
Contribution à la mise en évidence des facteurs influençant le succès de l'introduction du robot de traite au pâturage

Contribution to the highlighting of influencing
factors for a successful combination of automatic
milking system and grazing



Françoise Lessire

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade
de Docteur en Sciences Vétérinaires

Année académique 2019-2020



**UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DE MEDECINE VETERINAIRE
DEPARTEMENT GESTION VETERINAIRE DES RESSOURCES ANIMALES
SERVICE NUTRITION**

**Contribution à la mise en évidence des facteurs influençant le succès de l'introduction du robot
de traite au pâturage**

**Contribution to the highlighting of influencing factors for a successful combination of automatic
milking system and grazing**

Françoise LESSIRE

**THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE
Docteur en Sciences Vétérinaires**

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

Remerciements

Dans ce long voyage, je n'ai pas été seule. Ainsi, je voudrais remercier tous ceux qui de près ou de loin m'ont aidée à arriver au rivage.

Tout d'abord, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Isabelle, ma promotrice qui, en croyant en moi, m'a aidée à y croire aussi. Merci de ta patience, tu en as eu besoin... Merci de ton soutien, qui m'a aidée à poursuivre la route, quand tout me disait d'arrêter.

Merci à Jean-Luc, pour son écoute, son enthousiasme, sa disponibilité.

Toute ma gratitude au Docteur Froidmont pour ses encouragements et ses relectures attentives. Je voudrais remercier également le Professeur Pascal Gustin. Merci, Pascal, de m'avoir poussée, alors que je me croyais au bout de ma vie, à entreprendre ce DEA qui a été la première étape de ce parcours tortueux...Ma reconnaissance va aussi au Professeur Frédéric Rollin. Frédéric, merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir permis de renouer avec la recherche après tant d'années de pratique en clientèle.

Merci à mes collègues rencontré(e)s au cours du projet Autograssmilk, pour cette collaboration riche, qui nous a conduits, au-delà du cadre professionnel, à établir des relations empreintes de sympathie et d'amitié.

Merci à mes collègues, de la Ferme Expérimentale, Antoine, Greg, Baba, Jonathan, Edwin, Driss et Aurore, qui ont partagé les bons et moins bons moments et m'ont aidée au quotidien.

Merci aux agriculteurs qui nous ont accueillies. Merci de nous avoir fait confiance, merci d'avoir partagé votre expérience, votre enthousiasme, vos moments de doute et de découragements.

Merci à mes collègues, la route fut longue, j'en oublie sûrement, Nassim, Oanh, Emilie, Valérie, Julie, Pauline...pour leur soutien, leur écoute, leur amitié et pour certains, le temps passé à relire et à modifier les multiples brouillons.

Merci à Anne, qui m'a aidée à parfaire ce manuscrit avec patience.

Merci à mes fils, qui m'ont portée et supportée tout au long de ces années. Ça y est, les gars, c'est fini, on va pouvoir faire autre chose de nos week-ends et de nos vacances!

Merci à ma famille élargie, pour son soutien et ses leçons de résilience...

Abréviations

ACP	Analyse en Composante Principale
ADF	Acid Detergent Fiber
AMS	Automatic Milking System
AS	Automatic System
BC	Bas Concentré
BCS	Body Corporal Score – score corporel
CI	Confidence Intervals – intervalles de confiance
CP	Crude Protein
CS	Concentrate Supply
d	day
DAC	Distributeur Automatique de Concentrés
DIM	Days in Milk
DM	Dry Matter
EH	Ensilage d’Herbe
F	Fat
FFA	Free Fatty Acids – acides gras libres
FM	Failed Milking
FMV	Faculté de Médecine Vétérinaire
FT	Fréquence de Traite
H	Herd
HC	Haut Concentré – High Concentrate
HF	Holstein-Friesian
HS	Heat Stress
IR	Infra-Rouge; Infra-Red
LC	Low Concentrate
LPS	Lipopolysaccharide
MI	Milking Interval
MMI	Minimum Milking Interval
MS	Matière Sèche
mS	micro Siemens
MY	Milk Yield
NDF	Neutral Detergent Fiber
NRIS	Near Infra-Red Spectrum
NZF	Frisonne néozélandaise

Abréviations

P	Protein
PC	Permission (de traite) Courte
PDMI	Pasture Dry Matter Intake
PL	Permission (de traite) Longue
PMR	Partial Mixed Ration – Ration Partielle Mélangée
RDT	Robot de Traite
RM	Refused Milking
RPM	Ration Partielle Mélangée
RT	Rumination Time
RTM	Ration Totale Mélangée
SCC	Somatic Cell Count
Se	sensibilité
Sp	spécificité
SM	Successful Milking
TMR	Total Mixed Ration
USH	Holstein USA
UT	Unité de Traite
vs	versus
VL	Vaches Laitières
WSC	Water Soluble Carbohydrates

Table des matières

Résumé.....	14
Préambule général	20
Introduction.....	23
1 Le robot de traite	24
1.1 Contexte.....	24
1.2 Historique.....	25
1.3 Principes de fonctionnement	26
1.4 Indicateurs de performance.....	32
1.5 Avantages et inconvénients de la traite robotisée	35
1.6 Développements et perspectives.....	39
2 Combiner traite automatisée et pâturage	44
2.1 Intérêts.....	44
2.2 Stratégies à envisager par les éleveurs	44
2.3 Indicateurs de performances	45
2.3.1 Gestion du robot.....	45
2.3.2 Gestion du troupeau	47
2.3.3 Gestion de la prairie.....	48
2.3.4 Le cas particulier du robot mobile	50
Objectifs	54
Section expérimentale.....	56

Table des matières

Etude 1 :	58
Pâturer avec un robot de traite : une diversité de stratégies.....	58
Etude 2 :	76
The effect of concentrate allocation on traffic and milk production of pasture-based cows milked by an automatic milking system	76
Etudes 3 et 4 :	100
Etude 3 :	104
Is it possible for large herds to graze while keeping a high milk yield level? The experience of two Belgian dairy farms	104
Etude 4 :	112
Traite robotisée, grands troupeaux et pâturage : retour d'expérience de 2 exploitations en Belgique	112
Etude 5 :	124
Rumination time, milk yield, milking frequency of grazing dairy cows milked by a mobile automatic system during mild heat stress.....	124
Etude 6 :	134
Systematic review and meta-analysis: Identification of factors influencing milking frequency of cows in automatic milking systems combined with grazing	134
Discussion et perspectives	164
Bibliographie	172

Table des figures

Figure 1 Unité de traite [1]. La figure montre le bras du robot – bras robotisé [2], le poste de contrôle des capteurs [3] et le poste de contrôle de la traite [4]. Un écran [5] affiche un résumé des données pertinentes pour l'opérateur.....	26
Figure 2 Unité de traite: Vue latérale montrant le positionnement de la vache dans l'unité de traite via des barrières [6], l'auge de distribution des concentrés [7] et la mise en place des gobelets trayeurs [8].	26
Figure 3 Exemple d'écran d'affichage des données permettant une vue d'ensemble rapide par l'opérateur des performances de traite.....	28
Figure 4 Aménagement du robot dans l'étable. Les vaches sont guidées par un système de barrières. Sur la droite, le bureau, où l'agriculteur consulte les rapports générés par le robot (Photo : Henri Luc Landais).....	30
Figure 5 Exemple d'étable en circulation libre. Le passage de l'aire de couchage à l'aire d'alimentation ou à l'aire de traite s'effectue librement. A la sortie du robot, une porte anti-retour oriente les animaux vers le box d'isolement ou permet le retour vers l'étable (Source : Chambre d'agriculture de Bretagne, 2009).....	30
Figure 6 Exemple de bâtiment en circulation forcée : les animaux sont guidés de l'aire d'alimentation à l'aire de couchage puis à la salle d'attente située face au robot par des portes anti-retours (Source : Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2009).	31
Figure 7 Système de robot rotatif (Photo DeLaval®).	42
Figure 8 Porte de tri à la sortie de l'étable, permettant de sélectionner les animaux qui peuvent avoir accès au pâturage. À côté, une porte anti-retour permet d'empêcher la sortie des animaux sans passage préalable par la porte de tri (Photo: Henri-Luc Landais).....	45
Figure 9 Système de parcellaire AB. Les parcelles sont divisées en 2 blocs situés de part et d'autre du robot sur le site de Trévarez – France (Illustration issue de Cloet et al., 2017).	49
Figure 10 Système de parcellaire ABC : les parcelles sont divisées en trois blocs. Exemple de Moorepark - Irlande (Illustration issue de Foley et al., 2015).....	49
Figure 11 Disposition du parcellaire à la Ferme Expérimentale du Sart Timan.	51

Table des matières

Résumé - Summary

Résumé

Le développement de la traite robotisée a représenté un changement majeur dans le secteur laitier que ce soit au niveau du quotidien des éleveurs, pour les vétérinaires et conseillers en élevage ou l'industrie laitière. Ce changement touche un nombre croissant d'exploitations au point qu'en Belgique, 2017, une nouvelle installation de traite sur 2 était robotisée (Fedagrim, 2019).

