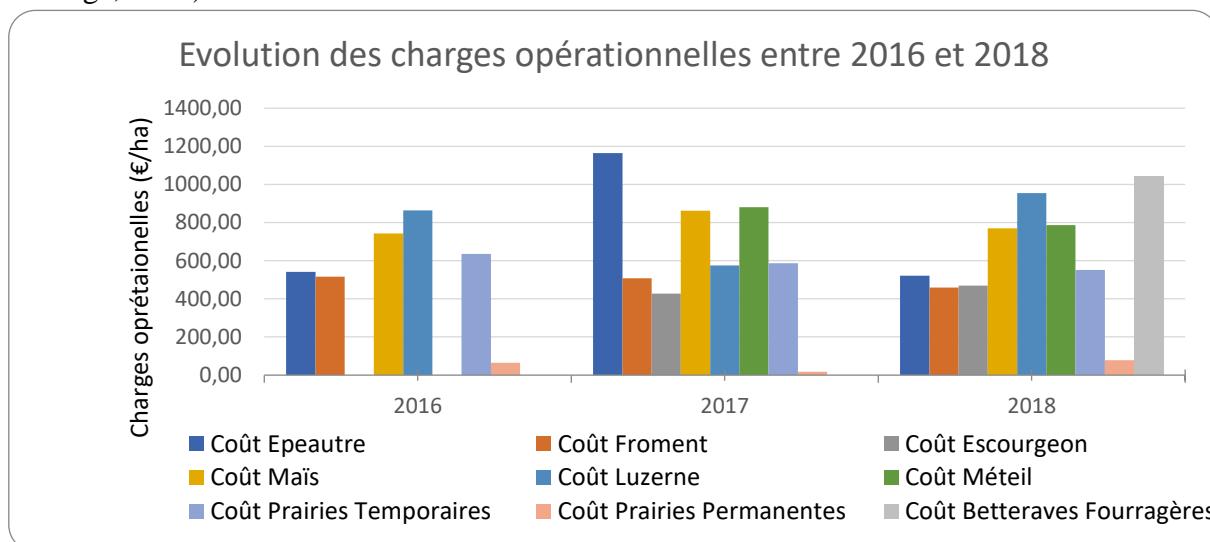
Enfin, l'efficience azotée fluctue avec les changements de rations. En moyenne sur la période considérée, l'efficience azotée est de 30,8% mais augmente entre 2017 et 2019 puisqu'elle passe de 27% le 5 novembre 2017 à 30% le 6 mars 2019. Elle connaît une très grosse augmentation en novembre 2018 pour atteindre ainsi 36% en considérant que la ration distribuée est équivalente à la ration ingérée.

5.2.1.3. Coût des cultures alimentaires

Le graphe 2 ci-dessous représente les charges opérationnelles des cultures fourragères mais aussi des cultures dont les produits récoltés peuvent rentrer dans l'alimentation du bétail. Le premier constat est le très faible coût des prairies permanentes. En effet, toujours sous la barre des 100€/ha, la prairie permanente est la culture fourragère la moins coûteuse comparativement aux prairies temporaires ou au maïs fourrager. Les prairies permanentes dans le cas où elles sont pâturées comme dans cette exploitation, n'engagent que très peu de frais selon les pratiques des agriculteurs comme le prouve le graphe 2 avec seulement 78,2€/ha en 2018. En effet, dans ce cas-ci, il n'a que peu recours aux engrains chimiques (seulement 23 unités d'azote par hectare à la sortie de l'hiver en 2018 selon les fiches de cultures) et les frais de matériel n'engagent que des passages de faucheuse de refus et 1'une ou 1'autre fauche de parcelles. Par ailleurs, la luzerne, qui est aussi une culture à considérer comme prairie temporaire, est plus onéreuse à produire que les autres prairies temporaires à base de graminées et de trèfles. En effet, en 2018, alors que le coût des prairies temporaires atteignait 550€/ha, la production d'un hectare de luzerne revenait à 955€/ha. Néanmoins, la luzerne présente l'avantage d'être implantée sur plusieurs années et cela diminue donc les coûts. Le maïs présente aussi un coût assez élevé avec

770€/ha en 2018. Ce fourrage est assez cher à produire de par les coûts de mécanisation nécessaires mais aussi car il demande une grande quantité de produits phytosanitaires (France Conseil Elevage, 2015). Par ailleurs, les betteraves fourragères, avec 1043€/ha représentent un coût important en tant que cultures fourragères.

Enfin, au niveau des cultures qui peuvent être utilisées comme concentrés dans la ration, l'escourgeon présente un coût de production plus faible que le froment, ce qui confirme Bouquiaux et al. (2013). Néanmoins, les quantités de grains récoltés en froment sont plus élevées que pour l'orge (moyennes respectives de 8,96t contre 8,08t pour la région limoneuse en 2018)(Statbel, 2018). Selon les experts, il faut considérer que le froment autoproduit coûte 150€/T et l'escourgeon 135€/T une fois incorporé dans la ration des vaches en comptant l'aplatissage et le stockage des aliments ainsi que les coûts de production (Avenir-Conseil-Elevage, 2018).



Graph 2 : Evolution des charges opérationnelles (en €/ha) des cultures fourragères ou valorisables dans l'alimentation entre 2016 et 2018 - Exploitation A

5.2.2. Scénarisation

Comme énoncé précédemment, l'objectif du travail dans cette exploitation est une optimisation du pâturage. En effet, les exploitants désirent voir leurs animaux pâtrir pour plusieurs raisons comme le faible coût de l'herbe pâturée mais aussi l'aspect positif du pâturage sur la vie du troupeau (fertilité, locomotion).

L'optimisation du pâturage paraît donc importante. Le premier objectif est de limiter le gaspillage des ressources fourragères disponibles de par l'ensemble des prairies présentes autour de la ferme mais aussi de toujours faire pâtrir une herbe jeune, synonyme de bonnes valeurs nutritives.

Les années précédentes, les exploitants avaient recours au pâturage mais celui-ci n'était pas optimisé. En effet, les mesures des hauteurs d'herbe se faisaient à l'œil, voire à la botte avec pour conséquence un certain gaspillage des ressources de la prairie. L'objectif nouveau doit permettre d'éviter une telle situation avec une gestion fine des parcelles via la mesure des

hauteurs d'herbe et une planification des prairies à pâturer dans le futur mais aussi à débrayer pour la fauche

Pour ce faire, certaines adaptations ont été mises en place. Premièrement, les animaux doivent prioritairement se nourrir en prairies mais disposent de l'accès au robot de traite qui distribue aussi les correcteurs énergétiques et azotés. Ceci a pour but d'attirer les vaches au robot la journée et de les motiver à revenir de pâture pour se faire traire. De plus, la distribution d'une ration à l'auge, en plus du pâturage et des concentrés au robot, se fait lorsque les ressources des prairies disponibles ce jour-là sont épuisées. Enfin, le turn-over des animaux d'une prairie à l'autre se fait via des prairies tampons utilisées pour le pâturage nocturne (PN1, PN2 et PN3) cela permet d'éviter que les animaux ne se croisent, et les oblige à passer par le robot pour accéder le soir à la prairie de nuit et le matin à la nouvelle prairie. L'ingestion des aliments dans l'étable (auge et robot) est basée sur 13kgMS en moyenne, et le reste doit être fourni par le pâturage.

La figure 2 ci-dessous reprend la disposition des différentes parcelles autour de la ferme.



Figure 2: Plan des parcelles pâturables - Exploitation A. Source : (SPW, 2018b)

5.2.3. Suivi durant la période de pâturage

5.2.3.1. Calendrier de pâturage et hauteur d'herbe

Le calendrier (figure 3) ci-dessous compile deux informations. Premièrement, il reprend l'ensemble des prairies pâturées et indique les dates de pâturage de chaque parcelle. De plus, il présente les hauteurs d'herbes mesurées lors des passages en ferme.

Tout au long de la période étudiée, la logique mise en place afin d'éviter le gaspillage et le souillage de l'herbe par les animaux se base sur les hauteurs d'herbe en entrée et sortie du pâturage. La période de pâturage étudiée peut être divisée en deux parties, du début de pâturage (le 25/03/2019) jusque-là 4^{ème} semaine de mai, et de fin mai à la fin des prélèvements c'est-à-dire le 14/06/2019.

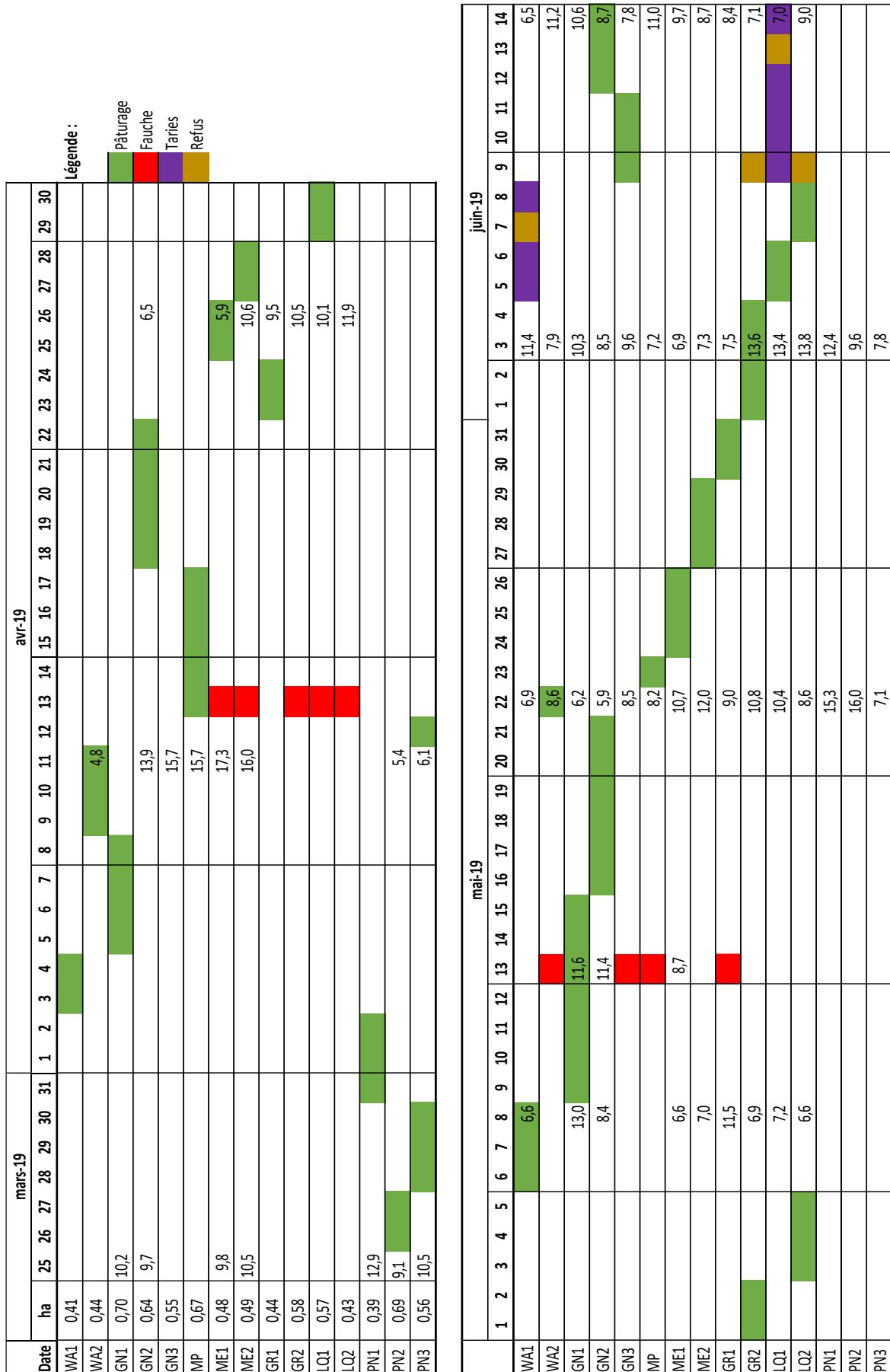


Figure 3: Calendrier de pâturage représentant les opérations sur les différentes parcelles et les hauteurs d'herbes mesurées - Exploitation A

Première partie de la période de pâturage étudiée (25mars → fin-mai)

L'objectif, discuté avec les exploitants au début de la période de pâturage, est une hauteur d'entrée qui ne doit pas dépasser 15cm, car la croissance de l'herbe dans un premier temps est trop rapide que pour permettre aux vaches de pâture des parcelles ou la hauteur de l'herbe est plus faible. En effet, à la mi-avril ainsi que début mai, de nombreuses parcelles présentaient des hauteurs d'herbe se rapprochant des 15cm et certaines dépassaient même cette valeur. Deux de ces parcelles sont restées dans la rotation pour le pâturage (GN2 (13,9cm) et MP (15,7cm) au 11/04 et GN1 (13cm) et GN2 (11,4cm) au 08/05 et 13/05). Grâce à cette importante biomasse, les animaux ont alors eu suffisamment d'herbe que pour rester 5 jours sur une parcelle. Les autres parcelles présentant des hauteurs d'herbe élevées (16,65cm +0,92) ont été fauchées mi-avril et mi-mai (11,5cm pour GR1). Cette décision est approuvée par les recommandations de la littérature telles que celles de Crémér et al. (2012) qui expliquent que les parcelles présentant une hauteur d'herbe proche des 20cm doivent être préférentiellement destinées à la fauche.

A partir du 25/04, il a été décidé de faire pâture les vaches sur les prairies fauchées 12 jours plus tôt (le 13/04). Cela s'explique par l'objectif de faire entrer les vaches dans des parcelles présentant une hauteur d'entrée plus faible. En effet, les prairies non encore pâturées présentaient alors une hauteur d'herbe trop importantes (19,7cm pour le morceau de GR1 non pâturé au 26/04) alors que les repousses de l'herbe après la fauche oscillaient autour des 10,5cm (+0,88cm) au 26/04. L'avantage de cette pratique est de profiter d'une herbe plus jeune présentant donc des valeurs nutritives plus élevées. Cette décision est soutenue par Crémér et al. (2012). Le gaspillage de l'herbe disponible sur la sous-parcelle GR1 a conforté cette décision puisqu'après deux jours de pâturage la hauteur résiduelle de l'herbe atteignait toujours 9,5cm et l'herbe apparaissait couchée et souillée. La hauteur d'herbe idéale en entrée de parcelle diffère un peu selon les auteurs mais il semblerait que l'objectif de 15cm soit déjà un peu trop élevé, une hauteur d'entrée en parcelle de 10cm ou moins étant préférable (Crémér, 2015a; Delaby, 2019). L'avantage des hauteurs plus faibles est l'augmentation de l'appétence et donc la diminution des refus. Ce constat se vérifie avec le pâturage des prairies précédemment fauchées pour lesquelles la hauteur d'entrée était assez faible (10,5cm +0,88) et la hauteur de sortie également (5,9cm).

Enfin, en ce qui concerne ces dernières, selon Delaby (2019) la hauteur idéale de sortie doit représenter 45% de la hauteur d'entrée, soit environ 4-5cm de hauteur en sortie lorsque l'entrée a lieu à 10 cm. Dans cette exploitation, les valeurs mesurées oscillent autour des 5-6cm comme le prouve WA1 au 11/04 et ME1 au 26/04. Avec une prise de données toutes les deux semaines, il n'est pas possible de déterminer avec exactitude le rapport entre la hauteur d'entrée et hauteur de sortie. Cependant, si l'on considère les prairies ME1 et ME2 comme équivalentes au 26/04, le rapport sortie-entrée est de l'ordre de 55%, ce qui est trop important. Un prélèvement hebdomadaire aurait peut-être été plus judicieux pour approfondir l'analyse de ces données. Malgré ce manque de données, il est apparu que la hauteur de sortie globale des prairies (5-6 cm) est trop élevée et cela engendre des répercussions négatives sur la pérennité de la prairie. En effet, selon Delaby et al. (2011) et Belot et al. (2015) une hauteur de sortie de pâturage trop élevée engendre une augmentation de la hauteur du plateau non-valorisable (essentiellement composé de tiges) et diminue la qualité des repousses de la prairie. L'intérêt de sortir plus court est d'autant plus grand que le potentiel de repousse n'est pas impacté par des hauteurs de sortie

plus faibles. En effet selon Philipsen (2015), le potentiel de repousse serait même idéal avec des hauteur d'herbe en sortie entre 3,5cm et 5cm.

Seconde partie de la période de pâturage étudiée (Mi-mai → 14/06/2019)

Lors de la seconde partie de l'étude, la croissance de l'herbe était plus lente, et cela se remarque par une meilleure gestion des hauteurs d'herbe en entrée. Celle-ci se situe entre 10cm et 15cm comme le prouvent les valeurs sur MP et ME1 au 22/05 ou encore sur GR2, LQ1 et LQ2 au 03/06. Les vaches suivent alors la tournante des parcelles sans intervention de fauche de la part des éleveurs. Néanmoins début juin, il a été décidé de faire pâture la parcelle WA1 (11,4cm) par les vaches taries car l'arrivée des vaches en lactation dans cette parcelle n'était pas prévue assez rapidement pour valoriser au mieux l'herbe. La même réflexion est à l'origine du pâturage des vaches taries sur la parcelle LQ1 dans le but de valoriser les refus des vaches laitières. De plus, l'exploitant a eu recours à la faucheuse de refus afin d'homogénéiser la hauteur d'herbe dans les parcelles. Deux fois, ces passages à la faucheuse de refus ont eu lieu en même temps que le pâturage des vaches taries. Le but, est de profiter du passage des animaux pour nettoyer les refus, refus qu'ils n'auraient pas ingérés s'ils étaient restés sur pieds. Cet effet est connu et confirmé par Crémér (2015a).

Enfin, les hauteurs de sorties observées sont plus élevées que lors de la première période avec des hauteurs allant de 5,9cm (GN1 au 22/05) à 8,7cm (GN2 au 14/06). L'augmentation des hauteurs de sorties de parcelles est en accord avec Delaby et al. (2011). En effet, lorsque les hauteurs de sorties sont trop élevées aux premiers passages, cela engendre une augmentation de la hauteur de sortie d'au moins 0,5cm lors des passages suivants.

5.2.3.2. Ingestion d'herbe et complémentation à l'auge

Le tableau 5 ci-dessous reprend la quantité d'herbe disponible en kgMS pour une vache dans les prairies prochainement pâturées.

	25-mars	11-avr	26-avr	08-mai	22-mai	03-juin
WA1						
WA2				8,5		
GN1		6,2		16,4		
GN2		6,8		4,7		
GN3						
MP			13,7		2,8	
ME1		4,0	16,8		1,9	6,0
ME2		4,5	13,6	7,2		
GR1						
GR2				19,7		15,5
LQ1				12,4		11,3
LQ2						9,2
PN1		4,9				
PN2		10,2				
PN3		9,8				

Tableau 5: Quantité d'herbe disponible (en kgMS) par vache dans chacune des parcelles aux différentes dates de prélèvements - Exploitation A

Tout d'abord, il y a une grande variabilité entre les parcelles mais aussi en fonction de la date de prélèvement. Les quantités d'herbe disponible varient entre 1,9 kgMS/vl et 19,7 kgMS/vl. En effet, alors que la quantité d'herbe disponible est assez homogène au 11/04, ce constat devient fort différent au 26/04 avec par exemple une quantité d'herbe disponible de 19kgMS/vl pour la parcelle GR2 et de 7,23kgMS dans la parcelle ME2 qui s'explique alors par la densité car les deux prairies présentent des hauteurs d'herbe similaires (respectivement 10,5cm et 10,6cm). Contrairement au point précédent, il n'est pas possible ici de séparer la période de pâturage en deux parties.

<i>Quantité (kgMS)</i>	<i>11-avr</i>	<i>26-avr</i>	<i>22-mai</i>	<i>03-juin</i>	<i>14-juin</i>
<i>Ensilage de maïs</i>	8,7	8,7	9,4	9,6	7,2
<i>Ensilage herbe</i>	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Foin</i>	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0
<i>Ballots herbe enrubannées</i>	0,0	3,5	0,0	3,4	7,5
<i>Mélasse</i>	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
<i>Tourteau de colza</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1
<i>Concentrés azotés (Robot)</i>	1,6	1,4	1,5	1,4	1,5
<i>Concentrés énergétique (Robot)</i>	1,2	1,6	1,4	1,3	1,2
<i>Capacité ingestion (ILVO)</i>	20,3	20,6	19,7	20,1	19
<i>Quantité distribuée étable</i>	15,0	15,2	18,6	16,0	18,4
<i>Ingestion d'herbe (ILVO)</i>	5,3	5,4	1,1	4,1	0,6
<i>Ingestion d'herbe (INRA)</i>	3,4	5,3	2,1	4,5	3,3

Tableau 6 : Quantités d'aliments (en kgMS) distribué dans l'étable (mélangeuse et robot) et ingestion théorique d'herbe (en kgMS) par les méthodes INRA et ILVO - Exploitation A

Le tableau 6 ci-dessus reprend les aliments distribués à l'auge et au robot ainsi que l'ingestion d'herbe théorique calculée selon les méthodes de l'INRA et de l'ILVO. Pour le calcul de la méthode INRA (Faverdin et al., 2006), les paramètres pris en compte sont la capacité d'ingestion, les aliments apportés à l'auge et au robot ainsi que les densités énergétiques des fourrages et de l'herbe. A partir de ces données, il est possible de recalculer le taux de substitution des concentrés, et sur base des valeurs d'encombrement des fourrages et de l'herbe, la quantité d'herbe (en kgMS) ingérée a pu alors être estimée. Le calcul de l'ILVO est plus simple. En effet, la quantité d'herbe ingérée est obtenue par la différence entre la quantité de fourrages et concentrés apportés à l'étable et la capacité d'ingestion de l'animal.

Tout d'abord, le premier constat est qu'il existe des différences plus ou moins grandes entre les quantités d'herbe théoriquement ingérées selon les modèles INRA et ILVO. En effet, les deux méthodes ont des résultats semblables au 16/04 et au 03/06 mais présentent aussi des disparités assez grandes (2,7kgMS de différence au 14/06). Avec la méthode basée sur la capacité d'ingestion calculée par la formule ILVO, les quantités d'herbe ingérées sont par moment assez faibles car la capacité d'ingestion des vaches est quasiment comblée avec la ration distribuée en étable. De fait, la ration distribuée à l'auge comble presque les vaches en termes de quantité d'aliments (94,4% au 22/05 et 96,8% au 14/06). Avec la méthode INRA, qui a pour avantage de tenir compte de l'encombrement de la ration de base et de l'herbe pâturée, les quantités

d'herbe théoriquement ingérées sont plus élevées mais restent néanmoins en deçà de l'objectif des 6-8kgMS ingérés au pâturage et de 13kgMS ingérés en étable.