Dès les années 2000, s'est posée la question de la possibilité de poursuivre le pâturage dans les exploitations robotisées. La réponse à cette interrogation est difficile car liée à différents contextes, par exemple l'obligation de pâturer pour des questions de bien-être animal pendant une certaine période de l'année en Suède, alors que dans certains pays d'élevage plus extensif comme la Nouvelle Zélande ou l'Irlande, le pâturage est incontournable. Les publications relatives à ces questions sont donc conjoncturelles. La première publication intégrée dans cette thèse a recensé les différents systèmes développés dans 7 pays qui ont participé au projet Européen AUTOGRASSMILK.

Rapidement, il a été établi que le robot de traite associé au pâturage générait moins de traites. En effet, 2,7 traites automatisées par vache et par jour peuvent être enregistrées en moyenne à l'étable, alors qu'en système pâturant, la fréquence de traite atteint difficilement plus de 2 traites par jour. La gestion de la circulation des animaux vers le robot est généralement plus difficile au pâturage, expliquant la diminution de cet indicateur de performances. Alors qu'à l'étable, le retour vers le robot met en jeu un comportement individuel, en prairie, l'instinct grégaire des animaux se marque davantage, avec pour conséquence une répartition des traites moins homogène sur la journée. D'autres facteurs entrent également en jeu : les vaches sont soumises à d'autres contraintes, telles que la distance au robot, la disponibilité en eau, les aléas climatiques... Les facteurs influençant la circulation des animaux au pâturage peuvent être classés en paramétrables (que l'exploitant peut modifier) et non paramétrables (sur lesquels l'exploitant n'a pas de contrôle).

La partie expérimentale de ce travail est divisé en trois parties. Le premier volet concerne les facteurs paramétrables permettant la combinaison du robot et du pâturage, le deuxième volet étudie les facteurs climatiques, non paramétrables et le dernier fait la synthèse des précédentes parties.

Le premier article fait l'état des lieux des différentes stratégies mises en place en Europe pour aménager un robot de traite en prairie. La deuxième publication a eu pour objectif de vérifier si les modalités d'attribution de concentré avaient un impact sur la fréquentation du robot par les vaches au pâturage. En effet, à l'étable, il est reconnu que la circulation des animaux est améliorée par la distribution de quantités variables de concentrés. Vérifier l'impact de cette distribution dans un système de robot au pâturage a donc parjudicieux.

Résumé

La gestion des grands troupeaux semble facilitée par les systèmes robotisés. En effet, l'automatisation de la traite permet de suppléer à la demande en main d'œuvre nécessaire pour la gestion d'un troupeau de telles tailles. De plus, la génération de rapports et les différentes alarmes disponibles permettraient de faciliter la surveillance des animaux avec des interventions humaines limitées. Les troisième et quatrième études ont visé à évaluer la possibilité de pratiquer le pâturage dans deux troupeaux de plus de 100 animaux et de vérifier l'intérêt économique de cet aménagement.

Les animaux en prairie sont davantage soumis aux aléas climatiques susceptibles de modifier leur comportement. Or, dans le contexte du réchauffement climatique, les épisodes de stress thermiques deviennent plus fréquents. L'objectif de la cinquième étude a été de quantifier les impacts de conditions météorologiques contrastées sur les déplacements, la production laitière et le temps de rumination des vaches laitières en système 100% pâturant.

Les différents contextes décrits dans la bibliographie ont montré la diversité des stratégies d'adaptation avec la publication de résultats semblant parfois divergents. Il nous a donc paru opportun dans l'article 6 de recenser les publications traitant de la combinaison du pâturage avec le robot de traite et d'analyser les facteurs responsables de la diversité des résultats publiés. L'outil méta-analytique nous a permis de quantifier l'impact de la distribution de concentrés, de la permission de traite, du stade de lactation et finalement de l'allocation en herbe sur la fréquence de traite. Enfin, il nous a conduit à constater que la fréquence de traite est un indicateur fiable des performances du robot en système pâturant.

L'ensemble des résultats engrangés lors de ces différentes recherches a permis de recenser les difficultés potentielles rencontrées lors de l'installation d'un robot au pâturage dans le but d'aider les éleveurs qui envisagent cette démarche.

Summary

Development of automatic milking systems (AMS) has induced major changes in the dairy sector whether in farmers' daily practice or for vets, advisors and dairy industry. These changes reach a growing number of farms to the extent that in 2017, one new milking installation on 2 in Belgium was robotic (Fedagrim, 2019).

Since the 2000's, the question has arisen about the possibility to combine AMS and grazing. The answer to this question is not easy as it depends on different contexts: for example, grazing, because of its positive effect on animal welfare, is compulsory in Sweden during a determined period, while in some countries like Ireland and New Zealand, grazed grass is a key source of cattle feed. Publications answering this question are thus linked to particular and different expectations. The first publication included in this thesis aims to describe the different strategies developed in the 7 countries participating to the European project "AUTOGRASSMILK".

However, it was made clear at a very early stage that combining AMS and grazing induced a drop in milking frequencies. Indeed, milking frequency can reach on average 2,7 milkings/cow/d at barn while, at full grazing, milking frequency is hardly above 2 milkings/cow/d. Decreased cows' motivation to travel to the robot justifies this observation. While at barn, returns to the robot depend on individual behaviour, at grazing, herd behaviour is more marked leading to uneven repartition of milkings over the day. Other factors play a role as grazing cows have specific constraints like the distance to AMS, water availability, climatic conditions....

Factors susceptible to interfere with traffic of cows to the robot were highlighted in a first step. The first research paper included in the thesis investigated the effect of concentrates on cows' returns to pasture-based AMS. Indeed, giving a variable amount of concentrate at milking was recognized to improve cows' traffic to AMS in barn. The objective of this publication was thus to verify whether concentrate allocation in pasture based systems could enhance milking frequency.

The development of AMS is usually considered as a useful tool to manage large herds. Actually, automation of milkings allows to alleviate labour needs to manage such herds. Moreover, creation of reports allows access to huge amount of data, convenient to facilitate herd monitoring with limited human interventions. The second study aims thus to verify whether grazing was possible in large herds (more than 100 cows) from zootechnical and economic points of view.

Summary

Grazing animals are more susceptible to climatic hazards influencing their behaviour. Yet, in the context of climate change, heat stress periods become more frequent. The third study aims, thus, to compare the effects of contrasted climate conditions on visits, milk yield and ruminating time of dairy cows in full grazing system.

The different contexts described in the publications' review show the diversity of strategies allowing combination of grazing and AMS with varying results. Consequently, we found interesting to collect all the publications relative to the combination of AMS with grazing and to analyse the factors responsible of the diversity of published results. For that purpose, we used the meta-analytic tool which allowed to highlight the impact of concentrate allocation, milking permission, lactation stage and grass allocation on milking frequency in pasture-based systems. Moreover, it allows us to verify the reliability of milking frequency as indicator of system performances.

Préambule général

Préambule général

Préambule général

Combiner la traite robotisée et le pâturage est considéré comme un défi pour la plupart des éleveurs de notre région. Pourtant, en Wallonie, 96% des éleveurs ont recours au pâturage pour l'alimentation de leurs vaches laitières. Une première étude incluse dans ce document, relève les différentes stratégies permettant d'intégrer le pâturage dans la gestion d'une exploitation robotisée. De cet inventaire, il nous est apparu que les objectifs de l'association robot/pâturage pouvaient être différents. Certains systèmes visaient à maximiser l'incorporation d'herbe dans la ration et à diminuer les coûts de production, alors que pour d'autres conserver une production laitière pratiquement équivalente à celle enregistrée en hiver était un objectif à atteindre.

Au pâturage, la fréquence de traite c'est-à-dire le nombre de traites/vache et par jour (FT) a tendance à diminuer. Or, le principe conducteur de la traite robotisée est d'optimiser le nombre de traite moyen par vache et jour. La circulation des animaux entre la prairie et le robot est donc considérée comme un élément clé d'évaluation des performances du système. L'incidence de différents facteurs, tels que la distribution de concentrés, les conditions climatiques ou la taille des troupeaux sur la FT a été étudiée au travers des différentes publications intégrées dans cette thèse. Des résultats contrastés par rapport à la revue de littérature nous ont poussés à entreprendre une dernière étude basée sur l'outil méta-analytique pour identifier les différents contextes influençant la FT.

Finalement, la corrélation entre la FT et la production laitière a été évaluée et a permis de valider ce paramètre comme indicateur de performances.

Préambule général

Introduction

Introduction

Les installations de robots de traite sont en progression depuis ces dernières années. Ainsi en 2011, de Koning (2011) a fait état de plus de 10.000 exploitations robotisées à travers le monde. En 2015, environ 4800 exploitations laitières étaient robotisées en France (Brocard et al., 2017). En Belgique, une nouvelle installation de traite sur 2 était automatisée au 1^e semestre 2017. Deux marques occupent quasiment la totalité du marché : Lely[®] et Delaval[®] (Fedagrim, 2019). Quatre autres constructeurs sont également présents dans une moindre mesure que ce soit en Belgique ou plus largement en Europe : Boumatic[®] (USA), SAC[®] (Danemark), FullWood Packo[®] (Grande Bretagne) et GEA[®] (France) (Fedagrim, 2019; Serai, 2007; Schnubel, 2015).