Il apparaît dès lors que les vaches sont nourries de façon trop importante à l'étable que pour atteindre l'objectif initial d'ingestion d'herbe au pâturage. En effet, dès le retour des premiers animaux à l'étable, l'éleveur distribue une ration mélangée, ce qui n'oblige pas les animaux à valoriser d'abord l'herbe de la prairie et donc à pâturez assez court. De plus, lorsque l'on se penche sur la quantité d'herbe disponible par vache mais aussi sur le temps de séjour sur chaque parcelle (présenté dans la figure 3) le constat qui en ressort est que la quantité d'herbe ingérée par les animaux est plus faible que l'objectif. Dans certains cas, la quantité d'herbe disponible au pâturage est trop faible. Par exemple au 11/04, la quantité d'herbe disponible sur la parcelle MP est de 13,69kgMS. Avec un objectif journalier de 8kgMS consommées au pâturage, les vaches devraient y rester 2 jours au maximum avec une complémentation à l'auge supérieure le deuxième jour (14,6kgMS dans l'étable au lieu de 13kgMS). Or il apparaît que la parcelle a été pâturee durant 5 jours, ce qui revient à seulement 2,74kgMS/vl.j. Avec une capacité d'ingestion de 20,6kgMS, il faut donc apporter près de 18kgMS d'aliments supplémentaires. Autre exemple au 26/04, la parcelle ME2 présente 7,2kgMS disponibles pour les vaches. Or, cette parcelle a été coupée en deux, ce qui ne représente plus que 3,6kgMS/vl.j. Cela est bien en deçà de l'objectif des 8kgMS ingérés au pâturage. Enfin au 03/06, avec la ration distribuée en étable, les vaches doivent ingérer 4,1kgMS au pâturage. La prairie pâturee à ce moment-là offrait 15,5kgMS d'herbe disponible par vache et elles y ont pâturez pendant 4 jours. Cet exemple montre dès lors qu'il y a donc une concordance entre les quantités distribuées à l'auge et l'ingestion au pâturage.

5.2.3.3. Valeurs nutritives de l'herbe pâturee

La qualité de l'herbe disponible en prairies a évolué tout au long de l'essai. Le tableau 7 reprend les qualités moyennes de l'herbe dans les parcelles prochainement pâturees. Le premier constat fait référence à l'évolution de la teneur en protéines. En effet, elle était maximale le 25 mars avec 25,7%, puis diminue jusqu'à 17,4% fin avril. Par la suite, ces valeurs ont fluctué entre 24% et 17%. Le contenu en fibres de l'herbe a également évolué entre 40% et 49%MS pour les NDF et 16,6% et 22%MS pour la cellulose pendant la période d'essai. Ainsi, alors que l'herbe contenait 41%MS de NDF (avec 16,6%MS de cellulose) à la fin mars, ces valeurs ont augmenté pour arriver à 49% de fibres NDF (dont 21,8% de cellulose) à la fin des prélèvements alors qu'au mois de mai, le contenu en NDF représentait entre 43% et 46%. Après une augmentation en début des prélèvements (de 12.4%MS à 16.5% MS entre le 25 mars et le 11 avril), on constate que le contenu en sucres a diminué malgré une légère augmentation début juin (15%MS). Enfin, la digestibilité a également diminué de 96% fin mars à 84,7% à la mi-juin.

L'ensemble de ces évolutions se marque sur les valeurs nutritives puisque les valeurs énergétiques de l'herbe sont élevées fin mars (1142 VEM/kgMS) mais baissent progressivement jusqu'à 1015 VEM/kgMS. Parallèlement, le contenu en DVE a fluctué entre 100 gDVE/kgMS et 94 gDVE/kgMS et que l'OEB entre 100 gOEB/kgMS et 13 gOEB/kgMS.

	MS	Hauteur totale de l'herbe (cm)	Protéines (% MS)	Cellulose (% MS)	NDF (% MS)	Digestibilité (%MS)	Sucres (% MS)	VEM /kgMS	DVE g/kgMS	OEB g/kgMS
25-03 (S13)	18,6	10,6 +-1,2	25,7	16,6	41	96	12,4	1142	109	96
11-04 (S15)	18,6	16,5 +-0,7	20,4	17,8	40	95,1	16,5	1113	105	43
26-04 (S17)	17,4	10,4 +-0,2	17,4	21,4	46	88,6	15	1041	97	18
08-05 (S19)	13,9	10,7 +-3,3	22,4	18,2	43	92,9	14,5	1101	108	60
13-05 (S20)	19,4	10,1 +- 1,9	23,7	17,6	43	92,8	14,8	1109	110	72
22-05 (S21)	18,4	9,2 +- 1,3	21,5	20,9	45	87,6	13,3	1050	103	53
03-06 (S23)	21,8	13,6 +- 0,2	16,8	22	48	84,4	15	1002	94	13
14-06 (S24)	19,1	10,6 +- 0,8	20,3	21,8	49	84,7	11,3	1015	101	42

Tableau 7 : Composition et valeurs nutritives de l'herbe aux différentes dates de prélèvement - Exploitation A

La baisse des valeurs nutritives (VEM et DVE) de l'herbe est à mettre en parallèle avec le contenu en cellulose, indicateur du vieillissement de la plante. En effet, il apparaît que plus le contenu en cellulose augmente, au plus la plante perd en valeurs nutritives ce qui confirme Beckers (2016). Ensuite, comme annoncé précédemment, la hauteur d'herbe en sortie de pâturage étant trop haute, cela a possiblement eu un impact sur la qualité de l'herbe récoltée à 5cm. En effet, il est apparu que la croissance des jeunes feuilles démarrait de plus en plus haut par rapport au sol, avec un impact négatif sur les valeurs nutritives finales de la plante si l'on considère toujours une prise d'échantillons à 5cm. De plus, cela peut aussi indiquer que la proportion de tiges dans les prélèvements a augmenté avec le temps car cela se traduit par une baisse des valeurs nutritives et une augmentation du contenu en fibres. Selon Delaby et al. (2011), une hauteur de sortie à 5-6 cm augmente les hauteurs de sortie de 0,5cm lors des cycles suivants car la proportion de tiges est plus grande. Cela peut donc en partie expliquer la baisse des valeurs alimentaires observées avec une prise d'échantillons à 5cm. En effet, malgré des hauteurs d'herbe similaire entre les prises de données, les valeurs nutritives de l'herbe pâturee ont baissé, ce qui n'est visiblement pas en lien avec la hauteur de l'herbe. La hauteur d'herbe la plus haute mesurée (16,5cm +-0,7cm) au 11/04 n'a pas eu une mauvaise influence sur les valeurs nutritives de l'herbe avec 1113 VEM/kgMS et 105 gDVE/kgMS.

Le facteur vieillissement de la plante augmente le contenu en fibres cellulosique dans la plante ce qui peut diminuer l'ingestion des vaches (Beckers, 2016). Ensuite, la flore prairiale diffère entre les parcelles, même si aucune prise de données ne peut le prouver. Certaines parcelles présentaient plus de légumineuses comme le trèfle à certains moments de la période alors que d'autres présentent des adventices de plus en plus fréquentes en avançant dans le temps. Ce

sont des facteurs supplémentaires qui peuvent expliquer la baisse de valorisation de l'herbe pâturée et qui auraient mérité d'être étudié (Crémer, 2015a).

5.2.3.4. Production laitière

Le tableau 8 ci-dessous reprend les données de production de lait récoltées au robot. La mise au pâturage a eu lieu en S13.

Semaine	Jours en Lactation (Moyenne troupeau)	Production (kg lait)	Nombre de traites	TB (g/kg)	TP (g/kg)	Valorisation lait (€/kg)
S06	144	31,6	2,60	40,5	33,6	0,312
S07	150	30,4	2,66	41,9	33,2	0,316
S08	157	30,5	2,61	40,9	33,4	0,313
S09	160	30,3	2,60	41,0	33,3	0,313
S10	162	29,8	2,60	41,5	33,3	0,315
S11	169	29,9	2,67	42,3	33,2	0,318
S12	176	29,2	2,67	42,0	33,1	0,316
S13	179	29,7	2,50	41,9	33,2	0,316
S14	181	29,5	2,43	41,8	34,2	0,320
S15	181	29,5	2,36	41,6	34,8	0,322
S16	180	29,9	2,36	40,1	34,8	0,315
S17	176	30,5	2,39	38,7	34,4	0,308
S18	177	29,2	2,33	39,7	33,7	0,309
S19	183	29,2	2,44	40,1	33,1	0,308
S20	189	27,9	2,44	38,1	33,0	0,299
S21	193	27,9	2,37	37,1	32,6	0,293
S22	188	29,8	2,46	38,8	33,5	0,304
S23	193	28,9	2,51	37,8	32,8	0,297
S24	193	25,7	2,42	38,7	32,2	0,299

Tableau 8: Evolution des jours en lactation du troupeau, de la production moyenne de lait, du nombre de traites moyen et des taux butyreux et protéiques ainsi que de la valorisation calculée du lait - Exploitation A

D'après le tableau 8, la production totale de lait s'est maintenue juste en dessous des 30kg de lait entre la mise au pâturage et la semaine 20 soit sur une période de ± 50 jours. En effet, à partir de la semaine 20, la production chute légèrement à 28kg de lait pendant deux semaines avant de remonter à presque 30 kg de lait en semaine 22 puis de chuter à nouveau à 25,7kg de lait lors de la dernière semaine de prise de données. Cette variation dans les productions laitières peut s'expliquer par l'évolution de la qualité de l'herbe mais aussi de la quantité d'herbe ingérée au pâturage. En effet, comme vu au point précédent, l'herbe présentait les valeurs les plus élevées (plus de 1100 VEM/kgMS et plus de 90% de digestibilité) jusqu'en semaine 21 puis elles ont commencé à baisser. Néanmoins en semaine 17, malgré une baisse des valeurs nutritives par rapport aux semaines précédentes, le niveau de production de lait atteignait toujours 30,5kg de lait. L'herbe dans la ration représente au maximum 25 - 30% du total ingéré et descend jusque 3% selon les calculs basés sur la capacité d'ingestion. Par conséquent, l'influence de l'herbe sur la production peut être masquée par les fourrages dans la ration. Ensuite, le maintien de la production suivie par une légère baisse peut se comparer aux résultats

obtenus par Delaby et al. (2003) où les vaches maintiennent un niveau de production entre 25 et 30kg de lait lorsque l'ingestion d'herbe est complémentée par 6kg de concentrés.

Les taux dans le lait ont quant à eux beaucoup évolué. En effet, après la mise en prairies en semaine 13, le TB du lait s'est maintenu jusqu'en semaine 15 avant de commencer à fluctuer entre les valeurs extrêmes de 4,01% et 3,71% lors des semaines 19 et 21. Au niveau du TP, après la mise au pâturage, il a augmenté jusqu'à 3,48% en semaine 15 et semaine 16, avant de commencer à chuter jusqu'à atteindre 3,22% lors de la dernière semaine de prélèvements en semaine 24. Cette augmentation lors de la mise au pâturage suivie d'une chute des taux dans le lait est confirmée par Decaen et al. (1966). Cette baisse s'explique par de nombreux facteurs comme la variation des valeurs alimentaires de l'herbe pâturée avec entre autres une quantité de protéines et une valeur OEB plus faibles, cette dernière étant synonyme d'une diminution de la matière azotée disponible dans le rumen en comparaison à l'énergie. Afin de contrer la baisse du TP du lait, du tourteau de colza est ajouté à la ration lors de la fin des prélèvements. L'effet n'a donc pas pu être observé dans cette étude.

Au niveau de la valorisation économique du lait, il y a une certaine constance jusqu'à la mise en prairie. En effet, alors que le lait se valoriseraient aux alentours de 0,315€/kg de lait jusqu'à la semaine 13, la mise en prairie aurait un effet positif avec l'augmentation des taux dans le lait et de la production. Cela se marque sur la valorisation du lait qui augmente jusqu'à 0,322€/kg de lait. Cependant, à partir de la semaine 17, en accord avec la diminution de la quantité de lait et des taux, elle commence à chuter jusqu'en deçà des 0,30€/kg de lait certaines semaines.

Enfin, le nombre de traites a directement été impacté par la mise au pâturage où une diminution de fréquentation s'est directement fait ressentir puisque l'on passe de 2,7 traites en moyenne à 2,4 traites en deux semaines. Le nombre de traites a par la suite réaugmenté pour se maintenir au-dessus de 2,4 traites par jour. Ce paramètre reflète la bonne circulation des animaux entre les prairies et le bâtiment. Pour ce faire, il est indispensable que les vaches ne présentent pas de problèmes de locomotion. De plus certaines pratiques sont mises en place par l'agriculteur comme l'obligation de passer par l'étable pour aller dans une nouvelle parcelle de jour et avoir accès à une nouvelle herbe et permettent d'augmenter le passage des animaux au robot. Néanmoins, la baisse de fréquentation avec la sortie en prairie des animaux est en accord avec les résultats obtenus par Huneau et al. (2013) qui ont observé une baisse de fréquentation allant de -0,3 à -0,04 traites par jour entre la stabulation et la période de pâturage pour des fréquences de traites entre 1,85 et 2,15 dans un système 100% pâturage. La fréquence de traite plus élevée observée dans l'exploitation est positive.

5.2.3.5. Autonomie, efficience et coût alimentaire

Le tableau 9 reprend les niveaux d'autonomie, d'efficience azotée mais aussi le coût alimentaire de la ration des vaches laitières.

Tout d'abord, il apparaît que le niveau d'autonomie de la ration est assez élevé avec des valeurs toujours au-delà des 80%. De plus, au début du pâturage, l'autonomie alimentaire de la ration atteignait même 88%, mais elle a par la suite très lentement chuté jusque début juin pour atteindre 83% au 14/06.

En ce qui concerne l'efficience azotée associée aux rations, elle atteignait 33% à la mise en prairie et a fluctué par la suite pour atteindre jusqu'à 35%. Tout comme le niveau d'autonomie, l'efficience azotée chute en fin d'essai pour atteindre 27%.

Enfin, le coût de production du lait lié à l'alimentation atteignait 0,0708 €/kg de lait produit. Par la suite, ce coût a fluctué. La ration la moins coûteuse est celle distribuée au 26/04 avec 0,0695€/kg de lait produit alors que la ration la plus coûteuse est enregistrée le 14/06 avec 0,1077€/kg de lait produit. Le coût de ces rations est en relation directe avec la complémentation en étable. En effet au 22/05 et au 14/06, la quantité d'herbe théoriquement ingérée est plus faible et le coût de la ration s'en trouve par conséquent augmenté. En comparaison, la ration distribuée au 06/03/2019, lorsque les animaux ne sortaient pas de l'étable, présentait un coût de 0,1051€/kg de lait. Il apparaît donc que lorsque la quantité d'herbe ingérée au pâturage augmente, le coût alimentaire est fortement diminué en comparaison avec des rations hivernales. La diminution du coût des rations représente jusqu'à 33,9% avec la sortie au pâturage. Cette diminution est comparable à celle mise en évidence par Huneau et al. (2013) qui observent une baisse de 44% du coût alimentaire lorsque les vaches ingèrent une partie au pâturage mais reçoivent toujours des fourrages et concentrés dans l'étable.

	11-avr	26-avr	22-mai	03-juin	14-juin
Autonomie (%)	88,2%	88,0%	87,6%	87,2%	82,6%
Efficience azotée (%)	33,1%	35,7%	34,9%	35,6%	26,7%
Coût alimentaire (€/1000kg de lait)	70,8	69,5	92,2	76,1	107,7

Tableau 9: Autonomie, efficience azotée et coût alimentaire associé aux différentes rations - Exploitation A

5.2.4. DECiDE

5.2.4.1. Simulation et hypothèses

L'objectif de la simulation pour cette exploitation est de comparer le système mis en place dans cette exploitation, à savoir le pâturage tournant, à un système 100% en étable afin de déterminer l'éventuel impact de cette pratique sur l'empreinte environnementale de l'exploitation.

Pour faire cette comparaison, les données relatives aux bâtiments, machines, culture de rentes sont restées inchangées ainsi que les performances du bétail dans la situation 100% stabulation. Pour faire cette simulation 100% en stabulation, l'alimentation des vaches est basée sur la ration hivernale, alors que les prairies normalement pâturées sont considérées fauchées et récoltées. De plus, le nombre de jours en bâtiment est aussi adapté.

5.2.4.2. Résultat et discussion

Le premier constat est que le pâturage aurait un impact positif sur les émissions de gaz à effet avec une réduction de l'ordre de 530 kg équivalent CO₂/haSAU, soit une diminution de 5%. Ceci s'explique notamment par la réduction de l'émission de CH₄ par les vaches laitières avec une diminution de 15% dans le cas de vaches au pâturage. Le détail des émissions de méthane montre que c'est le méthane produit avec les engrains de ferme qui est largement plus élevé dans le scénario en bâtiment et non le méthane produit par la fermentation entérique des animaux qui explique cette différence. Selon Webb et al. (2011) et Edouard et al. (2012), les fumiers pailleux sont plus émetteurs de méthane. Néanmoins, la quantité de protoxyde d'azote rejetée

est supérieure de 300kg équivalent CO₂/haSAU dans le cas du pâturage en comparaison avec la simulation en bâtiment. Cela peut s'expliquer par les restitutions d'azote sous forme d'urine qui ont un impact négatif sur le bilan azoté (Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2014). Il en est de même pour les émissions d'ammoniac qui seraient majorées de 117% au pâturage dans ce cas-ci. Au niveau de la répartition entre les différents postes, il apparaît que les émissions allouées à l'alimentation des animaux sont réduites au pâturage, de même que les émissions dues à la gestion des engrains de ferme qui sont majorée de 220% en stabulation.

Enfin, au niveau de l'énergie consommée pour la production laitière, la quantité d'énergie nécessaire est inférieure avec des animaux au pâturage. Ce constat est le même lorsque l'on prend en compte uniquement l'énergie allouée à la nutrition des animaux. Ces résultats sont en accord avec Morin et al. (2011) qui identifie le pâturage et plus particulièrement le pâturage tournant comme un levier d'action permettant de réduire la part d'énergie nécessaire à l'alimentation du bétail.

	<i>Pâturage</i>	<i>Stabulation</i>	<i>Evolution</i>
Gaz à effet de serre			
<i>Emission totale (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	8376	8910	-6,0%
<i>Emission totale (kgCO_{2e}/1000L de lait)</i>	1612	1715	-6,0%
<i>Dont CH₄ (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	4167	4979	-16,3%
<i>Dont NO₂ (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	2502	2206	+13,4%
<i>Alim animaux (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	457	476	-4,0%
<i>Engrais de ferme (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	526	1120	-53,0%
<i>Ammoniac (kgNH₃/haSAU)</i>	87	40	+117,5%
<i>Emissions directes (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	6626	7155	-7,4%
<i>Emissions indirectes (eau et électricité) (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	94	94	+0%
<i>Autres émissions indirectes (kgCO_{2e}/haSAU)</i>	1656	1661	-0,3%
Energie			
<i>Consommation totale énergie (MJ/haSF)</i>	36687	38375	-4,4%
<i>Consommation alimentation bétail (MJ/haSF)</i>	9291	10874	-14,6%

Tableau 10 : Bilan des émissions de GES et énergies pour la situation réelle et la simulation du changement alimentaire - Exploitation A

6. Exploitation B

6.1. Matériel et méthode spécifique à cette exploitation

6.1.1. Caractéristiques générales

L'exploitation est de type polyculture-élevage avec un atelier lait (+-70 vaches en lactation et traite robotisée) et des cultures de rente (céréales, pommes de terre, betteraves) sur SAU totale de 115 hectares. De plus, cette ferme présente la particularité de se trouver dans des bâtiments classés par le patrimoine mais aussi d'avoir une activité de ferme pédagogique.

6.1.2. Scénario d'amélioration

Les changements mis en place dans cette exploitation ont pour but d'augmenter le contenu en matières grasses dans le lait à travers un nouveau scénario de rationnement, tout en veillant à ne pas augmenter le coût de la ration et à ne pas faire chuter la production de lait. La modification du scénario alimentaire a été réfléchi avec les experts présents sur le projet PROTECOW. Cette augmentation du contenu en matières grasses dans le lait est la piste évoquée par l'éleveur lors du premier entretien.

Grâce aux données fournies par le comité du lait, il a été possible de comparer les composants du lait (TB et TP) par rapport aux autres éleveurs du groupe wallon du projet PROTECOW. Pour ce faire, ces données ont été récupérées pour les 6 éleveurs depuis le 01-01-2016 jusqu'au 31-12-2018.

6.1.3. Suivi et résultats

La nouvelle ration élaborée a été proposée à l'éleveur le 04/04/2019. Par la suite, des visites en ferme ont été réalisées toutes les deux semaines afin de relever différentes données (production laitière, rations, score de rumination et matières fécales). Le suivi ayant été effectué sur deux mois, le dernier passage en ferme était le 24/05/2019.

6.1.3.1. Matières fécales

Des échantillons de matières fécales ont été prélevés aléatoirement sur des bouses fraîches reparties dans l'étable pour évaluer la digestibilité de la ration ingérée. Une partie des échantillons est ainsi analysée à l'infrarouge alors que l'autre partie est tamisée avec des tamis successifs de 0,4mm, 0,2mm et 0,1mm. Les quantités restantes dans chaque tamis sont par la suite analysées à l'infrarouge.

6.1.3.2. Les données de bien-être du troupeau

Outre le test Quality Welfare®, lors de chaque passage en ferme, avant la manipulation des animaux, un comptage rapide des animaux couchés et en rumination est réalisé via une application pour smartphone, créée par l'ILVO et le Boerenbond, Dierenwelzijnscan.

6.2. Résultats et discussion

6.2.1. Diagnostic

6.2.1.1. Historique

Analyses des productions laitières

Le tableau 11 reprend les grandes caractéristiques de production de l'exploitation depuis 2016.