Le développement de la traite robotisée est lié à l'augmentation de la taille des troupeaux et à l'augmentation de leur productivité (Rossing & Hogewerf, 1997; Barkema et al., 2015) . En effet, il semble que les vaches hautes productrices s'intègrent difficilement dans un système de traite conventionnel où le nombre de traites par jour est plafonné à 2. Un des objectifs poursuivis lors de la mise en œuvre du robot de traite a été donc de maximiser l'accès à la traite et donc d'augmenter la production laitière par vache et par jour (de Koning & Rodenburg, 2004). De plus, le manque et le coût de la main d'œuvre sont deux facteurs qui ont généré un intérêt pour la traite automatisée (Veysset et al., 2001).

Dans ce contexte, la combinaison du robot de traite avec le pâturage semble difficile voire impossible. En effet, garder un nombre de traites supérieur à 2 semblait difficilement compatible avec un troupeau en pâture, par définition éloigné de l'unité de traite (UT). De plus, il est communément admis que la production laitière des vaches en prairie tend à diminuer (Lyons et al., 2014_b). Les premières installations robotisées ont dès lors été un frein au pâturage.

Or, les avantages du pâturage sont nombreux que ce soit au niveau économique, sociétal et environnemental. De nombreux agriculteurs ne souhaitaient donc pas y renoncer. Il a ainsi fallu adapter la gestion de la traite robotisée à des animaux pâturant.

Ce travail vise donc à définir quelles sont les contraintes liées à l'utilisation d'un robot de traite en prairie, à objectiver leur impact sur les performances du robot et enfin à analyser leur incidence économique en tenant compte de la diminution des coûts alimentaires de production liée à l'incorporation d'herbe pâturée dans la ration.

1 Le robot de traite

1.1 Contexte

Le système de traite robotisée peut être considéré comme le premier pas à destination des éleveurs laitiers vers le « smart farming » ou élevage de précision. En effet, il combine un acte technique mécanisé à l'accès à des données de plus en plus précises (Veysset et al., 2001; Kaihilahti et al., 2007; Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008). Ainsi, le robot génère pour un meilleur suivi de l'animal et du troupeau, des informations sur la traite comme les quantités et la composition du lait produit (taux butyrique, taux protéique et lactose), sur l'alimentation avec les quantités de concentrés programmés, réellement distribués et ingérés, sur certaines données physiologiques de l'animal telles que le poids, la détection des chaleurs, la rumination, l'activité et sur certains paramètres liés à la santé des animaux (mesure de la conductivité, poids, rumination, activité). Sur certains d'entre eux, il permet aussi une meilleure détection et un suivi performant des mammites avec une indication de la température du lait, un comptage cellulaire et une mesure de la conductivité voire même une mesure de l'activité de la lactate déshydrogénase (de Koning, 2011; Jacobs & Siegford, 2012). Les données disponibles peuvent être ensuite pré-analysées pour supporter et motiver les décisions de l'exploitant (O'Grady & O'Hare, 2017).

Le développement du robot de traite est lié à plusieurs demandes. L'augmentation de la taille des troupeaux et du niveau de production laitière s'accompagne d'une demande accrue en main d'œuvre. Or, l'éleveur est actuellement confronté à 2 contraintes: le souci de trouver une main d'œuvre qualifiée et les coûts qu'elle induit (Pomies et al., 2008). Le coût de l'installation d'un système de traite automatisé est élevé mais peut être partiellement compensé par la diminution des coûts salariaux (de Koning, 2011). De plus, la libération de l'éleveur des contraintes de la traite tant au niveau des horaires que du temps nécessaire pour cette tâche lui permet d'être disponible pour d'autres travaux agricoles et de générer un revenu supplémentaire (de Koning, 2011; Jacobs & Siegford, 2012). L'introduction d'un robot augmente la fréquence des traites élevant la quantité de lait produite (Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008). Ainsi, selon Peterson et al. (2011), le passage de 2 à 3 traites par jour entraîne une augmentation de 10 à 15 % de la production laitière voire plus (Hart et al., 2013). Dans d'autres conditions, c'est-à-dire avec un passage de 2 traites en traite conventionnelle à 2,5 traites par jour en moyenne en traite robotisée, l'augmentation de production oscille de 2 à 7%, avec un maximum de 8% en prenant en compte seulement les pluripares. Lind et al. (2000) considèrent, dès lors, que les facteurs-clés favorisant la mise en place d'un robot de traite sont des prix de main d'œuvre conséquents, des troupeaux à haute production laitière et un prix du lait avantageux. Généralement, ce sont les exploitations familiales qui optent pour cette technologie.

Introduction

Au niveau sociétal également, l'arrivée du robot de traite permet de libérer l'éleveur des contraintes tant physiques que temporelles (Gygax et al., 2007). Suivant une étude faite aux Pays-Bas par Rossing & Hogewerf (1997), de nombreux problèmes de santé tels que des maux de dos (40%), maux de nuque (30%) et d'épaules sont relevés chez les éleveurs laitiers. Le temps dédié à la traite représente 25 à 35 % du total des heures de travail dans une exploitation laitière selon de Koning, (2011) et 2/3 suivant Veysset et al. (2001). L'introduction du robot permet de diminuer la durée des tâches manuelles et une partie du temps de travail devient dédié à l'analyse des données disponibles via le robot (de Koning, 2011). Même si le temps total passé à la gestion de la traite reste sensiblement le même, le travail de gestion des données est plus flexible, améliorant la qualité de vie des exploitants (Spahr & Maltz, 2002; de Koning, 2011). Une autre attente sociétale du secteur est de pouvoir disposer de plus de temps libre, soit dédié aux travaux de la ferme, soit à d'autres activités (Kaihilahti et al., 2007). Le robot de traite permet d'être disponible pour une vie sociale plus intense et de diminuer l'isolement de l'exploitant (de Koning & Rodenburg, 2004). Plus que l'aspect économique et que le calcul de rentabilité, il semble que le gain de temps libre soit un des facteurs clé dans le choix du passage à la traite robotisée (Pomies et al., 2008). L'éleveur doit cependant rester disponible en cas de problème, ce qui n'est pas le cas en traite conventionnelle.

1.2 Historique

L'automatisation de la traite a fait l'objet de nombreuses recherches depuis la fin des années '70. Déjà un premier système de traite automatisée a été breveté en Allemagne de l'Est en 1971. Il s'agissait essentiellement d'une stalle dans laquelle une vache était enfermée. Du plancher, alors, une trappe s'ouvrait et laissait apparaître une cloche dans laquelle le lait était récolté. En 1977, au Japon, des chercheurs ont développé une UT dans laquelle les mouvements de la vache étaient limités par un système de coussins d'air. Une fois l'animal bloqué, le système de nettoyage des trayons et les gobelets trayeurs sortaient du sol. Il n'y avait pas encore de système de reconnaissance des trayons (Rossing & Hogewerf, 1997). En 1976, un premier symposium « Automation in Dairy Farming » s'est tenu à Wageningen (Pays-Bas), posant les principes du développement de la traite robotisée. Un des problèmes majeurs était l'attache des griffes de traite aux trayons, pour lequel différents systèmes ont été élaborés dans les années '80 (Rossing & Hogewerf, 1997; Lind et al., 2000). En 1992, les premières exploitations robotisées apparaissaient aux Pays Bas (Jacobs & Siegford, 2012). Actuellement 6 marques se partagent le marché mondial : Lely®, DeLaval®, Boumatic®, SAC®, Fullwood Packo® et GEA®.

1.3 Principes de fonctionnement

Le mécanisme est globalement le même quelle que soit la marque. Un robot est présenté à titre d'illustration. Certaines spécificités des installations seront détaillées dans le texte.

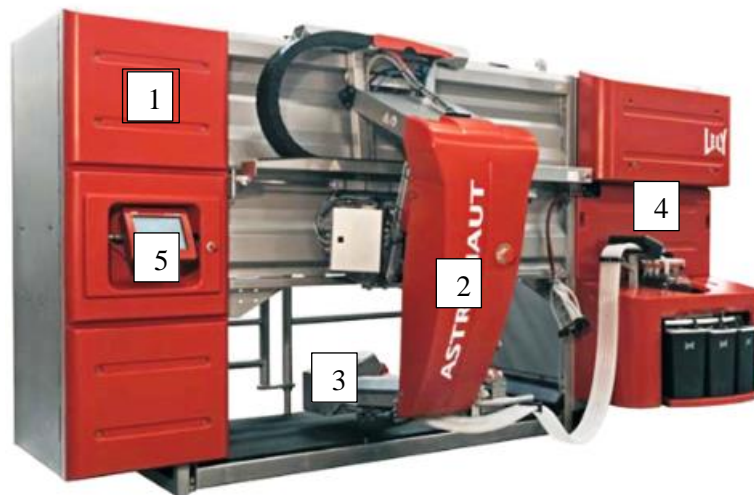


Figure 1 Unité de traite [1]. La figure montre le bras du robot – bras robotisé [2], le poste de contrôle des capteurs [3] et le poste de contrôle de la traite [4]. Un écran [5] affiche un résumé des données pertinentes pour l'opérateur.



Figure 2 Unité de traite: Vue latérale montrant le positionnement de la vache dans l'unité de traite via des barrières [6], l'auge de distribution des concentrés [7] et la mise en place des gobelets trayeurs [8].