	2016	2017	2018
Lait produit par vache (kg/an)	8 539	9 061	8 890
Lait produit par hectare (kg/haSFPc.an)	10 673	11 281	12 261
TB (g/kg lait)	35,7	35,1	35,0
TP (g/kg lait)	31,8	32,2	32,0

Tableau 11 : Evolution de la production laitière entre 2016 et 2018 - Exploitation B

Tout d'abord sur la période considérée, la productivité des vaches a évolué en dent de scie entre 8 540 kg de lait en 2016 et 9 060 kg de lait par vache en 2017. L'année 2018 est entre les deux avec 8890 kg de lait par vache. Ensuite, il apparaît qu'avec le temps, la production laitière s'est intensifiée avec une augmentation du lait produit par rapport aux surfaces fourragères disponibles. En effet, cette quantité de lait a augmenté de 15% sur deux ans.

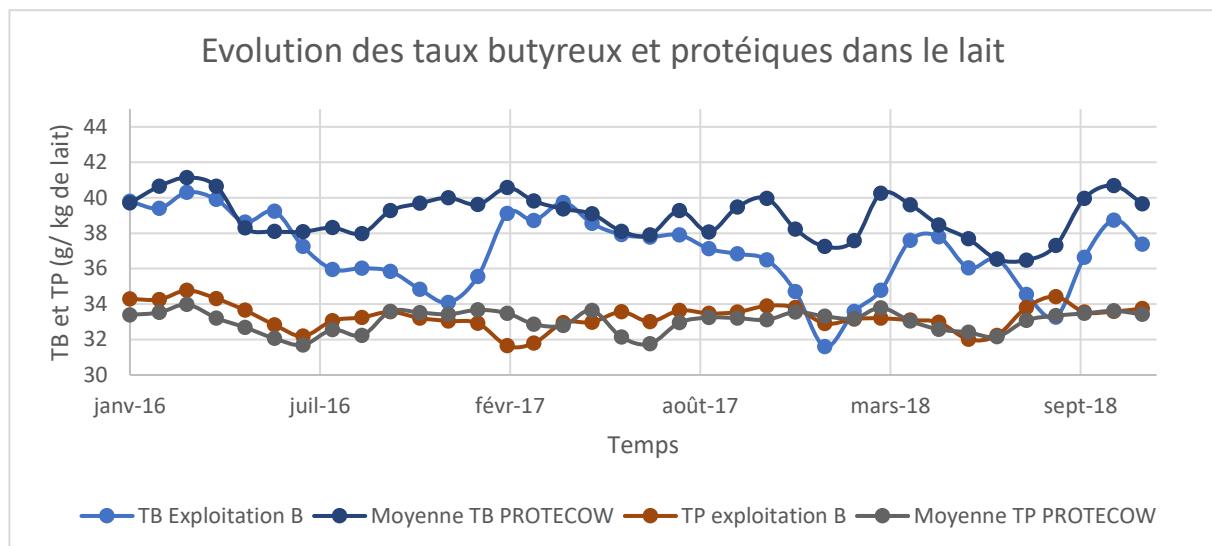
Ensuite, les taux n'ont pas évolué dans le même sens sur cette période. En effet, alors que le TB diminue avec les années (-2% entre 2016 et 2018), le TP a d'abord augmenté un peu (+0,4g/kg de lait) avant de diminuer en 2018 (-0,2g/kg de lait).

Le graphe 3 ci-dessous représente l'évolution des taux TB et TP dans le lait pour l'ensemble des éleveurs wallons du groupe PROTECOW, en comparaison avec l'exploitation B

Tout d'abord, le premier constat que l'on peut dresser est que le taux butyreux de l'exploitation B est inférieur à la moyenne du groupe wallon PROTECOW. Sur la période étudiée dans ce graphe, le contenu moyen en matières grasses pour l'exploitation B est de 36,9g/L et de 39,0g/L pour l'ensemble du groupe PROTECOW wallon. En décembre 2017 ainsi qu'en janvier et septembre 2018, ce taux chute même pour atteindre respectivement 34,0, 31,6 et 33,3 g/kg de lait. Pour ces dates, on note ainsi une inversion des taux puisque le taux protéique est supérieur au taux butyreux. Néanmoins, lors de certaines périodes comme juin 2016, avril 2017 ou encore juillet 2018, les vaches de l'exploitation B ont produit du lait avec autant, ou plus, de matières grasses que la moyenne du groupe.

Par contre, il apparaît que le TP est fortement semblable (mais légèrement supérieur) à la moyenne du groupe wallon PROTECOW avec des moyennes respectives de 33,5g/L pour l'exploitation B et 33g/L pour l'ensemble du groupe PROTECOW wallon.

Ensuite, il existe des indicateurs de santé du troupeau que sont les rapports TB/TP et TB-TP. Ceux-ci étant issus de données françaises, il faut donc adapter le TP belge (qui prend en compte l'azote non-protéique du lait) en TP français (TP_f). Ainsi, le rapport TB/TP idéal se trouve entre



Graphe 3 : Evolution des taux butyreux et protéiques de l'exploitation B en comparaison aux exploitations wallonnes du groupe PROTECOW - Exploitation B

1,1 et 1,4. Sur la période étudiée, le rapport moyen entre le TB et le TP_f est de $1,17 \pm 0,07$. Cependant, à certains moments, ce rapport est inférieur à la valeur seuil de 1,1 ce qui peut signifier une acidose subclinique dans le troupeau (Bedouet, 2006; FIDOCL, 2019). Selon Sauvant et al. (2010), ce rapport est un bon indicateur du pH du rumen. Concernant l'écart entre le TB et le TP, il est en moyenne de $5,33 \pm 2,16$, ce qui est inférieur à la valeur cible de 7 points d'écart. Le TB est donc trop proche du TP_f.

Le rationnement des vaches laitières

L'analyse des différentes rations distribuées aux vaches laitières depuis février 2017 (voir annexe 4) a apporté certaines informations sur la logique de rationnement dans cette exploitation. Premièrement au niveau des fourrages consommés, il apparaît que l'ensilage de maïs utilisé jusqu'en hiver 2018-2019 était constitué d'épis broyés mais cela a changé depuis l'automne 2018 puisqu'il s'agit désormais d'un ensilage plante entière comprenant le reste du silo d'épis broyés pour un total de 33% d'épis broyés et 67% de plante entière. L'ensilage d'épis broyés présente l'avantage de densifier la ration énergétiquement de par sa valeur VEM élevée (plus de 1000VEM/kgMS dans ce cas-ci). A propos de l'herbe utilisée, c'est le plus souvent un mélange d'une culture de luzerne et d'un méteil composé de légumineuses comme les féveroles, le trèfle ou les vesces associées à des graminées diverses comme le dactyle ou la fétuque.

Enfin, l'exploitation a recourt à des coproduits tels que les drêches de brasserie non-pressées (qui proviennent d'une brasserie artisanale) ou les pulpes surpressées de betteraves. L'avantage des drêches de brasserie, c'est qu'elles présentent un contenu en matière protéique allant jusqu'à 27% et qu'une partie des protéines est assez résistante à la dégradation ruminale, ce qui rend les protéines directement assimilables pour répondre aux besoins des animaux (Heuzé et al., 2017). Durant l'hiver 2018, des betteraves fourragères ont été incorporées dans la ration en substitution des pulpes de betteraves surpressées. L'addition de betteraves fourragères durant l'hiver 2017 n'a pas permis aux vaches d'augmenter le TB et ce, malgré que cet aliment soit reconnu pour sa capacité à augmenter la sécrétion de matières grasses dans le lait (Dulphy et al., 2000).

Au niveau des correcteurs utilisés, il apparaît que ceux-ci ont fortement varié au cours du temps. Ainsi, en 2017, l'éleveur utilisait du tourteau de soja tanné, seul ou en mélange avec du tourteau de soja classique. Au printemps 2018, ce tourteau de soja tanné a disparu au profit d'une plus grande quantité de tourteau de soja non-protégé mais aussi du corn gluten feed. Durant l'hiver 2018-2019, ce correcteur fut remplacé par du tourteau de lin. En ce qui concerne les correcteurs énergétiques, l'éleveur a eu recours à du blé Maxammon (blé traité à l'urée), du blé tendre aplati mais aussi des pulpes sèches.

Enfin les quantités de concentrés de production distribués aux vaches laitières (dont l'origine n'est pas précisée) ont augmenté, passant de 1,32 kg par vache et par jour en avril 2017 à 2,5kg par vache et par jour en octobre 2018. L'impact de cette hausse de concentrés utilisés au robot est une augmentation du coût alimentaire par vache. Néanmoins, la productivité des vaches ayant également augmenté durant cette période, l'augmentation de concentrés peut se justifier.

6.2.1.2. Situation initiale

Ration

La ration distribuée (tableau 12) au 15-02-2019 a servi de base de réflexion pour l'amélioration du rationnement des vaches laitières.

	<i>Paille</i>	<i>Ensilage de maïs</i>	<i>Ensilage d'herbe</i>	<i>Drèches de brasserie</i>	<i>Pulpes de betteraves</i>
<i>Qté distri. (kgMS)</i>	0,43	6,1	5,9	1,3	1,2
<i>% MS</i>	73	38	42	22	22
<i>VEM (/kgMS)</i>	425	1029	825	951	1073
<i>DVE (g/kgMS)</i>	10	55	59	135	104
<i>OEB (g/kgMS)</i>	-41	-42	37	36	-89
<i>Protéines (% MS)</i>	4,1	6,9	16,5	23,1	8,2
<i>Amidon (% MS)</i>	0	28,9	0	9,3	0
<i>Cellulose (% MS)</i>	41,8	17,7	28,3	16,7	18,5
<i>NDF (% MS)</i>	74,5	38,0	48,4	52,3	49,4
<i>Valeur de structure (VS)</i>	4,3	1,4	3,3	1	1,1

Tableau 12 : Quantités distribuées et compositions des aliments (en kgMS) présents dans la ration distribuée aux vaches laitières le 15/02/2019 - Exploitation B

Comme le démontre le tableau 12 ci-dessus, on retrouve de la paille qui est amenée dans la ration afin d'apporter de la structure grâce à sa haute quantité de fibres (jusqu'à 75% de NDF). Ensuite, comme expliqué en amont, l'ensilage de maïs utilisé est composé en moyenne d'un tiers d'épis broyés et de deux tiers d'ensilage plante entière. Ainsi, la quantité d'énergie fournie par cet ensilage est assez élevée avec 1029 VEM/kgMS comparativement aux maïs présentés le plus souvent dans la littérature (890VEM) (Cuvelier et al., 2005), ce qui s'explique par sa richesse en amidon. Le risque associé à cette pratique est l'augmentation du risque d'acidose pour les vaches laitières due à la concentration de la ration en énergie mais aussi à la baisse de sa valeur de structure (Beckers, 2011). En effet, l'épi broyé est plus faible en fibres (NDF et cellulose) et donc aussi plus digestible.

L'ensilage d'herbe utilisé se compose essentiellement d'un ensilage de luzerne et autres légumineuses. L'utilisation de tels fourrages dans la ration permet d'augmenter l'ingestibilité

et l'appétence générale de la ration. Selon les légumineuses utilisées, le contenu en fibres cellulosiques peut varier et être plus faible que celui des graminées fourragères. Néanmoins, dans ce cas-ci, le contenu en fibres cellulosiques avoisine les 28%, ce qui est comparable à la valeur moyenne mesurée pour de la luzerne en région limoneuse entre 2011 et 2017 (29,7% +-3,41) (Requasud, 2019). Dans le rumen, la dégradation des fibres de légumineuses est plus rapide que pour des fibres de graminées, ce qui engendre un temps de séjour dans le rumen plus faible pour des rations à base de légumineuses. Ce phénomène est mis en évidence dans les élevages laitiers utilisant beaucoup d'ensilage de luzerne (Brouk et al., 1993). Le plus gros avantage des légumineuses est le contenu en MAT qui est souvent plus élevé que les graminées fourragères classiques (Baumont et al., 2016).

Les drèches et pulpes sont utilisées comme sources d'énergie (pour les pulpes) et de protéines (pour les drèches). Ces coproduits présentent tous deux une faible valeur de structure. Cependant, l'utilisation de drèches de brasserie aurait un impact positif sur la durée de mastication, en comparaison aux pulpes de betteraves (Heuzé et al., 2017).

En plus des fourrages présentés dans le tableau 12 ci-dessus, la ration est complémentée en concentrés et correcteurs :

- 2,2 kgMS de tourteau de soja
- 1,7kgMS de froment aplati
- 1,1kgMS de farine de maïs
- 0,14kgMS de Linumex (aliment à base de graines de lin extrudées et de soluble de blé)
- 1,9kgMS de tourteau de lin donné comme concentré de production au robot.

Le tourteau de soja apporté dans la ration est un aliment très riche en protéines (DVE) et en énergie (Cuvelier et al., 2005). L'apport d'énergie permettant de corriger la ration se fait via deux aliments que sont le froment et la farine de maïs. Ceux-ci sont utilisés par l'exploitant car ils sont autoproduits ce qui permet d'augmenter le niveau d'autonomie de la ration des vaches laitières. Le froment présente l'inconvénient d'être très fermentescible et donc très rapidement dégradable dans le rumen, ce qui s'accompagne d'une production de propionate (Sauvant et al., 1994), alors que la farine de maïs, qui contient d'avantage d'amidon by-pass, est plus valorisable dans l'intestin des animaux (Sauvant et al., 1994). L'utilisation de blé dans la ration aurait un impact positif sur la matière azotée contenue dans le lait en comparaison avec l'utilisation de pulpes de betteraves sèches (Hoden et al., 1990). L'utilisation de lin quant à elle a de nombreux aspects. En effet, le tourteau de lin est une source d'énergie pour la vache de par son profil riche en acides gras. Cela peut s'avérer néfaste s'il est utilisé en trop grande quantité dans la ration, avec un effet négatif sur le TB du lait mais aussi sur les fermentations du rumen. A l'inverse, l'apport de tourteaux de lin aurait un impact positif sur le profil des acides gras du lait, sur la reproduction des vaches laitières et sur l'environnement (Brunschwig et al., 2010)

La composition finale de la ration est reprise dans le tableau 13 ci-dessous. Cette ration de base est calculée pour des vaches produisant 33,9kg de lait. La ration de base corrigée, c'est-à-dire sans les concentrés de production, permet une production théorique de 29,6kg de lait selon l'énergie de la ration et 31,6kg de lait selon les protéines. Avec le concentré de production, le

niveau de production potentiel augmente respectivement à 34,6kg de lait de par les VEM et 37,6kg de lait de par les DVE.

Composition finale de la ration			
Total distribué (kgMS)	21,9	% Amidon	18
% MS	44	% Cellulose	17
VEM (/kgMS)	1014	% NDF	36
DVE (g/kgMS)	101	% Matières grasses	2,3
OEB (g/kgMS)	22	% MOF	55
% Protéines	18	% Concentrés	32
		VS	1,6

Tableau 13 : Composition finale de la ration distribuée le 15/02/2019 - Exploitation B

Au niveau de la composition finale, la ration semble être dans les normes présentées dans la revue littéraire. En effet, l'amidon représente 18% de la ration et est donc sous les recommandations de Sauvant et al. (1999). Par contre bien que le contenu en NDF soit suffisant avec une valeur moyenne de 36% MS (pour un minimum requis de 30% MS), la teneur en cellulose est néanmoins assez faible avec 17%MS de cellulose dans la ration. Cela est d'autant plus marquant que la dégradabilité des fibres dans le rumen pour un ensilage à base de légumineuses est assez rapide (Cuvelier et al., 2005). Par ailleurs, la matière organique fermentescible (MOF) n'atteint pas plus que la recommandation de 58% (Verhoeven et al., 2014). La valeur NFC (matières organiques – matières grasses – protéines – NDF) idéale se trouve aux alentours des 35% pour des vaches en milieu de lactation (Hutjens (2008) cité par Beckers (2014)). Dans le cas de la ration distribuée ici, avec 34% de NFC et 157jours en lactation de moyenne sur le troupeau, la ration n'est pas éloignée des recommandations.

L'orientation des fermentations dans le rumen est aussi importante. En effet, une augmentation des fermentations propioniques est génératrice de glucose au détriment du TB. Dans la ration, les aliments qui favorisent la production de propionate sont nombreux comme l'amidon (maïs épis broyés, farine de maïs et le froment aplati), les pectines (pulpes de betteraves) et les sucres dans les drèches. A l'inverse, les aliments fibreux qui favorisent la production d'acétate, précurseur de la matière grasse, sont moins présents (ensilage de luzerne, ...)

Le passage de la ration au tamis Penn State a donné le résultat suivant :

- 29% dans le premier tamis
- 33% dans le deuxième tamis
- 20% dans le plus petit tamis
- 17% dans le bac du fond
- 7,92mm en taille moyenne de particules

La majorité des particules se retrouve dans le deuxième tamis, ce qui regroupe essentiellement le maïs alors que les particules de l'ensilage d'herbe restent dans le premier. Les recommandations associées au PennState Separator sur la proportion des particules dans chaque tamis ont été déterminées sur base des rations distribuées aux Etats-Unis et dans les Hauts-de-France et donc essentiellement composées d'ensilage de maïs (+-60%). Il est donc difficile de les utiliser pour comparer les rations distribuées en Wallonie, pour lesquelles la part de l'herbe

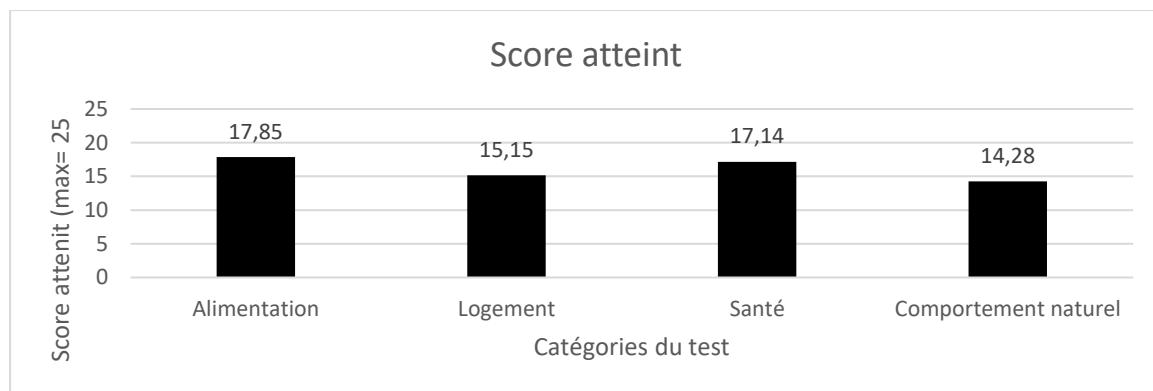
est importante. Néanmoins, l'utilisation de ces tamis permet de déterminer la taille moyenne des particules qui composent la ration. Celle-ci, joue un rôle important sur l'orientation des fermentations du rumen. En effet, avec des particules plus fines, l'acide propionique remplace l'acide acétique. Cependant, les fermentations ruminales ne seraient modifiées qu'à partir d'une taille de particules inférieure à 4mm (Sauvant, 2000), ce qui n'est pas le cas avec la ration distribuée.

Bien-être

Les données relatives au bien-être du troupeau sont divisées en deux parties que sont la rumination et les résultats du test Welfare Quality®.

Test de bien-être Welfare Quality®

Le résultat du test de bien-être dans cette exploitation est présenté dans le graphe 4 :



Graphe 4 : Score final du test Welfare Quality® - Exploitation B

Premièrement, l'abreuvement des animaux ne pose pas de problème puisqu'ils sont présents en nombre avec un débit et une propreté suffisante. Par contre, l'accès à l'auge est plus limitant avec seulement 32 places disponibles pour 55 animaux.

Ensuite, avec un score légèrement au-dessus de la moitié, le logement des vaches semble ne pas être idéal du fait que les animaux ne se couchent pas facilement dans les logettes et qu'ils présentent un aspect général sale et des boiteries. Cependant, il faut noter qu'ils ont accès à une brosse, ce qui améliore leur bien-être

En ce qui concerne le score de santé, lors de l'observation des animaux un nombre élevé de boiteries a été relevé (entre 10 et 20% du cheptel). Aucun signe de pathologie d'origine respiratoire ou reproductrice n'a été relevé. Les paramètres de cellules dans le lait mais aussi de digestion (remplissage du rumen et bouses assez liquides) ont obtenu des scores moyens.

Enfin, au niveau de l'expression du comportement naturel, l'observation des animaux n'a pas mis en évidence un éventuel comportement de PICA des vaches. Par ailleurs, celles-ci ont tendance à fuir rapidement lorsque l'on s'approche selon le protocole du test (avancer droit vers les vaches présentes au cornadis). Cela représente une mauvaise relation homme-animal (Mattiello et al., 2009).

Outre ce score de bien-être, l'observation des animaux a amené certaines informations complémentaires. Tout d'abord, le nombre d'animaux présentant des boiteries (20% du

troupeau) et le nombre d'animaux en rumination est vraiment faible. Or, d'après Mulligan et al. (2006), une fois que les nombre de boiteries est plus élevé que 15% et que le nombre d'animaux en rumination est inférieur à 80%, cela peut être synonyme d'acidose.

Le manque de place à l'auge engendre certains problèmes. En effet, les animaux les plus dominants vont se nourrir en premier. La conséquence est que les animaux dominés n'ingèrent pas la même ration si les premiers l'ont triée. De plus le temps d'ingestion et la quantité ingérée s'en trouvent diminués. Cela peut engendrer une augmentation de l'acidité du rumen (Hulsen et al., 2014). De plus, selon les dires de l'éleveur, les quantités de refus sont minimes, ce qui est un facteur qui peut influencer l'apparition d'acidose, l'optimum étant de 5-10% de refus (Shaver, 2002).

6.2.1.3. Conclusion du diagnostic

La conclusion de ce diagnostic est que de nombreux indicateurs appuient la théorie de l'acidose. En effet, le rapport TB/TP_f tombe parfois sous la valeur seuil de 1,1 et l'écart TB-TP est inférieur à 7 points à de nombreuses reprises. De plus, la ration présente des éléments acidogènes que sont le blé ou encore les pulpes de betteraves alors que les bouses ont une apparence liquide. Cependant, les indicateurs relatifs à la composition de la ration comme le contenu en fibres, en amidon ou encore la valeur de structure ne sont pas en dehors des valeurs seuils.

Si cette hypothèse est réelle, il y a un véritable enjeu économique car l'acidose peut faire perdre jusqu'à 1,12USD par vache et par jour. Ce qui s'explique par la baisse de production et de valorisation du lait de par un contenu en matière grasse plus faible (Stone, 1999).