Introduction

Le robot de traite comprend le box – ou unité de traite [1] dans lequel la vache se positionne. Les barrières se ferment [6], limitant les mouvements de l'animal. La vache est reconnue grâce à un capteur fixé sur un collier. Dès qu'elle est identifiée, elle est - ou non - admise à la traite. En effet, une **permission de traite** est encodée dans les paramètres de traite du robot. Elle peut être fixée sur base du temps écoulé entre la traite précédente (**intervalle de traite**) et la nouvelle présentation de la vache et/ou du volume récolté auparavant. Si de trop petits volumes ont été prélevés précédemment, la traite n'est pas autorisée, ceci pour éviter les sur-traites. Lorsque la traite est refusée, l'animal doit quitter l'UT. Par contre, si l'autorisation est accordée, le bras du robot [2] se déplace pour permettre le nettoyage et la reconnaissance des trayons. Le système de nettoyage peut consister en un ensemble de brosses qui nettoient les trayons suivant les marques avec ou sans utilisation d'eau/d'air ou un gobelet nettoyeur fixé sur le bras au même endroit que les gobelets trayeurs (DeLaval® – SAC®). Enfin GEA® commercialise un système de gobelet unique pour le nettoyage et la traite. Ces systèmes de nettoyage, outre l'hygiène de la traite, permettent de stimuler la mamelle et d'activer la libération d'ocytocine (Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008). Celle-ci est nécessaire pour induire la libération du lait stocké dans les alvéoles de la glande mammaire.

Les trayons sont reconnus et la griffe [8] permettant la mise en place des gobelets se positionne sous le pis. Pendant la traite, des concentrés sont distribués suivant un plan de distribution tenant compte du nombre et du stade de lactation et de la production laitière. L'auge de distribution [7] est fixe ou mobile suivant les firmes et les modèles. Certaines marques permettent la combinaison de maximum 3 aliments de composition différente, voire 4 chez DeLaval® (en comptant un aliment liquide), afin de s'adapter au mieux aux besoins des animaux. La distribution se fait tout au long de la traite.

Les modules de contrôle des capteurs [3] et les systèmes de traite [4] sont intégrés dans l'UT (Rossing & Hogewerf, 1997; de Koning, 2011). Un écran présentant différents paramètres [5] tels que l'identification de la vache, son intervalle de traite, sa durée de traite ou des données plus larges liées à la gestion du troupeau telles que la production journalière, le nombre de traites ou le volume de lait écarté, est intégré au module afin de permettre une vue d'ensemble immédiate pour l'opérateur.



Figure 3 Exemple d'écran d'affichage des données permettant une vue d'ensemble rapide par l'opérateur des performances de traite.

La détection des trayons a été longtemps le facteur limitant de l'expansion des robots. Elle présente un réel défi. Certaines vaches ont un pis dont la conformation ne permet pas une reconnaissance rapide, par exemple en raison de trayons surnuméraires, trayons arrières trop bas, pis anatomiquement mal positionné. On considère que lors de la mise en place d'un robot de traite, une sélection du troupeau sur base de la conformation du pis est nécessaire: en moyenne, 5 à 10 % des vaches sont écartées (Rossing & Hogewerf, 1997; Veysset et al., 2001). Malgré que l'emplacement des trayons soit enregistré individuellement, l'intervalle de traite et le positionnement de l'animal à l'intérieur de l'UT peuvent modifier la position des trayons et donc leur reconnaissance (Rossing & Hogewerf, 1997). Celle-ci se fait par différents systèmes suivant les distributeurs: via des capteurs à ultra-sons et des capteurs laser associés ou non à des caméras numériques (Rossing & Hogewerf, 1997). Les nouveaux systèmes de caméras numériques permettent une vue en 3 dimensions du pis.

Après l'accrochage des gobelets trayeurs, les premiers jets sont éjectés et la traite peut commencer. Le lait de certaines vaches est écarté s'il s'agit de colostrum, de lait traité avec risque de résidu ou de lait infecté. Dans ce cas, le système est rincé. Certaines firmes proposent un système d'écartement du lait trayon par trayon, limitant la quantité de lait à retirer. Le lait écarté peut être stocké ou directement vidé. Le décrochage se fait au niveau de chaque trayon individuellement sur base de la chute de débit au niveau du quartier. Un produit de post-trempage est alors pulvérisé sur le trayon. Le bras du robot se retire, les barrières s'ouvrent et la vache peut sortir de l'UT. Les manchons trayeurs sont nettoyés après chaque traite. L'ensemble du système est nettoyé 2 à 3 fois par jour à des moments de moindre fréquentation de l'installation.

Introduction

L'agencement du robot doit être réfléchi pour permettre un trafic fluide des animaux dans l'étable, le but étant de maximiser le nombre de traites par jour. Des recommandations générales peuvent être données : permettre un accès large et facile aux robots, éviter les coudes au niveau des allées, privilégier les allées droites, permettre une sortie aisée du robot. Idéalement le robot ne doit pas être trop écarté du tank à lait pour minimiser la longueur des tuyaux nécessaires pour transporter le lait. Le système de circulation doit être clair pour les animaux. Les déplacements doivent être minimisés (Veysset et al., 2001; de Koning & Rodenburg, 2004; Jacobs & Siegford, 2012).

Au niveau d'un bâtiment d'élevage, trois zones peuvent être définies : une aire d'alimentation, une aire de couchage et une aire de traite avec l'emplacement du ou des robots. Le déplacement des animaux se fait dès lors suivant le mode de circulation choisi : forcé ou libre. En circulation libre, l'animal se déplace sans contrainte d'une zone à l'autre. L'intervention de l'exploitant est parfois requise pour ramener certains animaux au robot. Cela peut concerner 4% des animaux mais dans certaines étables, ce pourcentage peut atteindre 41% (Jacobs & Siegford, 2012; Bach & Cabrera, 2017). Si la circulation forcée est choisie, des systèmes de portes intelligentes (smart-gates) ou de systèmes anti-retour permettent de guider les animaux vers une aire d'exercice qui se trouve devant l'entrée du robot. Elles doivent passer obligatoirement par l'UT pour avoir accès à la nourriture voire à l'abreuvoir. Dans ce cas, il faut prévoir une aire d'attente devant le robot permettant d'accueillir 10% du troupeau (Veysset et al., 2001). Une aire d'isolement doit être prévue, quel que soit le système de circulation choisi pour permettre les interventions sur l'animal, que ce soit pour des traitements ou pour des inséminations, par exemple. L'animal y est dirigé par une porte de tri à la sortie du robot (Figures 5 et 6).



Figure 4 Aménagement du robot dans l'étable. Les vaches sont guidées par un système de barrières. Sur la droite, le bureau, où l'agriculteur consulte les rapports générés par le robot (Photo : Henri Luc Landais).

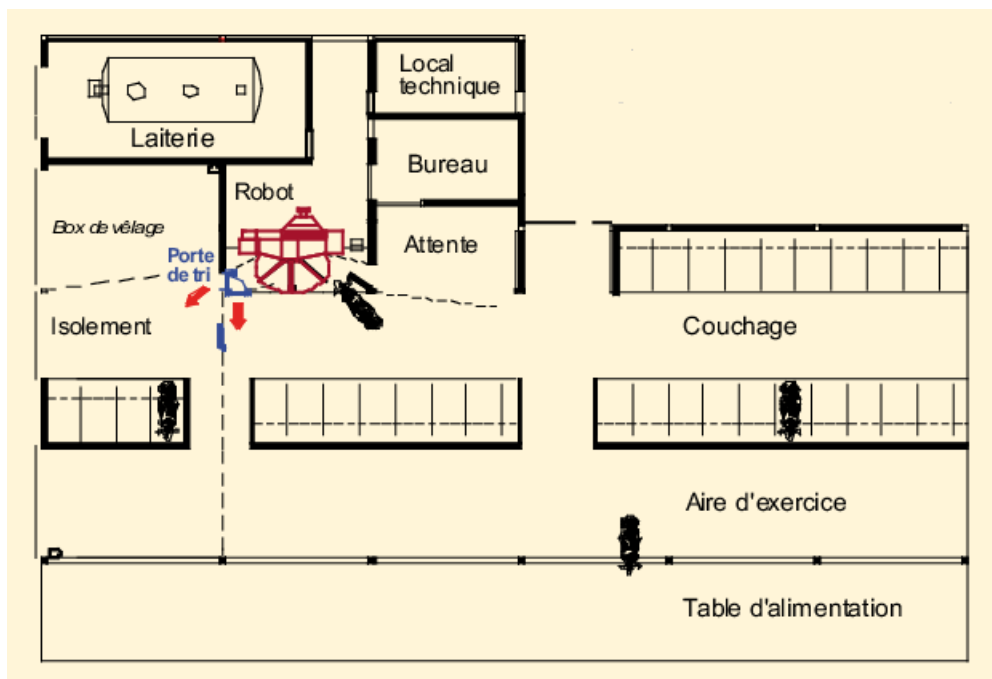


Figure 5 Exemple d'étable en circulation libre. Le passage de l'aire de couchage à l'aire d'alimentation ou à l'aire de traite s'effectue librement. A la sortie du robot, une porte anti-retour oriente les animaux vers le box d'isolement ou permet le retour vers l'étable (Source : Chambre d'agriculture de Bretagne, 2009).