6.2.2. Scénarisation

La phase de diagnostic n'a pas pu mettre en évidence un problème d'acidose. L'objectif du travail va donc être d'améliorer le TB du lait. L'acidose ayant un lien avec la production de matières utiles dans le lait, résoudre le problème du faible TB dans le lait nous permettrait d'éliminer cette hypothèse.

Comme déjà introduit précédemment, certaines pratiques de rationnement des vaches laitières dans cette exploitation ont un impact négatif sur le contenu en matières grasses du lait. Ainsi, le maïs distribué récolté en partie en épis-broyés contient près de 40% d'amidon, ce qui peut avoir un effet négatif sur le taux butyreux dans le cas où il est utilisé avec une ration à base d'herbe (Hoden et al., 1991). Néanmoins, dans le cas d'ensilage d'épis broyés, une plus grande part de l'amidon est by-pass et non digérée dans le rumen car cette proportion augmente avec la maturité de la plante (Peyrat et al., 2015). Ensuite, il faut noter que les pulpes de betteraves ne sont pas non plus génératrices de matières grasses dans le lait (Institut de l'Elevage, 2000). Enfin, les correcteurs et concentrés utilisés peuvent aussi être responsables du faible taux butyreux. De fait, l'utilisation d'aliments riches en matières grasses comme le lin peut avoir un impact négatif sur la sécrétion de gras dans le lait (Focant et al., 2010; Hurtaud et al., 2010). L'utilisation de blé moulu dans la ration provoque un apport d'amidon rapidement dégradable, avec une conséquence négative sur le taux butyreux du lait car il provoque l'augmentation de fermentations propioniques génératrices de lait mais pas de matières grasses (Sauvant et al., 1994). D'une manière générale, le manque de fibrosité de la ration diminue le temps de

mastication mais aussi le TB, avec des pertes pouvant aller jusqu'à 3g / kg de lait. (Sauvant et al., 1999)

Parti de ces constats et après discussion avec les nutritionnistes présents sur le projet PROTECOW, des pistes d'amélioration ont été identifiées :

- 1) Remplacement du blé par de l'orge qui est moins rapidement dégradable dans le rumen et légèrement plus fibreux.
- 2) Remplacement de la paille par du foin. La valeur de structure est proche et le foin possède de meilleures valeurs nutritives.
- 3) Viser une ration avec moins de 20% amidon et plus de 18% de cellulose.
- 4) Remplacer le tourteau de lin par du tourteau de soja car le soja est moins cher, et moins riche en matières grasses
- 5) Sur le plus long terme, remplacer une partie de la luzerne par du Ray-Grass qui est plus structurant et moins vite digéré dans le rumen.

Après discussion avec l'éleveur, les pistes retenues et possibles à mettre en place sur la période prévue sont la diminution du tourteau de lin dans la ration, le remplacement de la paille par de l'enrubannage de luzerne (disponible sur l'exploitation) et la diminution de la quantité de blé (1kg au lieu de 2kg).

6.2.3. Résultats

6.2.3.1. Rations distribuées

Le tableau 14 ci-dessous reprend les quantités distribuées aux vaches laitières aux différentes dates de passage en ferme.

Tout d'abord, l'arrêt de la paille dans la ration fait partie du scénario mis en place et est remplacé en quantité par les ballots enrubannés de luzerne dans un premier temps. Ensuite, les ballots enrubannés de luzerne ont aussi remplacé l'ensilage d'herbe, le stock étant épuisé.

Au niveau des concentrés, la diminution de la quantité de froment aplati s'explique par la mise en place du scénario. Il en va de même pour la quantité diminuée de tourteau de lin incorporé

<i>Quantités distribuées (kgMS)</i>	<i>15-02-19</i>	<i>04-04-19</i>	<i>18-04-19</i>	<i>03-05-19</i>	<i>24-05-19</i>
<i>Paille</i>	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
<i>Ensilage de maïs</i>	6,1	6,2	6,2	6,5	6,1
<i>Ensilage d'herbe</i>	5,9	6,7	6,6	0,0	0,0
<i>Ballots de luzerne</i>	0,0	0,0	0,3	7,1	7,3
<i>Pulpes de betteraves surpressées</i>	1,2	1,4	1,4	1,4	1,3
<i>Drèches de brasseries</i>	1,3	1,4	1,2	1,3	1,2
<i>Froment aplati</i>	1,7	0,9	0,9	0,9	0,8
<i>Farine de maïs</i>	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
<i>Tourteau de soja</i>	2,2	1,1	3,3	1,5	1,1
<i>Tourteau de lin</i>	1,9	3,4	1,1	0,6	0,5
<i>Linumex</i>	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Concentré de production (à façon)</i>	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8

Tableau 14 : Quantités d'aliments (en kgMS) distribuées en étable (auge et robot) aux différentes dates de passage en ferme - Exploitation B

dans la ration alors que la quantité de tourteau de soja a beaucoup fluctué. En effet, avec la ration distribuée au 18/04, le tourteau de soja est aussi distribué au robot, en plus de la quantité présente dans la mélangeuse. Par la suite, cette quantité a de nouveau diminué pour atteindre progressivement 1,5 et 1,1kgMS car il a été remplacé par un concentré à façon (25% de pulpes de betteraves sèches, 20% de tourteau de lin, 18% de tourteau de soja, 16% gluten de maïs, mélasse, orge et luzerne) au robot.

Le tableau 15 reprend la composition des différentes rations distribuées. Tout d'abord, les contenus en VEM et DVE n'ont pas fortement évolué avec les variations d'aliments dans la ration même si on peut noter une légère baisse de la concentration énergétique de celle-ci (1,9%). Cela peut s'expliquer par la plus faible quantité de froment incorporée dans la ration dès début avril en partie compensée par la richesse de l'ensilage de maïs. De plus, le nombre de DVE/kVEM varie entre 96 et 101 avec les changements de ration entre le 04/04, le 18/04 et le 03/05 alors que ce rapport gDVE/kVEM diminue jusque 97 avec la dernière ration. Ce ratio est assez important lorsqu'on le compare au besoin de 91g/kVEM pour des vaches produisant 10 000kg de lait (voir 2.2.1.5.). Par contre, le contenu en OEB d'abord très constant dans la ration a ensuite chuté avec la dernière ration distribuée. Cela peut s'expliquer par la baisse de concentrés comme le soja ou le lin présentant des valeurs en OEB assez élevées (Cuvelier et al., 2005).

La quantité d'amidon dans la ration a augmenté légèrement avec l'accroissement de la quantité d'ensilage de maïs et dépasse le seuil des 20% préconisé par Sauvant et al. (1999). En ce qui concerne le contenu en cellulose, celui-ci est resté assez faible avec des valeurs oscillant autour des 18% (seulement 17% au 18/04), ce qui est la limite selon Cuvelier et al. (2005), même si le contenu en NDF semble suffisant (minimum = 30% selon Cuvelier et al. (2005)). La valeur de structure, dernier critère de fibrosité, a augmenté de 16% avec la dernière ration par rapport au

	15-02-19	04-04-19	18-04-19	03-05-19	24-05-19
% MS	44%	43%	48%	51%	51%
Qté ingérée (kgMS)	21,98	22,70	22,14	22,23	21,00
VEM (/kgMS)	1014	995	995	972	961
DVE (g/kg MS)	101	96	96	98	93
DVE / kVEM	100	96	96	101	97
OEB (g/kg MS)	22	20	17	21	2
Protéines (%)	18	18	18	18	16
Amidon (%)	18	20	21	21	20
Cellulose (%)	17	18	17	18	19
NDF (%)	36	38	33	32	40
ADF (%)	19	20	18	19	22
MOF (%)	55	54	56	53	54
Valeur de Structure	1,5	1,7	1,6	1,6	1,8
Correcteur et concentrés (g/kg lait)	204	181	169	163	158
Coût alimentaire (€/1000kg de lait)	116	117	106	113	117

Tableau 15 : Compositions finales des rations distribuées aux différentes dates de prélèvement - Exploitation B

scénario de base en février alors que les rations intermédiaires présentent des augmentations de 11% selon les rations distribuées. La structure globale de la ration est donc assez constante et au-dessus du minimum préconisé de 1,1 (Cuvelier et al., 2005). Le dernier constat est la diminution de la quantité de correcteurs et concentrés utilisés. Cette quantité a chuté de 211g/kg de lait (32% de la matière sèche ingérée) à 160 g/kg de lait (20% de la matière sèche ingérée), ce qui représente une diminution de 24%. Malgré cette diminution, le coût alimentaire n'a que peu diminué. En effet, la diminution de la quantité de concentrés distribuée est compensée par l'utilisation plus importante des ballots de luzerne enrubannés, un fourrage plus onéreux (180€/tMS) en comparaison avec la paille (30€/tMS), l'ensilage de maïs (100€/tMS) ou encore l'ensilage d'herbe (140€/tMS).

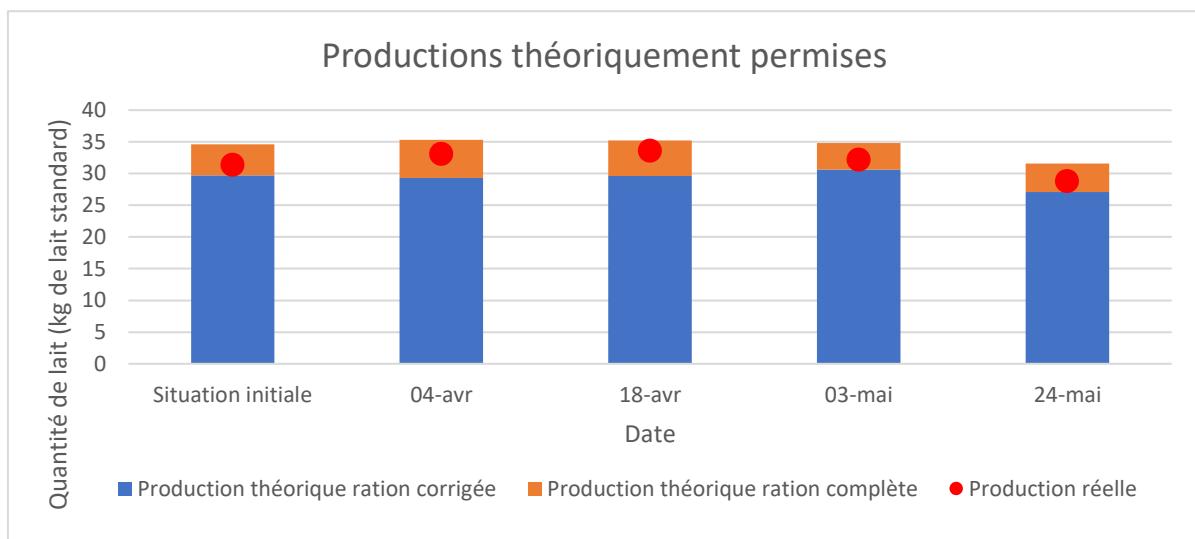
6.2.3.2. Evolution de la production laitière

Comme le montre le tableau 16, sur la période d'étude, la ration complète est toujours déséquilibrée en faveur des protéines. Cet écart théorique varie assez avec une différence de 3,1kg de lait dans la situation initiale qui se réduit jusqu'à 0,8kg de lait au 18/04 et puis cet écart réaugmente par la suite avec 1,8 et 1,7 kg d'écart au 03/05 et au 24/05.

Date	15-02	04-04	18-04	03-05	24-05
Production réelle (kg)	33,9	34,8	36,3	35,3	31,0
Production réelle (kg lait standard)	31,4	33,1	33,6	32,2	28,8
Production théorique ration corrigée (VEM/DVE) (kg de lait)	29,7 / 29,3 / 29,6 / 30,6 / 27,1 / 31,7	29,6	30,2	31,8	28,1
Production théorique ration complète (VEM/DVE) (kg de lait)	34,6 / 35,3 / 35,2 / 34,8 / 31,6 / 37,7	36,8	36,0	36,6	33,3
Jours en lactation	167	188	159	174	186
TB (g/kg)	34,3	36,5	34,4	33,6	34,6
TP (g/kg)	32,0	31,8	31,5	31,0	32,0
Urée (mg/kg)	171	224	209	283	291
kg matières utiles (kg /vl.j)	2,12	2,38	2,29	2,12	2,09
Valorisation du lait (€/1000kg de lait)	279	288	277	272	280

Tableau 16 : Productions laitières théoriques et réelles, taux butyreux et protéiques et valorisation calculée du lait par rapport aux rations distribuées – Exploitation B

A travers le graphe 5, il est possible de faire le lien entre les productions théoriques et réelles. Le premier constat est que globalement, les vaches valorisent bien la ration, avec une production de lait toujours supérieur à la production théoriquement permise par la ration corrigée mais aussi que les concentrés distribués au robot sont assez bien valorisés. En effet au 15/02, la production réelle est de 31,4kg de lait standard, ce qui représente 90% de la production potentielle théorique de la ration complète. Par la suite, l'écart entre les productions théoriques et réelles s'est réduit et la production réelle s'est fortement rapprochée de la production théorique avec 95,5% au 18/04, ce qui traduit une valorisation accrue de la ration des vaches laitières. À la fin des prélèvements, cette efficacité de transformation par rapport au facteur limitant théorique (VEM dans tous les cas ici) a légèrement diminué jusqu'à 91%. Par ailleurs, il est très intéressant de constater que les vaches ont toujours produit une quantité de lait



Graph 5 : Productions théoriques et réelles en kg de lait standard permises par les différentes rations - Exploitation B

supérieure à la quantité théoriquement possible via la ration corrigée. L'usage du concentré de production donné au robot semble donc justifié.

Ensuite, le TB du lait n'a pas évolué favorablement avec le changement de ration. En effet, au jour de l'implémentation du changement, il était à son maximum avec 36,5 g/kg de lait alors que par la suite, ce TB a diminué de nouveau en descendant jusqu'à 33,6 g/kg de lait. Néanmoins, les taux du lait ne suivent pas une évolution constante et fluctuent fortement avec une évolution en dent de scie. Par ailleurs, le TP est resté plus constant, fluctuant entre 31 g/kg et 32 g/kg. Il est aussi intéressant de se référer à la matière utile produite, en kg/j. En effet, alors qu'elle était maximale lors du lancement de changement de ration avec 2,38 kgMU/vl.j, cette quantité a par la suite lentement diminué pour atteindre 2,1 kgMU/vl.j. L'augmentation de la quantité de matières utiles est due à l'augmentation du niveau de production des vaches laitières. En comparaison, la production de matières utiles de l'exploitation B s'est révélée assez élevée car la moyenne wallonne en 2018, pour la race Holstein est de 1,87 kgMU/vl.j (Statbel, 2019).

Le dernier paramètre intéressant à analyser est l'urée du lait qui a très fortement augmenté suite au changement de scénario alimentaire, passant de 224 mg/kg à 290 mg/kg. Cette augmentation montre que la vache ingère soit trop de protéines, soit trop peu d'énergie et que ce surplus est éliminé à travers l'urée, contenue à la fois dans le lait mais surtout dans l'urine. Cette concentration élevée en urée peut s'expliquer par le déséquilibre de la ration en faveur d'un trop grand apport d'azote dégradable, celui-ci étant dû aux changements dans la ration avec le remplacement de l'ensilage d'herbe par des ballots enrubannés. En outre, un trop grand apport de protéines dans la ration n'est pas l'idéal puisqu'il peut avoir des impacts négatifs sur la reproduction des animaux (Wattiaux, 1996), sur la rentabilité de l'exploitation due à une utilisation non optimale des aliments mais aussi sur l'environnement de par les rejets azotés (Vérité et al., 2000).

Enfin, il apparaît qu'avec le changement mis en place, il n'y aurait pas d'amélioration dans la valorisation du lait, par rapport à la situation initiale du 15-02. En effet, alors que la valorisation

calculée est de 0,279€/kg de lait en février, celle-ci descend jusque 0,272€/kg de lait avec la ration du 03/05 mais augmente par la suite avec 0,280€/kg de lait. De plus, c'est au 04/04 que la valorisation du lait est la plus élevée avec 0,288€/kg de lait du fait d'une bonne production de lait mais surtout un TB plus élevé que les autres jours (36,5 g/kg le 04/04 contre 34,2g/kg en moyenne sur les autres jours de prélèvements). Ensuite, il n'existe pas de lien entre le coût alimentaire présenté dans le tableau 15 et la valorisation du lait. En effet, la ration la plus onéreuse (117 €/1000kg de lait) a permis une valorisation du lait de 280€/1000kg alors que la ration la moins coûteuse (106€/1000kg de lait) a permis une valorisation du lait de 277€/1000kg de lait.

6.2.3.3. Matières fécales

L'analyse visuelle des matières fécales a permis de mettre en évidence la présence de grains de maïs et de froment entiers ou presque dans les bouses et ce, lors de chaque passage en ferme. Ce constat peut s'expliquer par différentes causes telles qu'un mauvais traitement des grains (grains de froment pas assez aplatis, grains de maïs pas assez éclatés) ainsi qu'un excès de grains mais aussi par un manque de fibres (Vagneur, 2003). Un examen plus poussé des grains incorporés dans la ration permettrait de déterminer si le processus de mouture est suffisant. Néanmoins, cela démontre que les aliments ne sont pas assez digérés.

Ensuite, le tableau 17 ci-dessous reprend les caractéristiques des matières fécales analysées par infrarouge.

	<i>MPT (%)</i>	<i>Cendres (%)</i>	<i>Amidon (%)</i>	<i>NDF (%)</i>	<i>ADF (%)</i>	<i>Digestibilité (%)</i>
18-04-19	19,9	10,7	2,4	49,1	26,2	78
03-05-19	19,8	8,8	2,8	49,5	26,7	70
24-05-19	18,8	5,9	3,2	53,7	28,7	67

Tableau 17 : Compositions des échantillons de matières fécales - Exploitation B

Le premier constat que l'on peut dresser est que la quantité totale de protéines dans les matières fécales approche les 20%. Cette valeur est un peu plus élevée que celles obtenues par Carjot (2013) qui sont de l'ordre de 17% mais l'alimentation et les orientations des fermentations peuvent l'expliquer.

Ensuite, il apparaît que le contenu en amidon dans les matières fécales a augmenté pendant l'essai et est ainsi supérieur aux valeurs observées par Carjot (2013), celles-ci étant inférieures à 2%. Cela s'explique notamment par la présence des grains dans les matières fécales.

Enfin, la digestibilité apparente de la ration a baissé de 9% avec le remplacement de l'ensilage par les ballots. Les fibres contenues dans les ballots sont en effet moins digestibles (64% de digestibilité cellulase) que les fibres contenues dans l'ensilage (71%). De plus, la proportion de concentrés et correcteurs étant plus faible, cela impacte négativement la digestibilité de la ration. Une plus faible digestibilité de la matière organique retrouvée dans les bouses est le signe d'une meilleure digestion de la ration complète car au plus la digestibilité des résidus est faible, au plus il était difficile pour la vache de les valoriser, ce qui ne coïncide pas avec le contenu en amidon qui augmente.

		<i>CEL</i>	<i>NDF</i>	<i>ADF</i>	<i>Digestibilité</i>
03-05-19	Tamis	% MS	% MS	% MS	%
	T1 (4mm)	34,6	67,6	44,7	41,7
	T2 (2mm)	38,5	76,8	50,5	31,5
24-05-19	T3 (1mm)	37,6	74,1	48,5	33,7
	T1 (4mm)	39,3	73,4	52,0	30,2
	T2 (2mm)	40,6	76,6	53,8	25,8
	T3 (1mm)	40,2	75,8	53,7	26,7

Tableau 18: Compositions des échantillons de matières fécales tamisées selon leur taille - Exploitation B

Le tamisage des rations permet d'identifier le contenu en fibres dans chaque tamis ainsi que la digestibilité de la matière organique associée à chaque tamis. Il apparaît dès lors que le contenu en fibres NDF et cellulose est plus élevé dans les fractions plus fines. Néanmoins, la digestibilité des fibres retrouvées dans ces deux fractions est très faible, ce qui veut dire que les vaches ont bien valoriser la ration.

Par ailleurs, de telles différences sont difficiles à expliquer et il ne faut pas négliger le facteur animal. En effet, selon Decruyenaere (2019), il est possible d'avoir 10 points de différence dans la digestibilité des bouses avec des animaux recevant les mêmes aliments. Dans ce cas-ci, l'échantillonnage peut être défectueux.

6.2.3.4. Efficience et autonomie

Enfin, le tableau 19 reprend l'ensemble des valeurs relatives à l'autonomie alimentaire et à l'efficience azotée calculées sur base de la ration des vaches laitières.

	15-02-19	04-04-19	18-04-19	03-05-19	24-05-19
<i>Autonomie</i>	69%	68%	68%	70%	72%
<i>Autonomie fourragère</i>	83%	83%	84%	83%	84%
<i>Autonomie en concentrés</i>	41%	31%	31%	34%	35%
<i>Efficience azotée</i>	28,8%	28,4%	32,8%	34,1%	30,9%

Tableau 19 : Autonomies et efficience azotée associées aux différentes rations distribuées - Exploitation B

L'autonomie alimentaire pour la ration des vaches laitières varie entre 68% et 72% avec une augmentation pendant l'essai. Cela s'explique par la quantité plus faible de concentrés distribués mais aussi parce l'augmentation de fourrages dans la ration a contrebalancé la diminution de l'utilisation des concentrés issus de l'exploitation (froment et farine de maïs). Par ailleurs, le niveau d'autonomie de la ration en fourrages ne fluctue que très peu car la ration est restée inchangée sur la quantité de fourrages à introduire dans le mélange avec le remplacement de la paille et de l'ensilage d'herbe par des ballots enrubannés.

L'efficience azotée a oscillé entre 28 et 31%. En effet, partie de près de 29%, elle a par la suite chuté de 0,5% avant d'atteindre 30%. Cette augmentation s'est arrêtée car l'efficience azotée a rechuté jusque 28,5% puis réaugmenté jusque 31%. Si l'efficience azotée a augmenté au 18/04, cela s'explique par la quantité accrue de protéines dans le lait alors que la quantité de protéines dans la ration n'a pas évolué. A l'inverse, la dernière ration étant moins riche en protéines,

l'efficience azotée s'est aussi améliorée de cette façon. Les efficiencies azotées présentées dans le tableau 19 ci-dessus prennent en compte les refus, lorsqu'ils sont disponibles (4,4% le 18/04, 4,9% le 03/05 et 0% le 24/05).