Introduction

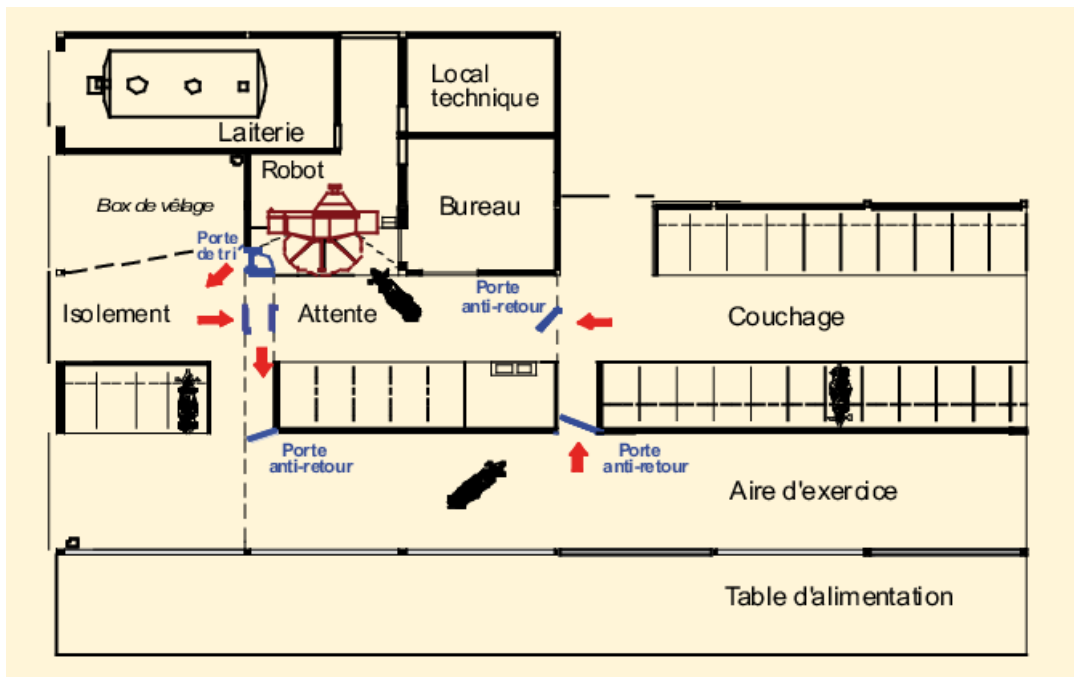


Figure 6 Exemple de bâtiment en circulation forcée : les animaux sont guidés de l'aire d'alimentation à l'aire de couchage puis à la salle d'attente située face au robot par des portes anti-retours (Source : Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2009).

Les agriculteurs, au moment de l'installation du robot, ont souvent des réticences par rapport à la circulation libre. Ils craignent, en effet, que les retours vers le robot soient insuffisants pour obtenir un nombre de traite supérieur à deux. Par contre, le choix de la circulation dirigée génère des frais supplémentaires en termes de barrière et/ou de portes de tri.

En raison de la circulation des animaux sur les performances du système, le choix d'un système ou l'autre a fait l'objet de nombreuses études (Bach et al., 2009; Tremblay et al., 2016). De celles-ci, il ressort que la circulation libre a un effet favorable sur la production laitière que ce soit par vache et par jour ou par UT (Bach et al., 2009; Tremblay et al., 2016). En effet, le choix du système de circulation forcée génère parfois des files devant le robot, empêchant les vaches dominées de passer rapidement. Le passage par le robot étant obligatoire pour accéder à la nourriture, les passages avec refus sont plus fréquents (Bach et al., 2009). Le comportement alimentaire des animaux est modifié : les vaches ont tendance à manger plus rapidement. Quand on considère l'ensemble des activités des animaux sur la journée, ce type de circulation réduit le temps disponible pour le repos et la rumination (Bach & Cabrera, 2017). En conclusion, malgré l'augmentation du nombre de traites, la production n'est pas améliorée (Bach et al., 2009; Tremblay et al., 2016). De plus, il est actuellement admis que le système de circulation forcée respecte moins le bien-être des animaux (de Koning & Rodenburg, 2004). Au pâturage également, l'éleveur peut faire le choix d'un système à circulation libre ou forcée. Ce point sera abordé ultérieurement.

1.4 Indicateurs de performance

La productivité d'un robot de traite est évaluée par la quantité de lait produite par jour par UT. Elle est corrélée à la production par vache et par jour et à l'efficacité de la circulation des animaux au robot. Les paramètres permettant d'évaluer celle-ci s'affichent sur l'écran de contrôle présent dans l'UT de traite.

La productivité du robot repose essentiellement sur la possibilité d'augmenter le nombre de traites par jour. Effectivement, le nombre de traites a un effet direct sur la production laitière. Selon différentes études, l'augmentation de la fréquence traites au-delà de 2 par jour peut conduire à une augmentation de 10 à 21% de la production laitière (Hart et al., 2013). Or dans un système robotisé, la FT n'est pas liée à l'opérateur mais aux animaux qui doivent volontairement se déplacer pour la traite (Jacobs & Siegford, 2012).

Comme détaillé ci-dessus, la conception de l'étable a une importance majeure sur la circulation des animaux.

Si la FT n'est pas suffisante dans une installation, ou chute par rapport aux jours précédents, différents facteurs sont à évaluer.

Introduction

La distribution et l'ingestion de concentrés depuis le système de distribution des aliments (par exemple, en cas d'obstruction dans le système de distribution de l'aliment), le remplissage du silo d'aliments, l'appétence d'un nouvel aliment sont à vérifier.

L'état de santé des animaux, dont notamment les boiteries susceptibles de réduire les déplacements vers le robot, doit faire l'objet d'une attention journalière.

Des facteurs liés au comportement des animaux peuvent limiter *l'accès au robot*: des génisses mal habituées au robot, les vaches dominantes empêchant les plus dominées ou les plus jeunes d'accéder à l'UT peuvent provoquer l'engorgement de l'entrée du robot.

A l'inverse certains facteurs peuvent optimiser les retours des animaux.

La consommation de concentré est un élément déterminant de la circulation vers l'AMS (de Koning, 2011; Bach & Cabrera, 2017). Il existe une relation forte entre les quantités de concentrés distribués et la production laitière par vache et par jour et par UT (Siewert et al., 2018) : plus les quantités de concentrés distribués sont importantes, plus la production laitière augmente. Néanmoins d'après certains auteurs, il ne faut pas dépasser une complémentation de plus de 4 kg par vache et par jour et de 1 à 1,5 kg par visite. Certains concentrés sont plus appréciés que d'autres: la distribution de quantités importantes n'est pas le seul facteur favorisant, la composition est aussi importante (Bach & Cabrera, 2017).

D'autre part, **le taux d'occupation du robot** détermine le nombre d'animaux possible par UT. En général, on estime la capacité d'un robot à 55 – 60 vaches. Un robot dépassant cette capacité est dit **saturé**. Différents facteurs influencent le taux d'occupation, tels que le *niveau de production* puisqu'il faut plus de temps pour traire une vache haute productrice qui va revenir plus souvent au robot. La *répartition des vêlages* est également à considérer. Si tous les vêlages sont groupés, le temps d'occupation va être élevé en pic de vêlage alors que le temps libre sera étendu à d'autres périodes (Veysset et al., 2001). *La vitesse de traite* (kg lait/min ou nombre de vache/h) permet de diminuer le temps d'occupation du robot et sans doute d'augmenter le nombre d'animaux géré par une UT (Rodenburg, 2017; Siewert et al., 2018). Et enfin, la *motivation* qui pousse les animaux à se rendre à la traite, liée à la nourriture – plus qu'à l'augmentation de pression dans le pis (de Koning, 2011) - influence le taux d'occupation.

Le pourcentage de temps libre indiqué sur les rapports générés permet d'objectiver si le robot est sur- ou sous-utilisé. Un temps libre de 5% signale que le système fonctionne en flux tendu et qu'un imprévu risque de bloquer le système. Un pourcentage de temps libre de plus de 20% indique une sous-utilisation du robot avec valorisation insuffisante de l'installation (Siewert et al., 2018). La moyenne du

nombre de traites dans un troupeau où la circulation des animaux est fluide peut atteindre 2,7 traites par vache et par jour.

L'intervalle de traite peut être défini comme l'inverse de la FT. Cette notion intervient dans la programmation de la permission de traite. Il est calculé comme la différence de temps écoulé entre la fin de la dernière traite (c'est à dire le moment où le 4^e gobelet se détache du pis) et le début de la suivante (attachement du premier gobelet). S'il est trop court (≤ 4 h), les sphincters du trayon sont trop sollicités et peuvent être altérés. S'il est trop long (plus de 16 h), la santé mammaire peut être impactée, les germes introduits à l'occasion de la traite ayant plus de temps pour se multiplier (Hovinen & Pyörälä, 2011). La distribution des intervalles de traite dans un troupeau est large. Pour un intervalle moyen de 9,2 h, un tiers des animaux présente un intervalle de moins de 6h et 1/3 de plus de 12 h - et ce pour les mêmes paramètres d'accès au robot. Il y a donc un effet individuel non négligeable (Hogeveen et al., 2001). Un intervalle de traite court a un effet positif sur la production laitière des vaches hautes productrices. Lorsqu'il est plus long, la vitesse d'émission du lait augmente avec un temps d'occupation restreint. Un compromis entre les avantages et les inconvénients est donc à trouver et malgré les différentes études sur le sujet, il n'y a pas de recommandation à appliquer dans toutes les situations (Hovinen & Pyörälä, 2011). Généralement l'intervalle de traite médian est de 8h.