6.2.3.5. Rumination et tamisage Penn State

Les infrastructures et le logement des vaches n'ayant pas changé depuis le début, le résultat final du test Welfare Quality®, a peu évolué. Il est néanmoins très intéressant d'examiner l'évolution du nombre de vaches couchées et en rumination présenté dans le tableau 20. Chaque passage en ferme pour la prise de données s'est déroulé le matin, vers 10h alors que les animaux sont nourris vers 7h au matin.

	15-02-19	04-04-19	18-04-19	03-05-19	24-05-19
% Couchées	9%	30%	17%	21%	23%
% Rumination	0%	31%	20%	25%	26%

Tableau 20 : Score de rumination des vaches présentes en étable - Exploitation B

Le premier constat est que le nombre le plus élevé des vaches couchées et en rumination a eu lieu début avril alors que par la suite, ce nombre a aussi diminué. La rumination des animaux couchés donne le même constat, seulement le quart des vaches couchées rumine, ce qui fait donc un nombre très faible sur le troupeau. La conclusion est la même que lors du diagnostic, il y a trop peu d'animaux qui sont au repos et en rumination.

Il est possible de faire un lien entre le score des bouses et la taille des particules. En effet, lorsque la taille des particules est plus élevée et proche de 10mm, le nombre d'animaux au repos et en rumination est plus élevé. Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux observés par Sauvant (2000) qui identifie que le temps de rumination est plus faible avec une granulométrie de ration qui sous les 4mm.

Enfin, le contenu en matières grasses du lait a aussi augmenté lorsque la taille moyenne des particules était plus élevée, au 04/04. Cela peut s'expliquer par la modification du rapport acétate/propionate dans le rumen en faveur d'une augmentation de l'acétate, précurseur de la matière grasse. En effet, dans cette ration, la quantité d'ensilage d'herbe est plus élevée, ce qui engendre une augmentation de la fibrosité. Ces résultats sont en accord avec ceux décrits par Sauvant (2000) qui identifie une augmentation de la matière grasse du lait et de la rumination avec l'augmentation de la taille moyenne des particules plus grande. Cependant, les tailles de particule dans l'étude et dans l'exploitation présentée ici ne sont pas du même ordre de taille même si la même relation est mise en évidence.

	15-févr	04-avr	18-avr	03-mai	24-mai
Tamis 1	29%	44%	29%	41%	36%
Tamis 2	33%	24%	30%	24%	23%
Tamis 3	20%	18%	22%	17%	19%
Bac	17%	15%	18%	18%	22%
Taille moyenne particules (mm)	7,92	9,86	7,45	7,48	7,45

Tableau 21 : Résultats du passage des rations au PennState Separator - Exploitation B

6.2.4. Diagnostic environnemental

6.2.4.1. Objet de la simulation

Afin de pouvoir comparer les situations avant et après le changement mis en place, toutes les mêmes données sont enregistrées avec certaines exceptions. L'étude compare les deux systèmes sur une analyse annuelle.

Premièrement, au niveau des fourrages, la simulation s'est basée sur une ration constante toute l'année car il n'est pas possible d'évaluer les potentiels changements au cours de l'année. De plus, comme les surfaces et cultures en place ne sont pas modifiées, c'est la destination (catégorie d'animaux) qui consomment les fourrages qui a été adaptée. Dans ce cas-ci, le mœteil et les prairies permanentes sont considérés essentiellement comme répartis entre les jeunes bovins et les taureaux. Par ailleurs, la luzerne est considérée comme essentiellement consommée par les vaches en lactation.

Ensuite en ce qui concerne les concentrés, les quantités achetées sont restées similaires à l'exception des concentrés qui ont fait l'objet de la scénarisation décrite plus haut. Dans ce cas, le rapport entre l'ancienne consommation et la nouvelle a permis de prédire la consommation totale à encoder dans l'outil. La simulation porte donc sur des nouvelles quantités de tourteau de soja, de tourteau de lin et de concentrés de production (mélange à façon). Enfin, les performances du troupeau sont considérées inchangées.

6.2.4.2. Résultats et discussion

	Avant	Après	Evolution
Gaz à effet de serre			
Emission totale (kgCO _{2e} /haSAU)	7748	7917	+2,2%
Emission totale (kgCO _{2e} /1000kg de lait)	1859	1900	+2,2%
Dont CH ₄ (kgCO _{2e} /haSAU)	3636	3926	+8,0%
Dont NO ₂ (kgCO _{2e} /haSAU)	1526	1498	-1,8%
Alim animaux (kgCO _{2e} /haSAU)	668	581	-13,0%
Ammoniac (kgNH ₃ /haSAU)	34	23	-32,4%
Emissions directes (kgCO _{2e} /haSAU)	6187	6449	+4,2%
Emissions indirectes (eau et électricité) (kgCO _{2e} /haSAU)	0	0	
Autres émissions indirectes (kgCO _{2e} /haSAU)	1561	1468	-5,95%
Energie			
Consommation totale énergie (MJ/haSF)	37750	36648	-2,9%
Consommation alimentation bétail (MJ/haSF)	15963	14863	-6,9%

Tableau 22 : Bilan des émissions de GES et énergies pour la situation réelle et la simulation du changement alimentaire - Exploitation B

Le premier constat est l'augmentation de l'impact écologique suite au changement de pratiques alimentaires. En effet les émissions totales, ramenées en équivalent CO₂ (kgCO_{2e}), augmenteraient de 170 kgCO_{2e}, soit 2,2% par hectare de SAU. Plus précisément, les composantes majeures de ce bilan sont les émissions de méthane, de protoxyde d'azote et d'ammoniac. Si on se penche plus spécifiquement sur les émissions de méthane, elles augmenteraient de 8% avec la nouvelle alimentation. Cela est dû à la méthode de calcul qui met

en relation les émissions de méthane et la digestibilité énergétique des aliments. Selon cette méthode, un aliment très digestible comme un bon fourrage ou un concentré produira moins de méthane qu'un aliment moins digestible. Dans ce cas-ci, la diminution de concentrés remplacés par des fourrages moins digestibles, favorise donc la production de méthane. De plus, la réduction de la quantité de lin, qui aurait un impact positif sur les émissions de méthane, est aussi une piste d'explication de cette augmentation de production de méthane (Brunschwig et al., 2010). D'après cette simulation, les émissions azotées (protoxyde d'azote et ammoniac) auraient tendance à diminuer. Ce changement s'explique aussi par les méthodes de calcul dans la mesure où, avec la simulation, les pâtures ne sont plus récoltées comme ensilage pour les vaches laitières mais sont disponibles pour pâturage pour les jeunes bêtes. Etant donné que les émissions de protoxyde d'azote proviennent essentiellement du stockage des engrains de ferme, avec un pâturage accru des jeunes bêtes, les engrains de ferme sont directement répandus et cela engendre une diminution des émissions azotées. Le raisonnement est le même en ce qui concerne l'ammoniac. Ainsi, l'augmentation des émissions directes de 6187 kgCO_{2e}/haSAU à 6449 kgCO_{2e}/haSAU est principalement due à l'augmentation de la production de méthane par les vaches alors que la diminution des émissions indirectes (de 1561 à 1468 kgCO_{2e}/haSAU) s'explique par la plus petite quantité d'aliments achetés dans la simulation. Enfin, au niveau de l'énergie nécessaire à la production, les nouvelles pratiques de rationnement semblent être moins gourmandes en énergie avec une réduction de 1100MJ/haSF. Cela s'explique par la diminution de la quantité d'énergie à apporter pour l'alimentation du bétail. Avec la diminution de l'utilisation de concentrés, la part d'énergie consommée par l'atelier s'en trouve diminuée car les concentrés sont consommateurs d'énergie entre autre pour la fabrication et le transport (Morin et al., 2011).

7. Exploitation C

7.1. Matériel et méthode

7.1.1. Caractéristiques générales

L'exploitation est de type polyculture-élevage avec un atelier lait composé de +-200 vaches en lactation avec traite robotisée et des cultures de rentes (pommes de terre, betteraves) pour une SAU totale avoisinant 153 ha ainsi qu'un atelier de transformation et commercialisation du lait à la ferme.

7.1.2. Diagnostic

Le diagnostic supplémentaire réalisé dans cette exploitation est une analyse des achats de concentrés utilisés pour nourrir les vaches laitières.

7.1.3. Scénarisation

Au sein de l'étable des vaches laitières le troupeau est divisé en deux lots, un premier lot reprenant les vaches multipares et un deuxième composé des vaches primipares. L'étude réalisée dans cette exploitation ne portera que sur le lot des multipares. Ce dernier étant composé de suffisamment d'individus (+-120), il a été possible de distinguer deux sous-groupes distincts pour lesquels les quantités de concentrés distribuées ne seront pas les mêmes.

7.1.3.1. Choix des animaux

Le tableau 23 ci-dessous reprend la logique selon laquelle ont été séparées les vaches dans les deux groupes. Les animaux ont été choisis sur base de leur numéro de lactation, stade de lactation et de leur production laitière moyenne. L'objectif était d'avoir deux groupes les plus homogènes et semblables possibles. Afin de ne pas perturber les animaux en début de lactation, période critique pour les vaches hautes productrices, seuls les individus présentant au moins 70 jours de lactation au 01/07/2019 ont fait partie de l'essai car l'essai prend une période de 10 jours d'adaptation des animaux.

Catégorie	Groupe Témoin				Groupe PROTECOW			
	N° Lactation	Nbre animaux	Prod (L)	JEL	N° Lactation	Nbre animaux	Prod (L)	JEL
70-100	2	4	40,5	89	2	4	42,5	89
100-150	2	5	35,8	126	2	4	34,5	112
150-200	2	6	30,2	172	2	5	29,0	174
200 +	2	12	26,5	285	2	11	27,1	246
70-100	3	1	35,0	75	3	0	0,0	0
100-150	3	0	0,0	0	3	1	38,0	100
150-200	3	3	30,7	182	3	3	31,7	175
200 +	3	8	28,8	224	3	10	27,4	254
70-100	4	1	43,0	93	4	2	40,5	86
100-150	4	1	39,0	115	4	1	43,0	138
150-200	4	2	29,0	181	4	2	29,5	179
200 +	4	8	28,9	286	4	8	28,1	294
Total	2,82	51	30,1	216	2,92	51	30,6	208

Tableau 23 : Répartition des animaux dans les deux groupes - Exploitation C

Une répartition des vaches plus détaillée est reprise dans l'annexe 6.

7.1.3.2. Mise en place et déroulement de l'expérimentation

L'expérimentation a nécessité une phase d'adaptation de l'ordre d'une semaine afin d'éviter un changement de régime alimentaire trop brusque pour les animaux, le pas maximum étant de 200 grammes de concentrés / jour. La phase de prise de données a donc commencé le 16/05/2019 pour finir le 28/06/2019.

Suite à une erreur de manipulation dans l'adaptation du robot, l'expérimentation ne fut pas concluante et une deuxième période d'essai a donc recommencé. Cette nouvelle période de prise de données s'étale donc du 28/06/2019 au 24/07/2019.

7.1.4. Suivi et prise de données

7.1.4.1. Productions laitières

Le suivi de la production laitière individuelle a été réalisé via les données enregistrées quotidiennement par les robots de traites installés dans l'étable. Les taux du lait sont mesurés individuellement lors du contrôle laitier effectué dans l'exploitation.

Les données récoltées ont fait l'objet d'une analyse de type AV1 dans le logiciel Minitab. Le but est de comparer l'évolution de ces deux groupes de vaches au niveau de leur production de lait mais aussi des taux.

7.1.4.2. Notes d'Etat Corporel (NEC)

Au début de la phase d'expérimentation, les notes d'états corporels (sur une échelle de 1 à 5) ont été prises sur un grand nombre de bovins présents dans l'étable. Cette prise de données a également été réalisée lors de la fin de l'expérimentation. L'objectif est d'étudier l'évolution de cette note d'état en fonction du régime alimentaire propre à chaque groupe.

7.1.4.3. Analyse des rations distribuées

Des échantillons de ration sont prélevés lors de chaque passage en ferme. Une partie de l'échantillon est tamisée, le restant est analysé par infrarouge. Les fourrages distribués ont également fait l'objet d'une analyse infrarouge.

7.2. Résultats et discussion

7.2.1. Diagnostic

7.2.1.1. Historique des productions laitières

Le tableau 24 ci-dessous reprend les données du contrôle laitier entre 2015 et 2018.

	2016	2017	2018
Lait produit par vache (kg/an)	9 418	9 292	9 026
Lait produit par hectare (kg/haSFPC.an)	18 001	18 096	14 033
TB (g/kg lait)	40,3	39,9	39,2
TP (g/kg lait)	33,6	34,3	33,3

Tableau 24 : Evolution de la production laitière entre 2016 et 2018 – Exploitation C

Le premier constat est la diminution de la quantité de lait produite par vache entre 2016 et 2018. En effet, la baisse de production annuelle de 9 418kg de lait/vl à 9 026kg de lait/vl représente une chute de 4,2%. Dans le même temps, la production de lait par rapport à la surface fourragère s'est maintenue entre 2016 et 2017 mais a chuté de 4 000kg de lait en 2018. En ce qui concerne les taux du lait, le taux protéique a dans un premier temps évolué positivement entre 2016 et 2017 puis a perdu 1% de contenu entre 2017 et 2018. Le taux butyreux, quant à lui s'est maintenu autour de 4% avec néanmoins une diminution de 1,1g de contenu en matières grasses dans le lait entre 2017 et 2018.

7.2.1.2. Consommation d'aliments achetés

Comme le présente le tableau 25 ci-dessous, les quantités de concentrés consommées par les vaches laitières en 2016 et 2017 sont assez élevées puisqu'elles atteignaient respectivement 2600 et 2500kg/vl. On observe donc une évolution positive entre 2016 et 2017 avec une consommation diminuée de l'ordre de 100kg/vl, ce qui correspond à une économie de 110 €/vl. Lorsqu'on analyse les quantités achetées plus en détail, on remarque que cette économie est expliquée par une diminution des achats de concentrés de production à 18% de protéines (-6%) et de correcteurs azotés à 40% de protéines (-68%). Cet effet est en partie contrebalancé par l'augmentation du tourteau de soja (+93%), de l'orge (+19%) et du concentré de production à 24% de protéines (+20%). De plus, lors de la comparaison des exploitations pour l'année 2018 dans le cadre du projet PROTECOW, il est apparu que cette exploitation est celle qui a consommé le plus d'aliments concentrés avec un total de 2770kg/vl, alors que la moyenne des 18 éleveurs du projet est de 1760kg/vl. Cela représente une consommation plus élevée de 57% comparativement aux autres exploitations.

	2016			2017	
	kgMF/vl	€/vl		kgMF/vl	€/vl
<i>Concentré de production à 18% MPT</i>	990,0	278,8		927,7	272,8
<i>Soja</i>	331,1	100,4		640,8	188,3
<i>Orge</i>	371,9	46,6		443,9	62,6
<i>Concentré de production à 24% MPT</i>	229,9	83,1		277,9	79,3
<i>Correcteur azoté à 40% de MPT</i>	685,6	279,3		215,6	75,0
<i>Total</i>	2 608,5	788,2		2 505,9	678,0

Tableau 25 : Quantités d'aliments concentrés achetés (kgMF/vl) et le coût associé (€/vl) en 2016 et 2017 - Exploitation C

7.2.1.3. Rationnement

Au sein de l'exploitation, il n'y a pas de suivi de ration réalisée par des nutritionnistes ou commerciaux. De fait, les rations présentées par ces personnes extérieures à l'exploitation sont recalculées et adaptées par l'exploitant. Il n'y a donc pas assez d'informations reflétant les rations distribuées aux vaches. Néanmoins, il apparaît que le rationnement au sein de cette exploitation est réfléchi comme suit : La ration de base est déséquilibrée en protéines afin de donner envie aux animaux de venir au robot de traite où une quantité de protéines est distribuée en lien avec leur niveau de production.

Le tableau 26 ci-dessous reprend les fourrages et coproduits utilisés dans la ration distribuée aux vaches multipares le 15-05-2019

	<i>Ensilage de maïs</i>	<i>Ensilage d'herbe</i>	<i>Pulpes de betteraves</i>
<i>Qté distri. (kgMS)</i>	8,8	3,2	2,5
% MS	32,7	23	24
VEM (/kgMS)	965	815	1066
DVE (g/kgMS)	50	49	104
OEB (g/kgMS)	-41	49	-85
Protéines (%)	6,5	16,1	8,5
Amidon (%)	34,7	0	0
Cellulose (%)	20,4	27,6	17,7
NDF (%)	40,0	43,3	49,4
Valeur de structure	1,7	3,0	1,1

Tableau 26 : Quantités et compositions des aliments (en kgMS) présents dans la ration distribuée aux vaches laitières le 15/05/2019 - Exploitation C

Comme le présente le tableau 26, la ration distribuée ne contient que 3 types de fourrages que sont l'ensilage d'herbe composé de Ray-Grass et de trèfle, l'ensilage de maïs et les pulpes surpressées. La quantité de fourrages structurant comme l'ensilage d'herbe est faible, d'autant plus que les ensilages de maïs et pulpes n'augmentent pas très fortement la fibrosité de la ration.

La ration est complémentée par 4 correcteurs azotés et un correcteur énergétique auxquels viennent s'ajouter deux concentrés de production.

- 1,52kg MS de tourteau de soja
- 1,19kg MS de correcteur azoté contenant 40% de protéines
- 0,32kg MS de Limax32 (correcteur azoté liquide contenant de l'urée et de la mélasse)
- 0,9 kg MS de pois protéagineux
- 1,04kg MS d'orge
- 0,49kg MS de concentré de production pour les débuts de lactation à 24% de protéines
- 1,63kg MS de concentré de production à 18% de protéines

Certains de ces concentrés comme le pois protéagineux et l'orge sont produits sur la ferme.

La composition finale de la ration :

<i>Composition finale de la ration</i>			
Total distribué (kgMS)	21,9	% Protéines	16
% MS	36	% Amidon	20
VEM (/kgMS)	995	% Cellulose	17
DVE (g/kgMS)	96	% NDF	25
OEB (g/kgMS)	5	VS	1,2

Tableau 27 : Composition finale de la ration distribuée au 15-05-2019 – Exploitation C

Au niveau des indicateurs de compositions de ration, celle-ci semble un peu faible en fibres avec seulement 17% de cellulose et 25% de NDF contrairement aux recommandations de 18% et 30% (Sauvant et al., 1999; Cuvelier et al., 2005). La quantité d'amidon présente dans la ration ne dépasse pas les recommandations (max 25%). La valeur de structure finale est assez proche de la valeur limite de 1,1 (Cuvelier et al., 2005) et cela s'explique notamment par la faible quantité de fourrages structurant comme l'ensilage d'herbe

La production théorique permise par cette ration est de 33,5 kg de lait par l'énergie et 38kg de lait par les protéines. La ration est donc déficitaire en énergie. Cela exprime aussi que les concentrés protéiques apportés au robot ne sont pas valorisés complètement.

Le passage de la ration au tamis PennState Separator a donné les résultats suivants :

- 47% dans le premier tamis
- 35% dans le deuxième tamis
- 9% dans le troisième tamis
- 9% dans le bac du fond
- 13,17mm pour la taille moyenne des particules

7.2.1.4. Autonomie et efficience

L'autonomie alimentaire de la ration distribuée au 15-05-2019 est de 64,5%. L'efficience azotée dans associée à la ration est de 31,4%.

7.2.2. Scénarisation

Pour améliorer les performances technico-économiques de cette exploitation, l'objectif de travail s'est porté sur la réduction des quantités de concentrés distribuées. Le type de concentrés distribués étant important pour attirer les vaches au robot et pour la persistance de la lactation des vaches hautes productrices, Eddy DECAESTEKER, nutritionniste présent sur le projet PROTECOW, a proposé de réduire le niveau global de concentrés en réadaptant la quantité de correcteur à 40% de protéines et la quantité de concentré de production à 18% de protéines en fonction du niveau de production des vaches.

Changement alimentaire

La nouvelle table d'alimentation au robot, qui permet de revoir la quantité d'aliments concentrés que la vache va recevoir en fonction de sa production laitière est réfléchie comme suit :

- Ration équilibrée à 35kg de lait avec 2,25 kg de correcteur azoté (40% de protéines)
- Vaches -35 kg de lait
 - Pas de concentré de production (18% de protéines)
 - 35kg de lait = 2,25 kg de correcteur azoté (40% de protéines)
 - 25kg de lait = 2,00 kg de correcteur azoté (40% de protéines)
 - 15kg de lait = 1,75 kg de correcteur azoté (40% de protéines)
- Vaches + 35 kg de lait
 - 2,25 kg de correcteur azoté (40% de protéines)
 - Evolution dans la quantité de concentré de production (18% de protéines)
 - 35 kg de lait = 0,0 kg de concentré de production (18% de protéines)
 - 40 kg de lait = 1,5 kg de concentré de production (18% de protéines)
 - 45 kg de lait = 3,0 kg de concentré de production (18% de protéines)
 - 50 kg de lait = 4,5 kg de concentré de production (18% de protéines)
 - 55 kg de lait et + = 6 kg de concentré de production (18% de protéines)

La différence entre la nouvelle table d'alimentation par rapport à l'ancienne est présentée dans le tableau 28 ci-dessous.

	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	75
CN (40%)	+1,55	+1,38	+1,50	+1,33	+0,95	+0,55	+0,25	+0,15	+0,05	+0,05	-0,25
CP (24%)	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,50	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
CP (18%)	-1,10	-1,10	-1,50	-1,50	-2,20	-2,00	-1,50	0,00	+1,00	+0,50	0,00
	+0,35	+0,18	-0,10	-0,27	-1,35	-1,95	-2,25	-0,85	+0,05	-0,45	-1,25

Tableau 28 : Evolution de la quantité de concentrés distribués entre l'ancienne table de distribution des concentrés et la nouvelle - Exploitation C

Le changement sur la quantité est donc important surtout pour les vaches moyennes du troupeau.

7.2.3. Suivi et résultats

Comme dit précédemment, suite à une erreur de manipulation de l'adaptation du robot (mauvaise mise à jour des tables), la première expérimentation ne fut pas concluante et les résultats de la seconde ont été obtenus trop tardivement pour être présentés dans ce travail. Ils seront néanmoins analysés par la suite.

Afin de déterminer l'impact de ce changement, une estimation de la quantité de concentrés consommées sur une année a été réalisée à l'aide des productions individuelles des vaches au 25/06/2019.

La conclusion est une diminution de la consommation totale du concentré de production à 18% de protéines de 55% (de 119,7t à 53,9t) alors que la quantité de correcteurs azotés à 40% de protéines serait multipliée par 1,84 (de 55,8t à 102,6t).

Au niveau économique, avec un prix de 450€/tMS pour le concentré à 40% et de 312€/tMS pour le concentré à 18%, la conséquence de ce changement, estimée sur une année, est l'augmentation de 540€/an en achats de concentrés.

L'objectif est aussi qu'avec une diminution de la quantité de concentrés ingérée et une augmentation des fourrages, la production d'acétate dans le rumen soit légèrement augmentée avec pour conséquence une augmentation de la matière utile dans le lait.

7.2.4. DECiDE

7.2.4.1. Simulation

Pour la simulation, les données encodées dans le programme de base sont restées les mêmes à l'exception des quantités de correcteurs à 40% de protéines et de concentrés de production à 18% de protéines. Pour ces derniers, les quantités totales distribuées sur l'année ont été estimées sur base de la répartition des animaux selon les différents paliers de la table de distribution des concentrés.

7.2.4.2. Résultats et discussion

Tout d'abord, le premier constat est l'augmentation de la quantité totale d'émission de GES. En effet, la simulation du changement prévoit une augmentation de ±130 kg CO_{2e} / ha SAU. Plus précisément, cette augmentation globale est liée à l'accroissement des quantités de GES émis à

chaque poste du tableau 29. Le calcul réalisé pour estimer les nouvelles quantités de concentrés a mis en évidence que la quantité de concentré de production (18% de protéines) consommée serait divisée par trois alors que la quantité de correcteur à 40% de protéines serait multipliée par deux. Le concentré de production ayant une teneur en protéines inférieure à 20%, est considéré comme étant composé de tourteau de colza ou encore de céréales et $\pm 10\%$ de tourteau de soja alors que le correcteur à 40% MPT est considéré comme un concentré composé de 65% de tourteau de soja, tourteau de tournesol, tourteau de lin, etc. De par cette différence, le correcteur azoté produit 157% plus de GES que le concentré de production (Loriers, 2019)

En ce qui concerne le bilan énergétique, celui-ci est très élevé car il reprend la consommation électrique de l'unité de transformation du lait ainsi que l'eau de distribution. Néanmoins, selon la simulation, le changement alimentaire diminuerait la quantité totale d'énergie consommée. Ce résultat est en accord avec (Morin et al., 2011) qui précise que l'énergie consommée par une exploitation diminue avec la quantité de concentrés apportée.

	Avant	Après	Evolution
Gaz à effet de serre			
Emission totale (kgCO _{2e} /haSAU)	17515	17666	+0,9%
Emission totale (kgCO _{2e} /1000kg de lait)	1594	1608	+0,9%
Dont CH ₄ (kgCO _{2e} /haSAU)	9580	9617	+0,4%
Dont NO ₂ (kgCO _{2e} /haSAU)	2365	2424	+2,5%
Alimentation animaux (kgCO _{2e} /haSAU)	2326	2382	+2,4%
Ammoniac (kgNH ₃ /haSAU)	120	125	+4,2%
Emissions directes (kgCO _{2e} /haSAU)	13849	13945	+0,7%
Emissions indirectes (eau et électricité) (kgCO _{2e} /haSAU)	176	176	+0,0%
Autres émissions indirectes (kgCO _{2e} /haSAU)	3489	3545	+1,6%
Energie			
Consommation totale énergie (MJ /haSF)	62410	62349	-0,1%
Consommation alimentation bétail (MJ/haSF)	20985	20956	-0,1%

Tableau 29 : Bilan des émissions de GES et consommations d'énergies pour la situation réelle et la simulation du changement alimentaire - Exploitation C

8. Discussion générale

A travers ce travail, de nombreuses pratiques d'alimentation, ayant pour but d'améliorer les résultats technico-économiques des exploitations, ont été abordées. Un des enjeux actuels en élevage est de garder une exploitation rentable malgré la valorisation des denrées agricoles qui n'évolue pas (ou dans le mauvais sens), notamment en étant plus performant sur ses coûts. Les pratiques abordées ont des effets attendus très différents sur le troupeau mais aussi sur l'environnement.

8.1. Performances de production des exploitations étudiées

Tout d'abord, force est de constater que les trois exploitations présentent un bon niveau de production. En effet en 2018, la production moyenne pour des vaches de la race Holstein atteignait 9 246 kg de lait/vl.an. Avec des productions respectives de 9 257kg, 8 890kg et 9 026kg pour les exploitations A, B et C, les productions moyennes de ces trois fermes peuvent être considérées comme élevées. La moyenne wallonne en race Holstein sur cette même année est de 9 246kg de lait/vl. Ensuite, au niveau des taux du lait, dont les moyennes wallonnes sont 40,0 g/ kg de lait pour le TB et 33,9 g/ kg de lait pour TP, il apparaît que ces trois exploitations sont moins performantes. En effet, alors que l'exploitation C présente des résultats presque comparables à la moyenne (39,2 g/kg en TB et 33,3g/kg en TP), les deux autres sont nettement moins performantes avec un TB de 37,7 g/kg et un TP de 32,0 g/kg pour l'exploitation A et un TB de 35g/kg et un TP de 32g/kg pour l'exploitation B (Statbel, 2019).

Enfin, en ce qui concerne la productivité en fonction de la superficie fourragère, la moyenne du groupe PROTECOW atteint 15 119 kg de lait /haSFPc en 2018, la moyenne des 6 exploitations wallonnes 13 775 kg de lait/haSFPc et plus spécifiquement 12 980kg de lait/haSFPc pour les 3 exploitations suivies dans ce travail. En comparaison à l'ensemble du groupe, les trois exploitations étudiées produisent donc moins de lait sur la même surface fourragère. On observe néanmoins des différences entre elles puisque l'exploitation C, avec 14 033kg de lait/haSFPc est plus intensive que les autres exploitations wallonnes alors que l'exploitation A, avec 12 684kg de lait/haSFPc et l'exploitation B avec 12 261kg de lait/haSFPc, sont considérées moins intensives que leurs homologues wallons. Les composantes majeures de ce calcul sont les rendements fourragers, la productivité des vaches, ainsi que le nombre de vaches en lactation par rapport au nombre total d'animaux. Si l'on considère que les deux premiers paramètres peuvent être similaires entre les exploitations, le dernier dépend essentiellement du taux de réforme et de renouvellement du troupeau. En effet, l'élevage d'un trop grand nombre de génisses nécessite plus de fourrages et donc plus de surfaces fourragères (achetées ou produites).

8.2. Impacts des pratiques de rationnement

8.2.1. Fourrages

La nature des fourrages apportés joue un rôle très important en production laitière bovine. L'ensilage de maïs est le fourrage le plus utilisé lorsque l'on veut augmenter la quantité d'énergie présente dans une ration. Le mode de récolte de ce fourrage est à réfléchir car il influence directement les valeurs nutritives. Ainsi, la récolte de la plante entière est gage de plus de fibrosité et de rendement mais est aussi l'aliment le moins riche en énergie, alors que la récolte en épis broyés permet de concentrer la ration aux dépens de la teneur en fibres.

La récolte de l'herbe est aussi un facteur important. En effet, selon le stade de récolte et les espèces prairiales, les valeurs alimentaires peuvent très fortement varier et atteindre des valeurs élevées en VEM et DVE, comme vu au début de la saison de pâturage dans l'exploitation A. En plus de pouvoir présenter des valeurs alimentaires élevées, l'utilisation d'herbe dans la ration présente aussi l'avantage d'amener la fibrosité nécessaire au bon fonctionnement du rumen, parfois au détriment des valeurs nutritives qui diminuent lorsque le contenu en fibres augmente (Crémer et al., 2012). Ensuite, les cultures de légumineuses présentent nombreux bienfaits tels que l'apport en protéines, la sécurisation des rendements en période de sécheresse ou encore l'augmentation de l'appétence des rations (Decruyenaere et al., 2016).

Globalement, les ensilages de maïs utilisés dans les trois exploitations présentent des valeurs nutritives légèrement plus faibles (918 VEM/kgMS pour l'exploitation A et 927 VEM/kgMS pour l'exploitation C) que la moyenne de 938 VEM/kgMS en région limoneuse entre 2015 et 2017. Cela peut notamment s'expliquer par les conditions climatiques 2018 qui ont affecté négativement la qualité des maïs (Frijlink et al., 2018). L'exploitation B utilise un maïs nettement plus riche en VEM (1006VEM/kgMS), ce qui s'explique par la présence d'épis broyés dans le silo. Au niveau de la culture d'herbe, l'exploitation A utilise du Ray-Grass de qualité supérieure à la moyenne. En effet, avec des valeurs nutritives en moyenne de 906VEM/kgMS, 77gDVE/kgMS, 18,8% de MPT et 24,7% de cellulose, cela dépasse la moyenne de la région agricole concernée (831VEM/kgMS, 58gDVE/kgMS, 12,6% de MPT et 28,43% de cellulose). Les exploitation B et C, ont d'avantage recours à des ensilages de luzerne qui présentent des valeurs plus faibles. Les analyses des fourrages disponibles sur les exploitations prouvent qu'il est difficile de répondre aux besoins élevés des vaches qui demandent en moyenne 907 VEM/kgMS et 80gDVE/kgMS pour des vaches à 9000kg de lait. En effet, lorsque l'énergie est suffisante, les protéines ne le sont pas.

8.2.2. La complémentation en concentrés

Les aliments concentrés utilisés pour corriger ou densifier une ration sont très divers. Ainsi, ce travail a montré qu'il est possible d'augmenter l'autonomie de la ferme en utilisant certains produits de cultures comme sources énergétiques (froment, orge et maïs grain) ou azotées (pois protéagineux). Ces concentrés énergétiques diffèrent entre eux notamment par leur teneur et dégradabilité de l'amidon et sont donc à utiliser avec prudence pour équilibrer la ration (comme le blé, qui est très acidogène). L'étude de l'exploitation A a également prouvé qu'il était possible de se passer du soja en privilégiant des correcteurs azotés locaux (européens) tels que le tourteau de colza et ce, sans nuire aux performances du troupeau (+30 kg de lait). De plus cette pratique permettrait d'augmenter le revenu de l'exploitation (Projet PROTECOW, 2018b). L'étude de cette exploitation a aussi prouvé que des correcteurs énergétiques produits sur l'exploitation comme l'orge et le maïs, mélangés avec des pulpes sèches permettent de se passer de concentrés de production issus du commerce. De ce fait, l'autonomie de la ration des vaches laitières s'en trouve améliorée. Enfin, en plus de leurs caractéristiques alimentaires, certains concentrés présentent des avantages indirects. Par exemple, c'est le cas du tourteau de lin qui présente des avantages liés à la reproduction, à la qualité de la matière grasse contenue dans la lait mais qui a aussi un impact positif sur l'environnement (Brunschwig et al., 2010).

8.2.3. Présentation des aliments

Il est apparu dans l'exploitation B que le TB avait légèrement augmenté avec l'augmentation de la taille des particules dans la ration. Le tamisage de la ration distribuée dans l'exploitation C a montré une taille de particule de 13,17mm alors que la taille moyenne de particules est de 7,8mm +0,6mm pour l'exploitation B. Dans l'exploitation C, le TB est toujours plus élevé que pour l'exploitation B (39,2g/kg vs 35g/kg). Cela appuierait donc à nouveau les résultats de Sauvant (2000) qui a montré une augmentation du TB avec l'augmentation de la granulométrie de la ration, mais avec des tailles de particules plus faible.

8.2.4. Relation avec les objectifs du travail

Le levier alimentaire est donc un des premiers axes de travail permettant d'améliorer les résultats technico-économiques. En effet, les différences de coût alimentaire assez importantes qui existent entre les trois régions du groupe PROTECOW (102€/1000kgde lait en France, 120€/1000kg de lait en Flandre 132€/1000kg de lait pour la Wallonie) demandent une réflexion de la part des éleveurs en Wallonie. Le pâturage dans l'exploitation A a amené une piste intéressante alors que les solutions proposées pour l'exploitation B n'ont pas permis de réduire cette charge alimentaire.

Au niveau de l'autonomie, il est apparu qu'avec des fourrages de qualité, il est possible de sensiblement augmenter l'autonomie de la ration des vaches laitières. De plus, si l'autonomie est étendue au niveau régional voire européen, l'utilisation de tourteau de colza permet de remplacer le tourteau de soja importé comme vu dans l'exploitation A. Néanmoins, il faut noter qu'avec l'augmentation de l'intensification d'un système et donc de la quantité de lait produite par vache, la quantité d'aliments achetés a tendance à augmenter comme le prouve l'exploitation C. Ce constat est partagé par, Paccard et al. (2003), qui identifient que le niveau d'autonomie décroît avec l'intensification. En effet, comme présenté précédemment, les fourrages produits ne sont pas capables de répondre aux besoins des vaches laitières les plus productrices. La conséquence est qu'il est nécessaire d'apporter des concentrés qui peuvent être produits sur l'exploitation pour les concentrés énergétiques (blé ou maïs) tandis que les correcteurs azotés comme les tourteaux de colza ou de soja doivent être achetés sur le marché, ce qui diminue systématiquement l'autonomie liée à la ration. Il faut donc faire un choix entre produire moins et maximiser l'autonomie en augmentant au plus la qualité des fourrages ou viser une plus haute productivité des vaches, ce qui nécessite l'achat d'aliments.

Le dernier aspect important concerne l'utilisation la plus efficace possible de l'azote apporté dans la ration des vaches laitières. L'étude des différentes rations distribuées chez les éleveurs concernés par ce travail a montré qu'avec des rations à faible contenu en matières azotées, l'efficience azotée pouvait ainsi atteindre jusqu'à 35% (13% matières azotées dans la ration pour l'exploitation A et une efficience azotée de 36%), alors que des régimes plus concentrés en protéines avait tendance à diminuer l'efficience. Ainsi, il apparaît que les exploitations présentées dans ce travail sont assez efficientes en comparaison à la moyenne de 28% en Wallonie (Froidmont, 2019). Ces données sont en accord avec Weisbjerg et al. (2012) qui ont testé plusieurs modalités de nutrition protéique chez la vache laitière. Il apparaît dès lors qu'à partir de 15% de MAT dans la ration, la quantité de protéines dans le lait n'augmente plus, ce qui diminue l'efficience. Cela s'explique notamment par le fait qu'avec un apport élevé de

protéines, celle-ci sont dégradées pour faire de l'énergie (Wattiaux, 1995). Enfin, cette efficience azotée ne peut augmenter indéfiniment, ce qui s'explique par les pertes d'azote dues au métabolisme. En effet, il est impossible d'éviter des pertes urinaires, fécales ou encore à l'entretien de l'animal (poils, peau, ...). D'après Dijkstra et al. (2013), il n'est pas possible de dépasser le seuil de 47% d'efficience azotée dans le cas d'une vache ingérant très peu de protéines (10%/kgMS) et ne perdant que le strict minimum. De plus, il ne faut pas oublier que l'efficience azotée peut aussi se calculer sur la vie de l'animal et non sur la ration. Dans ce cas, l'efficience azotée est impactée par d'autres facteurs. En effet, selon Millet et al. (n.d.), l'augmentation de l'efficience azotée dépend également de l'alimentation des jeunes bêtes, de l'âge au premier vêlage, des durées de tarissement et de lactation ainsi que de la longévité des animaux. La réduction de la durée des phases improductives dans la vie d'une vache et l'optimisation des phases productives, sont donc autant de paramètres à manager au mieux pour augmenter l'efficience de son exploitation.

8.3. Le pâturage

Tout d'abord, l'herbe jeune et fraîche est un fourrage qui permet de répondre partiellement aux besoins des animaux. Les valeurs alimentaires des échantillons d'herbe prélevés dans l'exploitation A le confirment avec des teneurs de l'ordre de 1000 à 1150 VEM/kgMS et de 90 à 110 g DVE / kgMS. Cet équilibre est également confirmé par le système français UFL-PDI (Delaby, 2019).

Ensuite, le fait de pâturez peut générer un gain économique. En effet, comme vu dans l'exploitation A, avec un coût alimentaire oscillant entre 0,07€/kg de lait et 0,11€/kg de lait au pâturage, l'alimentation des vaches représente une dépense plus faible qu'en période hivernale. Cela confirme les résultats obtenus par Huneau et al. (2013) qui ont mis en évidence que des coûts alimentaires aussi faibles ne sont possibles qu'au pâturage. De plus, le pâturage présente un avantage sur la santé des vaches, notamment sur les problèmes de pattes (aucune boiterie visible dans l'exploitation A). Selon Delaby (2019), il ne faut pas hésiter à adapter les vaches et leur production au système c'est-à-dire à accepter une légère perte de production des vaches au pâturage car elle sera contrebalancée par un coût alimentaire plus faible mais aussi une fertilité accrue.

Enfin, il est apparu qu'il est tout-à-fait possible de faire pâturez les vaches avec un système de traite robotisé. On notera cependant que la fréquence de traite est un peu diminuée par rapport à une présence constante en bâtiment comme c'est le cas en hiver. Dans le d'un troupeau 100% au pâturage, la démarche est moins évidente et demande aussi des adaptations telles que : des portes de tri, un robot mobile, le rationnement et la gestion des parcelles pour créer un mouvement,...) (Brocard et al., 2017).

Néanmoins, malgré les atouts du pâturage, un des défis pour profiter des avantages liés au pâturage est d'accorder au mieux l'offre de l'herbe à la demande des vaches. En effet, ce travail a mis en évidence qu'un pâturage pas suffisamment agressif et court, augmente la quantité de refus au prochain passage des animaux. Ce constat, partagé par Delaby et al. (2011), se traduit par un impact négatif sur la pérennisation des parcelles pour la saison de pâturage. De plus, une herbe plus haute présente plus de tiges, avec comme conséquence une diminution de la qualité de l'herbe disponible. Ensuite, même si aucune étude de la flore n'a été réalisée durant ce

travail, il est apparu que certaines prairies se valorisent mieux que d'autre et que la quantité de refus en est la conséquence. En effet, certaines espèces ont l'avantage d'être plus appétantes pour les animaux comme la fléole des prés et le RGA. Néanmoins, certaines espèces ne sont pas adaptées au pâturage pour des raisons de tassement comme la luzerne ou encore de pérennité comme le Ray-Grass Italien (Crémer, 2015b). Il paraît dès lors essentiel de considérer la prairie comme une culture à part entière et de la rénover, ou encore de la désherber.

8.4. Bilan environnemental

Si l'on regarde les émissions des trois exploitations, il apparait que les exploitations A et C émettent aux alentours de 1600kgCO_{2e}/1000L de lait alors que l'exploitation B émettrait 1860kgCO_{2e}/1000kg de lait. Selon une étude réalisée par Bechu (2018) sur des exploitations laitières dans l'ouest de l'Europe, la moyenne se situerait aux alentours de 1310kgCO_{2e}/1000kg de lait. Une telle différence peut s'expliquer par les hypothèses prises en compte ainsi que la précision des données fournies étant donné que cette étude se base sur le Tier 2 alors que la simulation dans le cadre de ce travail se base entre le Tier 2 et le Tier 3.

En ce qui concerne l'étude de la première exploitation, le pâturage semble être une alternative intéressante dans l'émission des gaz à effet de serre. En effet, comme vu dans les simulations pour l'exploitation A, il y aurait réduction de 6,37% par rapport à un scénario avec des vaches 100% à l'étable. Cela s'explique notamment par le fait que le pâturage permet un meilleur stockage du carbone des parcelles enherbées. Néanmoins, le pâturage augmente les restitutions directes d'azote urinaire ce qui présente un risque de volatilisation mais aussi de pollution des sols et cours d'eau (Dollé et al., 2013). Au niveau des pratiques fourragères, les légumineuses peuvent présenter un potentiel effet sur la réduction des émissions de méthane en comparaison aux graminées utilisées seules. De plus, certaines légumineuses à tanins auraient un effet positif sur l'environnement en augmentant l'azote excrétré dans les fèces en comparaison avec l'azote urinaire. L'azote des fèces étant plus stable et moins volatile, cela aurait un effet positif sur l'environnement (Baumont et al., 2016).

Ensuite, comme vu dans l'exploitation C, le type de concentrés utilisés peut avoir une grande influence. En effet, si les aliments utilisés contiennent du soja ou de l'huile de palme, ils ont une plus grande empreinte écologique que les aliments à base de denrées agricoles produites en Europe comme le colza ou les céréales (Rouillé et al., 2008)..

La gestion du troupeau influence aussi l'empreinte environnementale des élevages laitiers. En effet, lorsque les moments de vie improductifs de l'animal sont réduits, cela influence négativement le bilan carbone. Au plus une vache aura une carrière longue et productive, au plus son bilan carbone sera faible (Dollé et al., 2013).

Enfin, les exploitations qui présentent les meilleurs résultats techniques et économiques sont aussi celles qui impactent le moins l'environnement. En effet, dans le cas de l'exploitation A, le pâturage permet de se passer d'intrants qui représentent des désavantages économiques et environnementaux. Ce lien entre l'efficience azotée, l'autonomie et les résultats technico-économiques est aussi mis en évidence par Dollé et al. (2013) car un élevage plus performant économiquement est un élevage optimisé où les productions fourragères sont de qualité et les périodes improductives des animaux réduites.

9. Conclusion

Le suivi qui a été réalisé sur les trois exploitations ne représente qu'une petite partie des nombreuses possibilités d'amélioration des performances technico-économiques des troupeaux laitiers en Wallonie. En effet, l'étude des trois fermes s'est concentrée sur les objectifs fixés par les éleveurs en début d'expérimentation et les autres aspects d'amélioration possible n'ont donc pas été testés.

En agriculture, et particulièrement en production animale, une des difficultés majeures est de savoir maîtriser les facteurs de production, et d'en tirer un maximum. Comme vu dans ce travail, il est parfois difficile de mettre le doigt sur la raison d'un problème. En effet, dans l'exploitation B, une acidose est suspectée, ce qui justifierait certaines observations, notamment le TB assez faible. Cependant, d'autres indicateurs prouvent le contraire, comme les compositions des rations qui rentrent dans les critères établis par les experts. Une des solutions pour poser définitivement le diagnostic aurait été la prise du pH urinaire. Cela prouve néanmoins la difficulté pour un éleveur de combiner tous les paramètres. Par contre, une fois tous ces paramètres maîtrisés, cela peut augmenter l'efficacité d'une exploitation et donc, ces résultats technico-économiques.