Cependant, le nombre de retours par vache et par jour ou par UT ne reflète pas seulement le nombre de traites mais il tient compte aussi du nombre de refus et du nombre d'échecs. Il conditionne le temps durant lequel le robot est occupé. Les refus et les échecs doivent être régulés pour optimiser le système.

Le nombre de refus se définit par le nombre de retours de l'animal vers le robot en dehors de leur permission de traite se soldant par un accès à la traite refusé et une expulsion de l'UT. Même si le refus n'est pas (trop) long – l'animal est reconnu et repoussé – il impacte le temps d'occupation du robot et donc potentiellement les kg de lait produits par UT et par jour.

Le nombre d'échecs de traite est un élément très important au niveau de la productivité du robot car il s'accompagne de perte de production de lait et d'un temps où le robot est improductif (Siewert et al., 2018). En moyenne, 3% des échecs sont liés au facteur animal et 5% à des problèmes de machine (Siewert et al., 2018). Cette proportion est confirmée par d'autres études qui ont estimé que l'attachement des gobelets trayeurs se faisait normalement dans 94 à 98 % des cas (Hovinen & Pyörälä, 2011). Ces échecs peuvent être liés à la conformation de la mamelle, par exemple, la distance trop courte entre les trayons avant (surtout chez les vaches plus âgées) ou entre les trayons arrière (primipares). Les échecs de positionnement des gobelets trayeurs diminuent évidemment le nombre de traites possibles par UT (Gygax et al., 2007). L'échec est enregistré quand un trayon n'est pas reconnu alors que les

Introduction

gobelets trayeurs sont positionnés sur les autres trayons (Tremblay et al., 2016). Ces échecs peuvent atteindre 15 % avec pour corollaire des traites incomplètes (Persson Waller et al., 2003). Dans les informations données par le robot, la vitesse d'attachement de chaque trayon et sa vitesse d'éjection du lait sont indiquées. La vitesse d'attachement moyenne est de 74 secondes avec des extrêmes de 51 à 346 secondes (Luther et al., 2004).

1.5 Avantages et inconvénients de la traite robotisée

Le passage de la traite conventionnelle à la traite robotisée implique une série de changements dans la gestion de l'exploitation.

Une période d'adaptation est indispensable afin de régler les paramètres de traite du robot en fonction de l'exploitation, du fermier et des vaches (Rasmussen et al., 2002). Ce temps d'adaptation, estimé en moyenne à 9 mois, varie d'une exploitation à l'autre et peut impacter la productivité pendant quelques mois (Veysset et al., 2001; Jensen, 2004).

Une série de tâches devient automatisée. L'avantage est la réduction du temps de travail *mais* l'inconvénient est le manque de surveillance directe de l'éleveur (Hovinen & Pyörälä, 2011) qui perd le contact avec son troupeau. La main d'œuvre nécessaire dans l'atelier de traite diminue et inclut principalement la gestion des données générées automatiquement et compilées dans des rapports indiquant les performances de reproduction, d'alimentation et de santé. Des alertes peuvent être programmées afin d'assurer un suivi optimal du troupeau avec l'inconvénient que certains éleveurs – surtout dans les moments qui suivent l'installation - ont l'impression d'être sans cesse sollicités (Jensen, 2004). De plus, la quantité d'informations fait que l'éleveur éprouve parfois des difficultés à les valoriser ou les hiérarchiser (Barkema et al., 2015).

La qualité du lait est souvent incriminée par les détracteurs du robot. Pourtant aucune différence quant au taux de matières grasses, de protéines, de lactose entre les productions obtenues par la traite robotisée et automatisée n'est observée suivant différents auteurs (Pomies et al., 2008; Jacobs & Siegford, 2012).

Les pertes de lait sont plus fréquentes en traite robotisée (Persson Waller et al., 2003; Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008). Elles signent un trayon incomplètement fermé entre les traites et est donc un facteur favorisant les mammites. Les facteurs qui induiraient ce phénomène ne sont pas tous compris, mais il semble que les traites incomplètes ou en échec le favoriseraient. Il est plus fréquent également chez les primipares. Or, l'ordre hiérarchique des vaches influence leur passage au robot et les primipares, généralement les plus dominées, doivent attendre plus longtemps pour accéder au robot. Les pertes de lait pourraient être également liées à la libération d'ocytocine stimulée de façon incessante par la proximité avec le robot de traite ou la promesse de traite. Or, il a été démontré que lors du passage en

salle de traite, les bruits liés à celle-ci ainsi que le fait d'assister à la traite provoquent une libération de cette hormone. Dans le cas de la traite robotisée, ces stimuli se produisent toute la journée (Persson Waller et al., 2003). Les pertes de lait dans cette étude étaient également observées chez les animaux dont le taux d'éjection du lait était important.

L'influence de la traite robotisée sur *la santé mammaire* a fait l'objet de multiples études, parfois aux résultats contradictoires. Il semble d'après Hovinen & Pyörälä (2011) que le taux cellulaire soit plus élevé en traite robotisée. Cette observation a été néanmoins relativisée par Rasmussen et al. (2002). L'augmentation du taux cellulaire pourrait être causée par l'irrégularité des intervalles de traite (Persson Waller et al., 2003; Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008; Hovinen & Pyörälä, 2011). A contrario, le sphincter permettant la fermeture du trayon pourrait être trop sollicité par des traites fréquentes (Hovinen & Pyörälä, 2011).

L'étude de Rasmussen et al. (2002) montre que le taux cellulaire revient à un niveau basal après quelques mois. En effet, les fermiers passant à la traite robotisée ont besoin d'une phase d'adaptation pour apprendre à gérer les alertes du robot notamment vis-à-vis des décisions d'écartement de traite (Rasmussen et al., 2002; Hovinen & Pyörälä, 2011).

D'après Hovinen & Pyörälä (2011), l'impact de l'introduction du robot sur les mammites est limité. L'augmentation de mammites relevée par certaines études peut être liée à d'autres facteurs concomitants à l'installation du robot, tels que l'agrandissement de l'étable, l'augmentation du nombre d'animaux modifiant la routine de travail des éleveurs... Au contraire, une amélioration de la santé mammaire du troupeau pourrait même être escomptée. Le détachement individuel des gobelets trayeurs permet d'éviter les sur-traites (Hovinen & Pyörälä, 2011; Nørstebø et al., 2019). Les contaminations croisées par quartier sont évitées par la technique de positionnement des manchons trayeurs (Hovinen & Pyörälä, 2011). Pourtant, l'effet positif de la traite robotisée sur la santé mammaire est souvent remis en cause, notamment dans les exploitations intensives dont la gestion difficile s'accompagne souvent d'augmentation des fréquences de mammites.

Tout d'abord, le nettoyage du pis est souvent incriminé car automatisé et sans contrôle visuel de l'éleveur. Or, une corrélation entre l'hygiène de la mamelle et des pattes et le comptage cellulaire, défini comme indicateur de mammite, a été démontrée (Penry, 2018). Aucun contrôle visuel par l'éleveur, permettant notamment de détecter la coloration anormale du lait, la présence de caillots ou la douleur lors de la traite n'est prévu (Steenefeld et al., 2010). L'encombrement lié au bras du robot et aux barrières de contention rend d'ailleurs difficile l'accès de l'exploitant (Penry, 2018).

Introduction

La **détection des mammites** est toujours problématique malgré la régularité des évaluations permettant une détection précoce ou la prise d'échantillon quartier par quartier (Steenefeld et al., 2010). Le système de détection des mammites prévu de base dans toutes les marques est la mesure de la conductivité par quartier. Lors de mammite, un changement de la composition du lait se produit suite à l'augmentation de la perméabilité cellulaire entraînant une modification de conductivité électrique. Cette mesure présente une sensibilité de détection de 33 à 95 % et une spécificité de 71 à 100% pour les mammites cliniques (Rasmussen et al., 2002). Ces chiffres diffèrent suivant les auteurs en fonction de la méthode de référence utilisée (comptage cellulaire ou examen bactériologique) et le type de mammites avec une sensibilité moindre pour les mammites sub-cliniques. Enfin, la technique d'échantillonnage contribue à abaisser la sensibilité du test. En effet, celui-ci est réalisé après éjection des premiers jets et l'analyse se fait donc sur un mélange de lait cisternal et alvéolaire, ce qui semble biaiser les résultats (Khatun et al., 2019; Penry, 2018). Pour améliorer les performances de détection, l'analyse de plusieurs paramètres peut être combinée. Ainsi, la conductivité, la couleur et la température du lait, couplées à une diminution de la production laitière permettent une détection plus précise des mammites cliniques (Rasmussen et al., 2002; Sloth et al., 2003) avec une sensibilité de 75 à 90%. Récemment, une firme dans son module Herd Navigator® a ajouté le dosage de la lactate déshydrogénase. La spécificité de cet indicateur est de 73 à 95%, sa sensibilité est de 92%. Néanmoins, l'activité de lactate déshydrogénase est stimulée par la libération de la LPS (lipopolysaccharide) lors de mammites à germes gram négatif et dépend donc de la nature de l'agent pathogène. Des capteurs permettant le comptage des cellules somatiques sont également disponibles. Il s'agit de capteurs on-line c'est-à-dire échantillonnant le lait de façon interrompue à la différence des capteurs in-line où les mesures se font en flux ininterrompu (Penry, 2018).

La reconnaissance des mammites est toujours en cours d'amélioration. Par exemple, certaines firmes proposent l'addition d'un comptage cellulaire qui peut être programmé une traite sur trois. Une autre firme propose la reconnaissance des mammites via un module raccordé à chaque tuyau sans prise d'échantillon ni utilisation de réactif. Le comptage cellulaire se fait en continu par mesure de la permittivité.

Le traitement des mammites peut se faire dans l'aire d'isolement où est dirigé l'animal malade ou dans le box de traite.

Le lait d'exploitations robotisées est parfois refusé dans certains circuits de transformation (fromageries AOC, par exemple, en France) car la traite robotisée apparaît comme industrielle, en contradiction avec la promotion d'un produit artisanal. De plus, les fromageries invoquent parfois le goût rance du lait ou des fermentations butyriques plus fréquentes, provoquant la déformation des fromages.

La lipolyse avec élévation du taux des acides gras libres ou free fatty acids (FFA) est plus importante en cas de traite robotisée. La cause n'en est pas entièrement déterminée mais il semble acquis que l'augmentation de la FT ou des intervalles de traite très courts soient des facteurs favorisant (Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008; Jacobs & Siegford, 2012). La variation de production d'une traite à l'autre peut également favoriser la lipolyse (Jacobs & Siegford, 2012). Celle-ci a un effet négatif sur la qualité de la production car elle altère le goût du lait en lui donnant un goût légèrement acide, rendant difficile sa transformation notamment en fromages (Svennersten-Sjaunja & Pettersson, 2008).

L'augmentation du point de congélation est souvent constatée et est liée à la dilution du lait avec de l'eau du système de nettoyage. La marque de robot est le facteur explicatif de la variation du point de congélation dans 62% des cas (de Koning, et al., 2004).

L'augmentation des teneurs en germes est souvent à l'origine de points de pénalité et serait liée à l'hygiène générale de l'exploitation. Les contaminations par des germes interviendraient dans la partie dédiée à la traite dans le robot et dans la salle d'attente. Ces contaminations seraient plus fréquentes au début de l'installation du robot (premiers 45 jours). Pour ce paramètre également, des différences entre les marques de robot ont été constatées (de Koning et al., 2004). L'augmentation des *spores butyriques* est relevée par plusieurs auteurs et semblerait due au mauvais nettoyage du pis au moment de la traite (Pomies, 2000; Rasmussen et al., 2002)

Le suivi individualisé de l'alimentation est souvent perçu comme un avantage du robot, même si d'autres systèmes le permettent également. La complémentation en concentrés est ajustée au mieux aux besoins de chaque vache suivant un plan d'alimentation actualisé en fonction des productions enregistrées lors de chaque traite (Bach & Cabrera, 2017). Jusqu'à 4 types de concentrés peuvent être distribués pour faire face aux besoins spécifiques de certaines catégories d'animaux (primipares ou début de lactation). Aux concentrés distribués à la traite, peuvent s'ajouter d'autres délivrés par le distributeur automatique de concentrés (DAC). Les quantités d'aliments distribuées et résiduelles sont indiquées et permettent de repérer les animaux éventuellement malades.

Le coût de l'installation est un grand désavantage de la traite robotisée. Le coût d'achat du robot est conséquent. On considère généralement que l'investissement nécessaire est de l'ordre de 100.000 à 185.000 € (Schubnel, 2015; Jacobs & Siegford, 2012). Il faut compter également les frais d'installation liés au robot : aménagement de l'étable, appoint en électricité, en eau... A cela s'ajoutent des frais d'entretien et d'usure. Par exemple, les manchons trayeurs en caoutchouc sont à remplacer toutes les 2.500 traites. Seules certaines firmes proposent pour le moment des manchons en silicone, dont le prix à l'achat est plus important mais qui ont une meilleure longévité (10.000 traites) et sont plus hygiéniques. Les entretiens doivent se faire sur base régulière et ont un coût significatif. A titre d'exemple, ils ont été

Introduction

estimés à 7.394 € et à 6.913 € par an selon différentes marques (Brocard et al., 2015). Diminuer les coûts d'entretien devient donc un argument commercial pour certaines firmes.

De plus l'utilisation du robot augmente les *frais journaliers de fonctionnement*. La consommation en eau est comparable par rapport à la traite conventionnelle : de 0,67 à 0,69 m³par jour suivant les modèles. La consommation de certains robots est très largement au-dessus de ces chiffres (1,0 m³ par jour) mais elle inclut l'eau nécessaire pour le nettoyage du sol (Rasmussen & Rasmussen, 2002). Pour ce qui est de la consommation en électricité, les études sont unanimes : elle augmente en traite robotisée. En effet, l'alimentation de la pompe à vide et du compresseur d'air requièrent une consommation supplémentaire. Suivant les marques et le nombre d'UT, l'installation est plus ou moins énergivore : par exemple, pour une salle de traite de 2 X 10 places, la consommation relevée de 20-25 kWh/jour est multipliée par 3 voire 6 avec une consommation de 65 kWh à 149 kWh/jour suivant les marques et peut atteindre 128 et 105 kWh/jour pour des robots de 2 à 3 UT. Ce chiffre est modéré par Bos (2004) qui considère qu'un robot de type Lely[®] trayant 65 vaches avec une production de 800.000 kg consomme « seulement » 45% d'électricité de plus qu'une installation conventionnelle.

Si l'intensification des exploitations laitières a été un argument de développement des robots, il faut prévoir la possibilité d'augmenter le nombre d'UT dans les grands troupeaux. En effet, la capacité habituelle d'un robot de traite est de 60 vaches par UT. Pour les troupeaux dépassant cette capacité, l'installation de plusieurs unités est nécessaire, ce qui génère un coût total d'installation conséquent.

Dans le calcul financier à établir en vue d'une installation robotisée, il faut également tenir compte de la dépréciation plus rapide d'un robot par rapport à la salle de traite conventionnelle.

A tous ces coûts, s'ajoute le choix ou non de construire une nouvelle étable. Ce choix doit être considéré en tenant compte de la nécessité d'assurer la circulation fluide des animaux. Un agencement clair des trois zones définies (aire d'alimentation, aire de repos, aire de traite) est impératif.

1.6 Développements et perspectives

La gestion des données devient un réel défi. En effet, de plus en plus de capteurs sont présents dans la ferme et génèrent une importante quantité de données (Jacobs & Siegford, 2012). Un des objectifs des firmes est de présenter toujours plus de paramètres à l'éleveur pour améliorer la gestion du troupeau. Ainsi des capteurs de rumination, de mouvements permettant par exemple, la détection de l'œstrus ou du vêlage, peuvent déjà être ajoutés sur le collier d'identification de l'animal. Les animaux sont contrôlés au moment de la traite tant au niveau du poids (pesée automatique) que des données zootechniques- production laitière, concentrés ingérés, restes, ...) mais le passage dans l'UT est indispensable pour que les données des capteurs soient relevées et intégrées dans les différents rapports

généérés. Si l'animal ne se présente pas au robot ou tardivement, la détection de l'œstrus, par exemple, se fera également avec un délai. Le développement de capteurs supplémentaires dans les UT ou sur le collier porté par l'animal, est toujours en cours de développement, permettant, par exemple la détermination du BCS (body corporal score), la détection des boiteries (Bergsten, 2003; King et al., 2016), ou du vêlage (Mahmoud et al., 2017; Zehner et al., 2019). Combiner les données des différents capteurs, par exemple développés par d'autres firmes, et celles du robot de traite représente un des défis à relever pour le succès du « smart farming » (O'Grady & O'Hare, 2017). D'autres outils sont à l'étude pour faciliter et automatiser davantage la gestion du troupeau. Une application à télécharger sur le smartphone est déjà disponible. Son développement permettrait dans un futur proche de consulter des alertes via le smartphone et de prodiguer des conseils de conduite du troupeau. Par exemple des alertes permettant la détection rapide de pathologies telles que l'acidose, les boiteries et les mammites sont toujours en cours de développement et d'amélioration.

Il faut noter que de nombreuses possibilités d'aides à la gestion sont des options dont le coût doit être ajouté au coût d'installation du robot. Une firme propose la mesure systématiquement de 4 substances dans le lait : la progestérone qui permet d'améliorer le suivi de la reproduction, la lactate déshydrogénase, pour une détection rapide de l'inflammation et un suivi de la guérison, le bêta-hydroxybutyrate pour un suivi de l'état métabolique et l'urée marqueur de l'équilibre azoté. Cette option a un prix conséquent - 50.000 € (Vergonjeanne, 2014).

Augmenter la capacité du robot, est-ce possible? De nombreuses recherches portent sur la diminution du temps libre du robot. En effet, maximiser le taux d'occupation a une influence importante sur la rentabilité du système (Castro et al., 2012). Une des solutions investiguées est de diminuer le temps de présence dans l'UT. Cet objectif peut être atteint en augmentant la rapidité de positionnement des griffes.