Ensuite, ce travail a permis de mettre en évidence que certaines pratiques peuvent être bénéfiques tant pour l'économie de l'exploitation que pour l'environnement. Ainsi, malgré le fait que le pâturage soit une pratique qui se perde avec les années, celle-ci représente de très nombreux avantages tels que la diminution du coût alimentaire, associé à un impact environnemental plus faible. Outre ces effets positifs confirmés dans ce travail, le pâturage présenterait aussi un impact intéressant sur la qualité du lait, mais également sur la santé du troupeau.

Enfin, la production de fourrages de qualité est un aspect essentiel dans la recherche de l'autonomie alimentaire et de la réduction des coûts de production. En effet, des fourrages de qualité élevée permettent de se passer d'une partie des achats d'aliments concentrés mais aussi de diminuer l'empreinte environnementale d'une exploitation. L'autonomie alimentaire des exploitations aurait dès lors de nombreux aspects positifs.

Dans ce travail, les aspects environnementaux et économiques ont été largement abordés. Mais pour viser la pérennité d'une exploitation, il ne faut pas négliger le facteur main d'œuvre qui est le troisième pilier de la durabilité. Ainsi, pour compléter notre analyse, bien que le pâturage présente de nombreux avantages, son optimisation passe par de très nombreuses prises de données, de changements de prairies, d'adaptation au fil, ... dans le cas du pâturage dynamique. Il en est de même lorsque l'on veut récolter une herbe de très haute qualité car cela signifie alors faucher une herbe jeune, et donc la faire 5, 6 ou 7 fois sur l'année, ce qui est évidemment plus consommateur de main d'œuvre. La facilité reste d'alimenter les animaux avec des fourrages classiques complémentés en correcteurs divers mais à l'heure actuelle, cela reste une pratique peu viable pour l'exploitation. La difficulté est de savoir faire la part des choses entre l'économique et le travail à fournir, ce qui est sans conteste un grand défi au quotidien dans nos exploitations wallonnes.

Références bibliographiques

- Albright J.L., 2010. Feeding Behavior of Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* **76**(2), 485–498.
- Amiaud B. & Carrère P., 2012. La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques. *Fourrages* **211**(May), 229–238.
- André G., Berentsen P.B.M., Van Duikerken G., Engel B. & Lansink A.G.J.M.O., 2010. Economic potential of individual variation in milk yield response to concentrate intake of dairy cows. *J. Agric. Sci.* **148**(3), 263–276.
- Avenir-Conseil-Elevage, 2018. Base de données Avenir-Conseil-Elevage (non publiée).
- Bach A. & Cabrera V., 2017. Robotic milking : Feeding strategies and economic returns. *J. Dairy Sci.* **100**, 7720–7728.
- Bach A., Dinarés M., Devant M. & Carré X., 2007. Associations between lameness and production, feeding and milking attendance of Holstein cows milked with an automatic milking system. *J. Dairy Res.* **74**(1), 40–46.
- Bach A., Valls N., Solans A. & Torrent T., 2008. Associations Between Nondietary Factors and Dairy Herd Performance. *J. Dairy Sci.* **91**(8), 3259–3267.
- Baumont R., Arrigo Y. & Niderkorn V., 2011. Transformation des plantes au cours de leur conservation et conséquences sur leur valeur pour les ruminants. *Fourrages* **205**, 35–46.
- Baumont R., Bastien D., Maxin G. & Niderkorn V., 2016. Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants. *Fourrages* **227**, 171–180.
- Baumont R., Michaud A. & Delaby L., 2012. Services fourragers des prairies permanentes : production d'herbe et valeur alimentaire pour les ruminants. *Fourrages* **211**, 219–228.
- Bechu T., 2018. Etude des performances économiques et environnementales des exploitations bovins lait dans le Nord Ouest de l'Europe.
- Beckers Y., 2011. Les produits du maïs fourrage : comment les réflechir dans les rations des bovins. In: *Aspects Rentabilité et Valeur Alimentaire Du Maïs Grain (Sec et Humide) et Du Maïs Épi Broyé*. Saint-Amand.
- Beckers Y., 2013. L'équilibre des rations alimentaires des bovins: Quelques pistes pour améliorer l'efficience azotée. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **17**(S1), 243–250.
- Beckers Y., 2014. Comment améliorer les taux de matières utiles dans le lait? Solutions actuelles et perspectives d'avenir... In: *Assemblée Générale de l'AREDB de Herve, Fléron et Visé*. Herve.
- Beckers Y., 2016. Nourrir à l'herbe : principales règles nutritionnelles pour réussir. In: *Prairies et Légumineuses Fourragères Au Centre Des Enjeux Économiques Des Élevages Pour Demain*. Battice.
- Bedouet J., 2006. TB, TP, taux d'urée : des outils diagnostiques. *Le point vétérinaire*. <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-262/tb-tp-taux-d-uree-des-outils-diagnostiques.html>, (10/08/2019).
- Belot P.-E., Adam H., Anselme F., Bombrun S., Curtill J.-M., Delaby L., de La Serve S., Gaudillièvre N., Grevillot M., Mondière A. & Deleau D., 2015. Bien conduire le pâturage pour optimiser la valorisation de l'herbe. Recueil de connaissances et de références -

Tome 1.

- Benoît M. & Simon J.C., 2004. Grassland and water resources: recent findings and challenges in Europe. *L. use Syst. Grassl. Domin. Reg. Proc. 20th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed. Luzern, Switzerland, 21-24 June 2004.*
- Bicalho R., Vokey F., Erb H.N. & Guard C.L., 2007. *Visual Locomotion Scoring in the First Seventy Days in Milk: Impact on Pregnancy and Survival*, Journal of dairy science, 4586–4591.
- Block E., Dépatie C., Lefebvre D. & Petitclerc D., 1998. L'urée du lait : les sources de variation et les implications. *Symp. sur les Bov. Lait.* 78–87.
- Blok M.-C. & Spek J.-W., 2016. CVB Feed Table 2016.
- Boulet L., 2019. *Résultats du projet PROTECOW, communication personnelle.*
- Bouquiaux J.-M., Vanorlé L., Daniel R., Buron M.-H. & Delille N., 2013. *Performances et rentabilité en agriculture wallonne*, Les livrets de l'agriculture. Delbeuck, C. ed., Namur.
- Brocard V. & Carles A., 2018. Pâturer avec un robot de traite, c'est possible!, Paris.
- Brocard V., Lessire F., Cloet E., Huneau T., Dufrasne I. & desp, 2017. Pâturer avec un robot de traite : une diversité de stratégies. *Fourrages* **229**, 17–24.
- Brouk M. & Belyea R., 1993. Chewing activity and digestive response of cows fed alfalfa forages. *J. Dairy Sci.* **76**, 175–182.
- Brunschwig P., Crépon K., Evrard J., Peyronnet C., Darracq S. & Quinsac A., 2007. Le tourteau de colza, source de protéines de qualités pour vos bovins, Paris.
- Brunschwig P., Hurtaud C., Chilliard Y. & Glasser F., 2010. L'apport de lin dans la ration des vaches laitières: Effets sur la production, la composition du lait et des produits laitiers, les émissions de méthane et les performances de reproduction. *Prod. Anim.* **23**(4), 307–318.
- Brunschwig P. & Lamy J., 2006. Production à la ferme d'huile végétale et de tourteaux : possibilités et conséquences 329–342.
- Brunschwig P., Morel D'Arleux F., Colin G. & Evrard J., 1996. Effets de l'apport de tourteau de lin sur les performances de vaches laitières à l'ensilage de maïs. *Rencontre Rech. Ruminants* **3**(1), 285–288.
- Burow E., Rousing T., Thomsen P.T., Otten N.D. & Sorensen J.T., 2013. Effect of grazing on the cow welfare of dairy herds evaluated by a multidimensional welfare index. *Animal* **7**(5), 834–842.
- Carjot A.C., 2013. Etude de la corrélation entre l'efficacité alimentaire et l'analyse des résidus de bouses chez les vaches laitières nourries avec une ration totale mélangée **89**(94).
- Carlsson J. & Pehrson B., 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. Experimental trials assessed by two different protein evaluation systems. *Acta Vet. Scand.* **35**, 193–205.
- Carpentier B., 2015. Maïs et aliment des bovins : plusieurs formes possibles. *Arvalis - Inst. du végétal.* <https://www.arvalis-infos.fr/six-recettes-pour-recolter-le-ma-s-@/view-18821-arvarticle.html>, (10/04/2019).
- Carrouée B., Crépon K. & Peyronnet C., 2003. Les protéagineux : intérêt dans les systèmes de

- production fourragers français et européens. *Fourrages* **174**, 163–182.
- CBL, 2019. Rapport annuel 2019, Grimbergen.
- Chambre d'agriculture de la Somme, 2009. Alimentation Bovine. L'épeautre mieux qu'une céréale, 4.
- Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2014. Mesures des émissions de protoxyde d'azote sur prairies pâturées et effets d'un inhibiteur de nitrification.
- Chanteloube A., Gicquel M., Le Chenadec H., Leroy M., Fisher A., Montagne L. & Jurquet J., 2015. Etat des lieux de la notion d'utilisation d'efficience alimentaire par la filière bovin lait. *Rencontre Rech. Ruminants* **22**.
- Chassaing C., Coulon J.B., Agabriel C. & Garel J.P., 1994. Facteur de variation du taux butyreux du lait : effet de l'ordre de distribution des aliments. *Rencontre Rech. Ruminants* **1**, 105–108.
- Clark P.W. & Armentano L.E., 1999. Influence of Particle Size on the Effectiveness of the Fiber in Corn Silage. *J. Dairy Sci.* **82**(3), 581–588.
- Coquil X., Trommenschlager J.-M., Bazard C., Despres S. & Delaby L., 2009. Valorisation par des vaches laitières de mélanges céréales/protéagineux fermiers dans une ration hivernale. *Innov. Agron.* **4**, 145–149.
- Coulon J.B., Chilliard Y. & Rémond B., 1991. Effets du stade physiologique et de la saison la composition chimique du lait de vache et caractéristiques technologiques. *INRA Prod. Anim.* **4**(3), 219–228.
- CRA-W, 2010. Mecacost. <http://mecacost.cra.wallonie.be/fr/methode>, (10/04/2019).
- Crawshaw R., 2003. Co-product feeds: animal feeds from the food and drinks industries. *J. Sci. Food Agric.* **83**(4), 362–362.
- Crémer S., 2014. Proportion des surfaces enherbées par rapport à la S.A.U. pour les régions agricoles de Wallonie. http://www.fourragesmieux.be/Modele/Carte_regions_agricoles_RW_gde.jpg, (15/08/2019).
- Crémer S., 2015a. Le pâturage des prairies permanentes.
- Crémer S., 2015b. La gestion des prairies - Notes de cours 2015 - 2016.
- Crémer S. & Knoden D., 2012. Influence du stade de développement des plantes sur la qualité des fourrages récoltés, 2.
- Cuvelier C. & Dufrasne I., 2005. L'alimentation de la vache laitière: Aliments , calculs de ration , indicateurs d'évaluation des déséquilibres de la ration et pathologies d'origine nutritionnelle. *Livret de l'agriculture* 105.
- Dalcq A.-C. & Beckers Y., 2014. Contribution à l'étude de l'optimum technico-économique de l'intervalle vêlage chez les vaches laitières en Wallonie, plus particulièrement en région herbagère.
- De Boever J.L., De Brabander D.L., De Smet A.M., Vanacker J.M. & Boucque C. V, 1993. Evaluation of Physical Structure Maize Silage. *J. Dairy Sci.* **76**(6), 1624–1634.
- De Brabander D., De Campeneere S. & Ryckaert Y., 2007. Melkveevoeding.

- De Vliegher A., De Brabander D. & De Campeneere S., n.d. Kunnen voederbieten perspulp vervangen in het melkveerantsoen?
- De Vries A., 2006. Economic Value of Pregnancy in Dairy Cattle¹. *J. Dairy Sci.* **89**(10), 3876–3885.
- Decaen C., Journet M., Manis Y. & Marquis B., 1966. INFLUENCE SAISONNIÈRE SUR LA PRODUCTION ET LA COMPOSITION DU LAIT. *Ann. Zootech.* **15**(3), 259–277.
- Decruyenaere V., 2019. Communication personnelle.
- Decruyenaere V., Rondia P. & Wavreille J., 2016. Intérêts des légumineuses en alimentation animale : vaches laitières et monogastriques. In: *Quelle Place d'avenir Pour Les Légumineuses En Wallonie*. Gembloux.
- Dekkers J.C.M., Ten Hag J.H. & Weersink A., 1998. Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* **53**(3), 237–252.
- Delaby L., 2019. Comment produire du lait à 1' herbe pour valoriser ses atouts considérables. In: *Les Productions Animales Mises En Question*. Louvain-la-neuve.
- Delaby L., Delagarde R. & Peyraud J., 2009. Quelle quantité de compléments distribuer aux vaches laitières lors de temps d'accès limité au pâturage ? *Rencontre Rech. Ruminants* **16**, 50.
- Delaby L., Leurent S., Carbonnier Y. & Leloup L., 2011. Au pâturage, des indicateurs pour faciliter les décisions de sortie de parcelles des vaches laitières. *Rencontre Rech. Ruminants* **18**, 43.
- Delaby L., Peyraud J.L. & Delagarde R., 2003. Faut-il compléter les vaches laitières au pâturage ? *INRA Prod. Anim.* **16**(3), 183–195.
- Delage J., Leroy A.M. & Poly J., 1953. Une étude sur les courbes de lactation. *Ann. Zootech.* **2**(3), 225–267.
- Delanoue E., Dockes A., Roguet C. & Magdelaine P., 2015. Points de vue et attentes des acteurs de la société envers l'élevage. Un regard sur les principales controverses. *Rencontre Rech. Ruminants* **2**(1), 1–8.
- Delanoue E. & Roguet C., 2014. Acceptabilité des élevages par la société en France. *Bilan d'activité l'IFIP - Inst. du Porc 2014*.
- Delanoue E. & Roguet C., 2015. Acceptabilité sociale de l'élevage en France : Recensement et analyse des principales controverses à partir des regards croisés de différents acteurs. *INRA Prod. Anim.* **28**(1), 39–50.
- Delbeque D. & Moris P., 2017. Note technique : le toastage des protéagineux, expérience d'éleveurs laitiers en Normandie.
- Demarquilly C., 1994. Facteurs de variation de la valeur nutritive du maïs ensilage. *INRA Prod. Anim.* **7**(3), 177–189.
- Demarquilly C., Dulphy J.P. & Andrieu J.P., 1998. Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage. *Fourrages* **155**, 349–369.
- Deprez B., Parmentier R., Lambert R. & Peeters A., 2007. *Les prairies temporaires : une*

- culture durable pour les exploitations mixtes de la Moyenne-Belgique*, Les Dossiers de la Recherche Agricole. Thomas, V. ed., Namur.
- Devries T.J., 2009. Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* **92**(7), 3292–3298.
- Dijkstra J., Reynolds C., Kebreab E., Bannink A., Ellis J., France J. & van Vuuren A.M., 2013. Challenges in ruminant nutrition: Towards minimal nitrogen losses in cattle. In: Oltjen, J.W., Kebreab, E., Lapierre, H. eds. *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production*. Wageningen, 47–58.
- Dollé J.B., Delaby L., Plantureux S., Moreau S., Amiaud B., Charpiot A., Mannevill V., Chanseaume A., Chambaut H. & Le Gall A., 2013. Impact environnemental des systèmes bovins laitiers français. *Prod. Anim.* **26**(2), 207–220.
- Doreau M., Martin C., Eugène M., Popova M. & Morgavi D.P., 2011. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. *Prod. Anim.* **24**(5), 461–474.
- Drame E., Hanzen C., Houtain J.Y., Laurent Y. & Fall A., 1999. Profil de l'état corporel au cours de postpartum chez la vache laitière. *Ann. Med. Vet.* **143**, 265–270.
- Dufrasne I., Knapp É., Istasse L., Veselko D., Piraux É., Robaye V. & Hornick J.L., 2013. Influence de facteurs environnementaux influençant la teneur en urée dans le lait de vache en Wallonie et estimation des rejets azotés. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **17**(S1), 251–258.
- Dulphy J.P. & Demarquilly C., 2000. Intérêt zootechnique de la betterave. *Fourrages* **163**, 307–314.
- Edouard N., Charpiot A., Hassouna M., Faverdin P., Robin P. & Dollé J.-B., 2012. Ammonia and greenhouse gases emissions from dairy cattle buildings.
- Eugène M., Massé D., Chiquette J. & Benchaar C., 2011. Meta-analysis on the effects of lipid supplementation on methane production in lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* **88**(2), 331–337.
- Fabry L., 2009. Economie de la production laitière wallonne. Evolutions et caractéristiques. *Carrefour des Prod. Anim.* 20–27.
- Faostat, 2019. Livestock Primary. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>, (08/08/2019).
- Faverdin P., Delagarde R., Delaby L. & Meschy F., 2006. Alimentation des vaches laitières. In: Quae ed. *Alimentation Des Bovins, Ovins et Caprins*. 23–56.
- FIDOCL, 2019. Le TB et le rapport TB/TP pour évaluer l'état sanitaire du troupeau.
- FIDOCL, July-3-2019. Taux d'urée du lait | FIDOCL Conseil Elevage. 2019. <http://www.fidocl.fr/content/taux-duree-du-lait>, (03/07/2019).
- Focant M., Mignolet E., Marique M., Clabots F., Breyne T., Dalemans D. & Larondelle Y., 2010. The Effect of Vitamin E Supplementation of Cow Diets Containing Rapeseed and Linseed on the Prevention of Milk Fat Oxidation. *J. Dairy Sci.* **81**(4), 1095–1101.
- Focant M., Vanlierde A., Archembeau Q., Larondelle Y., Dang Van Q. & Froidmont E., 2017. Réduire les émissions de méthanes et les rejets d'azote et améliorer la qualité nutritionnelle du lait par l'alimentation des vaches. *Fourrages* **232**(0), 297–304.

France Conseil Elevage, 2015. Se repérer et agir sur ses coûts alimentaires. In: *Journées Techniques BOVINE*.

France Génétique Elevage, 2011. La France, sélection laitière et progrès génétique.

Frijlink M., De Boever J. & Decaesteker E., 2018. Laat de maïskuil geen valkuil worden. *Manag. Tech.*

Froidmont E., 2013. La valorisation du lupin en alimentation animale. In: *Comment Sortir de La Soja-Dépendance? Produisons Nos Protéines Végétales!* Gembloux.

Froidmont E., 2019. *Communication personnelle*.

Froidmont E., Mayeres P., Picron P., Turlot A., Planchon V. & Stilmant D., 2013. Association between age at first calving, year and season of first calving and milk production in Holstein cows. *Animal* **7**(4), 665–672.

Froment P., 2007. Note d'état corporel et reproduction chez la vache laitière.

Garnier C., Jeulin T., Fos L., Ferré P., Malvoisin Y., Simonin V. & Pavie J., 2012. Coût alimentaire de l'atelier lait : objectif sous la barre des 90€/1000L.

Gengler N., 1996. Persistency of lactation yields : a review. *Interbull Bull.* **12**, 87–96.

Giger-Reverdin S., Morand-Fehr P. & Tran G., 2003. Literature survey of the influence of dietary fat composition on methane production in dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* **82**(1), 73–79.

Grant R.J. & Albright J.L., 1995. Feeding Behavior and Management Factors During the Transition Period in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* **73**, 2791–2803.

Grant R.J., Colenbrander V.F. & Mertens D.R., 1990. Milk Fat Depression in Dairy Cows: Role of Silage Particle Size. *J. Dairy Sci.* **73**(7), 1834–1842.

Haskell M.J., Rennie L.J., Bowell V.A., Bell M.J. & Lawrence A.B., 2010. Housing System, Milk Production, and Zero-Grazing Effects on Lameness and Leg Injury in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **89**(11), 4259–4266.

Heuzé V., Tran G. & Rouillé B., 2017. Coproduit de brasserie. Drèches de brasseries.

Hoden A. & Coulon J.-B., 1991. Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques. *INRA Prod. Anim.* **4**(5), 361–367.

Hoden A., Hurtaud C., Marquis B. & Delaby L., 1990. Utilisation du blé ou des pulpes de betteraves en rations complètes avec de l'ensilage de maïs chez les vaches laitières. *INRA Prod. Anim.* **3**, 299–304.

Hoden A., Marquis B. & Delaby L., 1988. Association de betteraves fourragères à une ration mixte d'ensilages de maïs et de trèfle violet pour les vaches. *INRA Prod. Anim.* **1**(3), 165–169.

Hulsen J. & Aerden D., 2014. *Signes d'alimentation*. ROODBONT ed.

Huneau T., Dehedin M., Huchon J.-C. & Brocard V., 2013. Concilier traite robotisé et pâturage. *Rencontre Rech. Ruminants* **20**.

Huntington G.B. & Reynolds P.J., 1986. Net Absorption of Glucose, L-Lactate, Volatile Fatty

- Acids, and Nitrogenous Compounds by Bovine Given Abomasal Infusions of Starch or Glucose. *J. Dairy Sci.* **69**(9), 2428–2436.
- Hurtaud C., Faucon F., Couvreur S. & Peyraud J.-L., 2010. Linear relationship between increasing amounts of extruded linseed in dairy cow diet and milk fatty acid composition and butter properties. *J. Dairy Sci.* **93**(4), 1429–1443.
- Hutjens M.F., 2007. Making Starch Work in the Rumen. In: *Four-State Dairy Nutrition Management Conference*. 101–104.
- Institut de l'Elevage, 2000. Fiche n°9 - Coproduits de la betterave. Pulpe de betterave surpressée., Paris.
- Jayanegara A., Leiber F. & Kreuzer M., 2012. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)*. **96**(3), 365–375.
- Kohn R.A., Kalscheur K.F. & Russek-Cohen E., 2010. Evaluation of Models to Estimate Urinary Nitrogen and Expected Milk Urea Nitrogen. *J. Dairy Sci.* **85**(1), 227–233.
- Kok A., van Knegsel A.T.M., van Middelaar C.E., Engel B., Hogeveen H., Kemp B. & de Boer I.J.M., 2017. Effect of dry period length on milk yield over multiple lactations. *J. Dairy Sci.* **100**(1), 739–749.
- Kossaibati M.A. & Esslemont R.J., 1997. The costs of production diseases in dairy herds in England. *Vet. J.* **154**(1), 41–51.
- Lamy J. & Brunschwig P., 2002. Fababean or sunflower meal as vegetable sources of protein in dairy cow diet. *Rencontre Rech. Ruminants* **9**, 316.
- Le Gall A., Delattre J.C. & Cabon G., 2008. Les céréales immatures et la paille : une assurance pour les systèmes fourragers. *Fourrages* **156**, 557–572.
- Legrand G., 2005. *Le bon usage des pulpes surpressées*, Collection des Guides Techniques de l'IRBAB. IRBAB ed., Tienen.
- Lépée P., 2011. De la fauche au stockage : évaluer le coût d'une chaîne de récolte de l'herbe **206**, 137–141.
- Lessire F., Decruyenaere V., Beckers Y., Rondia P., Martin G. & Froidmont E., 2014. Les herbivores , transformateurs de produits fourragers et de coproduits issus de l'agro-industrie en aliments nobles pour l'homme. In: *Carrefour Des Productions Animales. La Viande Bovine Remise En Question: De Sa Production à Sa Consommation*. Gembloux.
- Loriers A., 2019. *Communication personnelle*.
- Martin C., Morgavi D.P. & Doreau M., 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* **4**(3), 351–365.
- Mattiello S., Klotz C., Baroli D., Minero M., Ferrante V. & Canali E., 2009. Welfare problems in alpine dairy cattle farms in Alto Adige (Eastern Italian Alps). *Ital. J. Anim. Sci.* **8**(SUPPL. 2), 628–630.
- Meijer R. & Peeters K., 2010. The use of precision dairy farming in feeding and nutrition. In: *The First North American Conference on Precision Dairy Management 2010*.
- Millet C., Decruyenaere V., Stilmant D. & Froidmont E., n.d. L'efficience protéique de la vache

laitière et la gestion du troupeau: des liens intéressants....

- Minet O., Ferber F., Jacob L., Lecler B., Agneessens R., Cugnon T., Decruyenaere V., Genot V., Gofflot S., Pitchugina E., Planchon V., Renneson M., Sinnaeve G., Wavreille B., Dardenne P. & Baeten V., 2016. La spectrométrie proche infrarouge.
- Moe P.W. & Tyrrell H.F., 2010. Methane Production in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **62**(10), 1583–1586.
- Morin C., Beguin E., Belvèze J., Bossis N., Capdeville J., Chambaut H., Charroin T., Corbet V., Dollé J.-B. & Jousseins C., 2011. Consommation d'énergie en élevages herbivores et leviers d'action, Paris.
- Mulligan F.J., O'Grady L., Rice D.A. & Doherty M.L., 2006. A herd health approach to dairy cow nutrition and production diseases of the transition cow. *Anim. Reprod. Sci.* **96**(3–4), 331–353.
- Nation Research Council, 2001. *Nutrients requirements for dairy cattle*, Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Nationale Academy Press ed.
- Navarro G., Green L. & Tadich N., 2013. *Effect of lameness and lesion specific causes of lameness on time budgets of dairy cows at pasture and when housed*, Veterinary journal.
- Nocek J.E. & Tamminga S., 1991. Site of Digestion of Starch in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows and Its Effect on Milk Yield and Composition. *J. Dairy Sci.* **74**(10), 3598–3629.
- Nordlund K., Cook N. & Oetzel G., 2006. Commingling Dairy Cows: Pen Moves, Stocking Density, and Health A Changing Clinical Perspective of Fresh Cow Metabolic Disease. In: *39th Proceedings American Association Bovine Practitioners*. Saint Paul, 36–42.
- Olmos G., Boyle L., Hanlon A., Patton J., Murphy J.J. & Mee J.F., 2009. Hoof disorders, locomotion ability and lying times of cubicle-housed compared to pasture-based dairy cows. *Livest. Sci.* **125**(2–3), 199–207.
- Oltner R., Emanuelson M. & Wiktorsson H., 1985. Urea concentrations in milk in relation to milk yield, live weight, lactation number and amount and composition of feed given to dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* **12**(1), 47–57.
- Paccard P., Capitain M. & Farruggia A., 2003. Autonomie alimentaire des élevages bovins laitiers. *Rencontre Rech. Ruminants* **10**, 89–92.
- Paccard P., Chenais F. & Brunschwig P., 2006. Maîtrise de la matière grasse du lait par l'alimentation des vaches laitières, Paris.
- Peeters A., 2004. *Wild and sown grasses. Profile of a temperate selection: ecology, biodiversity and use*. Blackwell Publishing ed., Rome.
- Peeters A. & Kopec S., 1996. Production and productivity of cutting grassland in temperate climates of Europe. In: *16th EGF Meeting*. Italy, 59–73.
- Peyrat J., Baumont R. & Nozière P., 2015. Digestion de l'amidon et des parois végétales du maïs fourrage chez les ruminants : conséquences sur l'évaluation de sa valeur nutritive.
- Peyraud J., n.d. *Precision Livestock Farming (PLF) into Practice*.
- Peyraud J.L., 2000. Fertilisation azotée des prairies et nutrition des vaches laitières.

- Conséquences sur les rejets d'azote. *Prod. Anim.* **13**(1), 61–72.
- Peyraud J.L. & Apper-Bossard E., 2006. L'acidose latente chez la vache laitière. *INRA Prod. Anim.* **19**(2), 79–92.
- Pflimlin A., 2015. Le marché laitier mondial est un piège pour les éleveurs et un pari fatal pour l'union européenne.
- Philipsen B., 2015. Pourquoi l'herbe est-elle toujours plus verte chez le voisin ? In: *Journée d'étude La Reid: Vaches Laitières et Pâturage Après Quotas*. La Reid.
- Phipps R.H., Weller R.F. & Siviter J.W., 1992. Whole-crop cereals for dairy cows. In: Stark, B.A., Wilkinson, J.M. eds. *Whole-Crop Cereals*. 51–57.
- Popova M., Doreau M., Martin C., Popova M. & Morgavi D.P., 2011. Production de méthane et interactions microbiennes dans le rumen. *INRA Prod. Anim.* **24**(5), 447–460.
- Projet PROTECOW, 2018a. Cultiver des dérobées à base de RGI et de trèfle.
- Projet PROTECOW, 2018b. Utiliser des tourteaux de colza à la place du tourteau de soja.
- PROTECOW, August-12-2019. Localisation des 18 éleveurs. <http://www.interreg-protecow.eu/melkveehouders-éleveurs/>, (12/08/2019).
- Requasud, 2019. Analyse de fourrages - Luzerne. *Anal. Fourrag.* http://www.requaconsult.requasud.be/requaconsult_nirf, (10/08/2019).
- Rickaby D., 1979. Developments in complete diet feeding of dairy cows. *Agric. Dev. Advis. Serv. Q. Rev.* **34**, 195–211.
- Rouillé B., Brunschwig P. & Le Gall A., 2008. Evaluation des consommations globales de concentrés par les vaches laitières et disponibilités possibles en coproduits d'agrocarburants.
- Rouillé B., Devun J. & Brunschwig P., 2014. L'autonomie alimentaires des élevages bovins français. *Oilseeds fats Crop. Lipids* **21**(4), 5.
- Rouillé B., Lamy J.-M. & Brunschwig P., 2010. Trois formes de consommation de la luzerne pour les vaches laitières. *Rencontre Rech. Ruminants* **17**, 329.
- Sauvant D., 2000. Granulométrie des rations et nutrition du ruminant. *Prod. Anim.* **13**(2), 99–108.
- Sauvant D., Chapoutot P. & Archimède H., 1994. La digestion des amidons par les ruminants et ses conséquences. *INRA Prod. Anim.* **7**(2), 115–124.
- Sauvant D., Dulphy J.-P. & Michalet-Doreau B., 1990. Le concept d'indice de fibrosité des aliments des ruminants. *INRA Prod. Anim.* **3**(5), 309–318.
- Sauvant D., Giger-Reverdin S., Serment A. & Broudiscou L., 2011. Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants. *Prod. Anim.* **24**(5), 433–446.
- Sauvant D. & Giger S., 1984. Quelles spécifications pour les rations complètes des ruminants laitiers. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix* **58**, 59–66.
- Sauvant D., Meschy F. & Mertens D., 1999. Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. *INRA Prod. Anim.* **12**(1), 49–60.

- Sauvant D. & Peyraud J.L., 2010. Calculs de ration et évaluation du risque d'acidose. *INRA Prod. Anim.* **23**(4), 333–342.
- Schwab E.C., Shaver R.D., Shinners K.J., Lauer J.G. & Coors J.G., 2010. Crop Processing and Chop Length Effects on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* **85**(3), 613–623.
- Shaver R.D., 2002. Rumen acidosis in dairy cattle: Bunk management considerations. *Adv. Dairy Technol.* **14**(Dm), 241–249.
- Sölkner J. & Fuchs W., 1987. A comparison of different measures of persistency with special respect to variation of test-day milk yields. *Livest. Prod. Sci.* **16**(4), 305–319.
- Soussana J.F., Tallec T. & Blanfort V., 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* **4**(3), 334–350.
- SPF, 2014. Mise à jour de l'étude sur la filière lait.
- SPW, 2018a. Rapport 2018 sur l'évolution de l'économie agricole de la Wallonie, Namur.
- SPW, 2018b. WalOnMap. <https://geoportail.wallonie.be/walonmap#BBOX=-40250.87058674119,364893.1688680044,-25310.724070781493,169489.14469562273>, (15/07/2019).
- Statbel, 2018. Exploitations agricoles et horticoles. <https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/exploitations-agricoles-et-horticoles#figures>, (10/04/2019).
- Statbel, 2019. Production laitière moyenne par vache 2007-2018. <https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/industrie-laitiere#figures>, (25/07/2019).
- Stone W.C., 1999. Effect of subclinical acidosis on milk components. In: *Cornell Nutr. Conf.* 40–46.
- Thomsen P.T., Østergaard S., Houe H. & Sørensen J.T., 2007. Loser cows in Danish dairy herds: Risk factors. *Prev. Vet. Med.* **79**(2–4), 136–154.
- Tisserand J.-L., 2001. Possibilités et limites de la substitution du tourteau de soja par des graines protéagineuses ou de l'azote non protéique dans l'alimentation des ruminants. *Rencontre Rech. Ruminants* **8**, 277–280.
- Tremblay M., Hess J.P., Christenson B.M., McIntyre K.K., Smink B., van der Kamp A.J., de Jong L.G. & Döpfer D., 2016. Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* **99**(5), 3824–3837.
- Vagneur M., 2003. Examen des bouses des vaches laitières en relation avec l'alimentation. In: *Journées Nationales Des Groupements Techniques Vétérinaires*. Nantes, 423–428.
- Vandaele L., 2019. Communication personnelle.
- Vaudatin A., Mathot M., Planchon V. & Stilmant D., 2017. Projet Qualaliter : renforcer le lien des systèmes laitiers avec leur terroir afin de pérenniser le secteur au sein des zones à plus fortes contraintes environnementales.
- Verhoeven F. & Smale E., 2014. Voeren met Boerenverstand.

- Vérité R. & Delaby L., 2000. Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Ann. Zootech.* **49**(3), 217–230.
- Verité R., Journet M., Fléchert J., Lefavre R., Lefavre J. & Ollier A., 1973. Utilisation De Quantités Élevées De Betteraves Par Les Vaches Laitières : Étude De L'Ingestion, De La Digestion Et Des Effets Sur La Production. *Ann. Zootech.* **22**(2), 219–235.
- Verriele B., 2019. Communication personnelle.
- Vignau-Loustau L. & Huyghe C., 2008. *Stratégies fourragères : Pâturage - Ensilage - Foin.* France Agricole ed., 335.
- Viturro E. & Altenhofer C., 2013. Déficit énergétique en début de lactation. Intérêt des graines de lin. *Wallonie Elev.* 45–46.
- Wand C., 2008. Une RTM, est-ce pour toutes les fermes? <http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/beef/news/vbn1108a1.htm>, (04/07/2019).
- Wattiaux M.A., 1995. Métabolisme protéique chez la vache laitière, Essentiels Laitiers, Madison.
- Wattiaux M.A., 1996. Reproduction et Nutrition, Essentiels Laitiers, Madison.
- Wattiaux M.A. & Armentano L.E., 1995. Métabolisme des hydrates de carbone chez la vache laitière, Essentiels Laitiers, Madison.
- Wattiaux M.A. & Grummer R.R., 1995. Métabolisme des lipides chez la vache laitière, Essentiels Laitiers, Madison, 4.
- Webb J., Sommer S.G., Kupper T., Groenestein K., Hutchings N.J., Eurich-Menden B., Rodhe L., Misselbrook T.H. & Amon B., 2011. Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane During the Management of Solid Manures. In: *Agroecology and Strategies for Climate Change*.
- Weber C., Losand B., Tuchscherer A., Rehbock F., Blum E., Yang W., Bruckmaier R.M., Sanftleben P. & Hammon H.M., 2015. Effects of dry period length on milk production, body condition, metabolites, and hepatic glucose metabolism in dairy cows. *J. Dairy Sci.* **98**(3), 1772–1785.
- Weisbjerg M.R., Kristensen N.B., Hvelpund T., Lund P. & Løvendahl P., 2012. *Feed intake and milk yield responses to reduced protein supply.* "Nitrogen Util. by ruminants Symp.
- Whay H.R., Main D.C.J. & Green L.E., 2003. Assessment of the welfare of dairy cattle using animal-based measurements: direct observation and investigation of farm records. *Vet. Rec.* **153**, 197–202.
- Yunta C., Guasch I. & Bach A., 2012. Short communication: Lying behavior of lactating dairy cows is influenced by lameness especially around feeding time. *J. Dairy Sci.* **95**(11), 6546–6549.

Annexes

Annexe 1 Protocole Infrarouge

La technique de l'analyse Infrarouge Proche est utilisée pour prédire les grands constituants des aliments. En effet, grâce à un spectromètre proche IR, qui se base sur l'absorbance, la réflectance et la transmission de la lumière par la matière, il est possible d'obtenir un spectre propre à la matière analysée. Ce spectre permet d'identifier les grands constituants de la matière analysée. Il est ensuite comparé à une base de données reprenant de nombreux spectres dont les valeurs sont connues pour prédire les valeurs de l'échantillon analysé (Minet et al., 2016). La procédure à suivre est la suivante :

NB : La procédure pour le calcul de la matière sèche reprend les points 1 à 3.

1. Les échantillons prélevés en ferme sont homogénéisés dans une bassine afin d'éviter une déshomogénéisation possible de l'échantillon durant le transport par exemple.
2. Les échantillons sont placés à l'étuve dans un contenant dont la tare mais aussi le poids total du contenant et de l'échantillon sont notés.
3. Le séchage en étuve dure 72h à 60°. Le poids total sec est mesuré, la matière sèche de l'échantillon de base est donc connue.
4. Ensuite, les échantillons séchés sont broyés finement (grille 1mm) à l'aide de deux appareils.
5. Les échantillons sont ensuite analysés via le spectromètre Infrarouge proche afin de déterminer ? sortir le spectre correspondant à l'échantillons analysé.
6. Les paramètres d'intérêt sont ensuite prédits sur base des spectres selon leur nature (ensilage de maïs, herbe fraîche, concentré, ...)
7. Les valeurs alimentaires complètes sont calculées via une feuille de calcul prévue à cet effet selon les différentes formules VEM, DVE, OEB, ... du système de rationnement hollandais.

Annexe 2 Protocole PennState Separator

Le tamis Penn State a été mis au point par l'université de Pennsylvanie. Grace à ce tamis, il est possible de déterminer la quantité d'aliments de différentes tailles qui composent la ration ainsi que la taille moyenne des particules de la ration mais aussi la quantité de pNDF dans la ration. La taille des particules retenue par les tamis sont les suivantes :

- Tamis 1 : > 19,2mm
 - Tamis 2 : 19,2mm > particule > 8mm
 - Tamis 3 : 8mm > particule > 1,3mm
 - Bac du fond
1. Vider l'échantillon frais dans le tamis supérieur.
 2. Posez le Penn State Particule Separator sur une surface plane
 3. Faire cinq allers-retours avec le bac selon une amplitude de 17cm
 4. Pivoter les tamis de 90° et faire à nouveau cinq mouvements allers-retours
 5. Répéter cette étape jusqu'à ce que les tamis fassent 2 tours complets
 6. Peser chaque tamis séparément
 7. Encoder les poids avec tamis dans la feuille de calcul prévue qui calcule donc la proportion d'aliments dans chaque tamis mais aussi la taille moyenne des particules qui composent la ration.

Annexe 3 Source des données fournies par les éleveurs

	Exploitation A	Exploitation B	Exploitation C
Phase 1: Diagnostic			
Historique des productions laitières	Données PROTECOW		
Evolution des rations	Optiration®, Vet-Service	Manoë SPRL	No Data
Bilans comptables (achats aliments, coût de production des cultures,...)	CARAH	Ministère de la région Wallone – Direction générale de l'Agriculture	Service Technico-économique de l'AWE
Phase 3: Suivi et Résultats			
Rations distribuées aux animaux	Ration distribuée à la mélangeuse par les exploitants		
Production de lait	Robot Lely	Robot Delaval	Robot Delaval
TB et TP	Robot Lely	Comité du lait	Contrôle laitier

Annexe 4 Historique des rations et des quantités distribuée (kgMS) - Exploitation B

	13-02-17	28-10-17	28-01-18	03-03-18	16-04-18	01-06-18	30-10-18
Maïs épis	7,70	4,95	4,95	4,24	3,71	5,20	
Maïs 1/3 épis 2/3 PE	0,00						8,00
Ray-grass	1,49			1,51	1,79		
Luzerne	5,91	5,38	6,50	6,65	7,85	8,60	4,10
Autre mélange légumineuse	0,00	1,89	1,43				
Betteraves Fourragères	0,00			1,14			
Pulpes de betteraves surpressées	0,46	2,16	2,16	1,44	0,84		
Drèches de brasseries	1,76		0,88	1,54	1,54	1,70	2,20
Paille	0,44			0,44	0,26		
Anas de lin		0,44					
Pulpes de betteraves sèches						1,40	0,90
Blé				1,04		0,87	0,90
Blé maxxamon		1,76					
Corn gluten feed				2,70	2,70	1,90	
Limax 32	0,43	0,18	0,30	0,28	0,22	0,10	0,30
TT soja		0,70	1,58	0,88			0,90
TT soja tanné	1,32	0,70					
TT Lin							0,50
[Production]	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,50	2,49
Total	20,83	19,48	21,04	22,13	21,10	20,40	20,29

Annexe 5 Prix utilisés pour le calcul du coût des rations (en €/tMS)

Aliments	Exploitation A	Exploitation B	Exploitation C
Paille de blé		30	
Ensilage de maïs	100	100	100
Ensilage d'herbe	140	140	140
Ballots de luzerne		180	
Herbe paturée	0		
Pulpes de betteraves		107	120
Drèches de brasserie		79	
Mélasse / Limax	257		346
Tourteau de colza	269		
Tourteau de soja		418	356
Pois protéagineux			185
Mélange TT Soja- TT Lin (50%-50%)		442	
Mélange TT Soja- TT Lin (80%-20%)		369	
Linumex		505	
Orge	135		135
Blé		150	
Maïs		150	
Mélange énergie	215		
Concentré de production (18% protéines)			312
Concentré de production (40% protéines)			450
Concentré de production à façon		310	

Annexe 6 Répartition détaillé des animaux - Exploitation C

	Groupe Témoin			Groupe PROTECOW		
	N°animal	Production (kg de lait)	JEL	N°animal	Production (kg de lait)	JEL
Lact n° 2	70-100			70-100		
	4483	34	78	7513	43	73
	4485	39	83	7511	47	87
	7519	42	95	4478	42	97
	4476	47	98	4428	38	97
	Total	40,5	88,5	Total	42,5	88,5
	100-150			100-150		
	4444	46	110	7506	32	102
	7504	31	115	7509	31	103
	7503	41	122	4477	41	106
	4425	27	139	4468	34	138
	4463	34	142			
	Total	35,8	125,6	Total	34,5	112,25
	150-200			150-200		
	4455	29	156	4446	41	162
	4450	31	162	4462	27	166
	4451	34	166	4420	26	174
	4422	31	184	4469	31	181
	4488	26	190	4466	20	185
	4431	24	198			
	Total	30,2	171,6	Total	29	173,6
	200 +			200+		
	4439	35	204	4470	41	200
	4441	24	206	4448	27	201
	4440	31	208	4459	31	220
	4458	31	219	4447	26	240
	4467	20	220	4432	12	241
	4423	28	267	4461	38	247
	4457	17	273	2463	24	257
	2402	20	295	4413	24	258
	4416	33	310	4435	28	274
	2485	32	338	4404	24	276
	4419	24	340	4454	23	294
	2481	23	539			
	Total	26,5	284,92	Total	27,09	246,18
	70-100			100-150		
	2474	35	75	2465	38	100
	Total	35	75	Total	38	100
	150-200			150-200		
	4403	35	172	2478	27	168
	2464	28	177	4401	45	169

	2469	29	196	2435	23	188
	Total	30,67	181,67	Total	31,67	175
	200 +			200+		
	2446	38	203	2492	31	201
	2429	27	208	2428	27	211
	2475	19	223	2442	29	215
	2479	29	227	2461	32	217
	2451	31	257	2447	26	231
	2405	12	295	2403	31	240
	2448	28	316	6586	26	259
	2443	19	329	2477	29	265
				6554	18	328
				6555	25	374
	Total	28,8	223,6	Total	27,4	254,1
Lact n° 4 et +	70-100			70-100		
	6512	43	93	6587	34	81
				2414	47	90
	Total	43	93	Total	40,5	85,5
	100-150			100-150		
	1599	39	115	6535	43	138
	Total	39	115	Total	43	138
	150-200			150-200		
	6536	29	181	6547	36	171
	6542	31	198	6574	23	187
	Total	29	181	Total	29,5	179
	200 +			200 +		
	6556	32	236	2406	30	227
	6588	33	267	6541	26	322
	6525	26	302	9729	19	342
	7243	29	311	1661	25	440
	7226	15	321	1658	35	242
	1646	37	221	1615	31	274
	1593	33	231	1513	24	240
	1620	26	396	1583	35	268
	Total	28,88	285,63	Total	28,13	294,38
TOTAL	51	30,14	216	51	30,71	207