L'efficacité du système de reconnaissance des trayons contribue également à diminuer les échecs de traite. La reconnaissance par faisceaux laser laisse peu à peu la place aux caméras, combinées aux lasers. Une des limites du système est le besoin de lumière et de contraste entre les trayons et l'arrière-plan ainsi qu'une vision sans obstacle des trayons. Les systèmes de caméra 3D sont encore en pleine évolution (Akhroufi, 2014; Rastogi et al, 2018). Dans ces nouveaux développements, la position du pis et des trayons est enregistrée et confrontée à des images enregistrées et ensuite générées suivant des algorithmes (« machine learning »). Ces systèmes permettront à terme d'augmenter encore la vitesse de reconnaissance des trayons et le taux de succès.

Une autre piste est de modifier le seuil d'enlèvement des manchons trayeurs. L'enlèvement du gobelet trayeur se fait individuellement quartier par quartier. Il se fait lorsque la vitesse d'éjection du

Introduction

lait se ralentit en-dessous d'un certain seuil, considéré comme optimum tant pour limiter le lait résiduel au niveau du quartier que pour éviter la sur-traité. Ce seuil a été longtemps fixé à 0,2 kg lait/minute. Or, ce seuil est actuellement remis en cause et pourrait être augmenté à 0,8 kg lait/minute, sans risque de mammite supplémentaire. Cette adaptation diminuerait le temps de traite d'une minute, ce qui à l'échelle du troupeau permettrait un taux d'occupation supérieur (Krawczel et al., 2017).

La circulation vers le robot peut encore être améliorée. Il est important de minimiser le travail de l'agriculteur en diminuant le nombre d'animaux à ramener au robot. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le choix d'un système automatisé vise à réduire la main d'œuvre. Lors de la mise en place d'une nouvelle installation, la fluidité de la circulation des animaux doit être réfléchi (Jacobs & Siegford, 2012). Dans cette optique, certains auteurs modélisent la disposition de l'étable (Halachmi et al., 2001; Islam, et al., 2015). Des animations basées sur l'enregistrement de vidéos et sur les observations visuelles permettent d'évaluer la circulation des animaux et d'identifier également les endroits stratégiques pour la formation de files d'attente, c'est-à-dire les abreuvoirs, les DACs, le robot, et éventuellement l'aire d'alimentation. Ces observations sont ensuite implémentées pour permettre la modélisation et l'optimisation du système. D'autres systèmes ont été mis au point : le virtual fencing (barrière virtuelle) ramenant les animaux en défaut de traite vers le robot (Halachmi et al., 2001).

L'adaptation aux grands troupeaux est toujours un challenge. En effet, la capacité d'une UT de traite est de 55-60 vaches avec des nombres d'animaux plus élevés rapportés dans certaines exploitations (Rodenburg, 2017). Pour les troupeaux de 100 à 120 vaches, il faut investir dans l'achat de 2 UT. A ce stade, l'économie en frais de main d'œuvre réalisée par la mise en service d'un robot dépasse les coûts liés à l'investissement et est supérieure à celle obtenue dans le même contexte avec une salle de traite conventionnelle. Pour des troupeaux de plus de 150 vaches, cette économie est toujours observée mais elle se réduit par rapport à celle réalisée dans une salle de traite traditionnelle (Rotz et al., 2003). Pour résoudre ce problème, certaines firmes se sont attelées à développer des robots modulables, c'est-à-dire présentant un matériel commun pour 2 UT de traite mises côte à côte (Jiang et al., 2017) avec un bras robotisé permettant simultanément de traire 2 vaches présentes dans des UT voisines. Ces firmes proposent aussi la mise en commun d'équipements tels que le compresseur pour diminuer le coût d'installations couplées.

Une autre solution développée est le carrousel de traite robotisé avec, par exemple, des carrousel automatisés offrant 40 postes de traite pour 200 vaches. Actuellement la firme chiffre à 3000 le nombre de carrousel dans le monde. Ce système présente une plateforme, sur laquelle la vache prend place et qui se déplace jusqu'au poste suivant, avec nettoyage du pis, accrochage, traite et finalement post trempage des trayons après décrochage. Cinq robots sont nécessaires: 2 pour nettoyer le pis, 2 pour l'accrochage des gobelets et un pour la désinfection finale. Quatre vaches peuvent donc être traitées en

même temps – 1 par robot (Jiang et al., 2017) pour un total de 50 vaches à l’heure (Kolbach et al., 2013). Le prix d’une telle installation avoisine le million d’euros.



Figure 7 Système de robot rotatif (Photo DeLaval®).

La programmation des alertes et de leur seuil est également un point d’amélioration. Certaines alertes doivent intégrer les informations des différents capteurs : par exemple, la détection d’œstrus prend en compte l’augmentation de l’activité (mesuré par un accéléromètre ou un pedomètre), la diminution de production laitière et la diminution des minutes de rumination. Les données de plusieurs jours sont analysées et comparées. Des algorithmes - différents suivant les concepteurs – déterminent dès lors si une différence est objectivée, par exemple, une augmentation de l’activité au-dessus de 70% de la moyenne d’activité enregistrée (Chanvallon et al., 2014; Talukder et al., 2015). Le seuil d’alerte peut alors être individualisé suivant les fermes. En reprenant l’exemple de la détection des chaleurs, la comparaison des données d’activités sur 7 ou 10 jours permet d’augmenter la spécificité et la sensibilité de détection (sp. 90,4% à 98,2% - se :86,7% à 96,1%) (Talukder et al., 2015).

Cet exemple illustre la difficulté liée à la gestion des alertes à moduler suivant la spécificité et la sensibilité des techniques de détection. Trop d’alertes génèrent une anxiété chez l’agriculteur, trop peu risquent d’échouer quant à l’appui décisionnel, objectif de ce suivi.

L’impact environnemental du robot de traite peut être atténué. Comme relevé précédemment, le robot de traite, à l’usage, consomme d’avantage d’énergie qu’une salle de traite classique. Diminuer la consommation énergétique de l’installation devient également un objectif. Pour résoudre ce problème, certains font le choix de produire leur propre énergie par mise en place d’unités de bio-méthanisation, de panneaux solaires ou d’éoliennes.

Introduction

2 Combiner traite automatisée et pâturage

2.1 Intérêts

Le pâturage est un mode de gestion habituel en Wallonie. En effet, d'après une enquête menée dans le cadre du projet Life Dairyclim, 96,5% des vaches en lactation pâturent dans cette région (Lessire et al., 2019). Le pâturage présente effectivement de nombreux avantages. Il permet de diminuer les coûts alimentaires de production (Dillon et al., 2005; Lessire et al., 2017), a non seulement un effet favorable sur le bien-être animal (Burow et al., 2011), mais aussi sur l'environnement et le paysage. Enfin il jouit d'une image positive pour le consommateur (de Olde et al., 2016).

L'association robot de traite et pâturage, longtemps considérée comme impossible a été démontrée par de nombreux auteurs néo-zélandais et australiens (Davis et al., 2005; Davis et al., 2006; Lyons et al., 2013_a), intégrant même des carrousels de traite robotisés (Lyons et al., 2014_a; Scott et al., 2015). Au niveau Européen, le projet AUTOGRASSMILK a regroupé des chercheurs de sept pays afin d'investiguer les différents systèmes permettant de concilier AMS et pâturage dans différents contextes. Des « modes d'emploi » ont été publiés énumérant les problèmes auxquels les éleveurs souhaitant entreprendre ce challenge risquent d'être confrontés ainsi que les solutions proposées (O'Brien et al., 2015; Cloet et al., 2017).

2.2 Stratégies à envisager par les éleveurs

Comme vu précédemment, la combinaison du robot avec le pâturage s'accompagne fréquemment d'une diminution de fréquences de traite, avec pour corollaire la diminution de production laitière (Lyons et al., 2013_a; Lyons et al., 2014_b). Deux points clés, la surface disponible pour le pâturage et les objectifs de production orientent le choix de l'éleveur vers une stratégie ou l'autre. Dans un premier cas, le robot reste dans l'étable, et l'accès aux pâtures relativement proches de l'étable est permis pendant plusieurs heures de la journée. Les vaches autorisées à aller en prairie sont sélectionnées en fonction de l'heure de leur dernière traite. Leur rentrée à l'étable – à partir d'une heure fixée ou non – est autorisée au cours de la journée pour qu'elles puissent accéder au robot. Le soir, elles restent généralement à l'étable où elles reçoivent une ration partielle mélangée (RPM). Ce système privilégie un accès régulier au robot au détriment de la valorisation de la prairie. La distribution d'une RPM permet de conserver une production quasiment équivalente à celle obtenue en hiver.

Introduction



Figure 8 Porte de tri à la sortie de l'étable, permettant de sélectionner les animaux qui peuvent avoir accès au pâturage. À côté, une porte anti-retour permet d'empêcher la sortie des animaux sans passage préalable par la porte de tri (Photo: Henri-Luc Landais).

Une deuxième possibilité est la mise en prairie du robot. La circulation des vaches est centrée sur l'AMS où sont organisées la traite et la distribution de concentrés. Éventuellement, une ration à base de fourrages est distribuée (Lyons et al., 2013_b). Dans ce cadre, la valorisation de l'herbe est privilégiée (O'Brien et al., 2015). Ces systèmes sont plus extensifs avec une diminution des coûts de production mais aussi de la production laitière.

2.3 Indicateurs de performances

La FT est considérée comme le paramètre-clé du succès d'un système robotisé combiné à la mise en prairie des animaux. Ainsi, la plupart des études faites sur le sujet se sont focalisées sur l'optimisation du trafic des vaches. On peut citer, entre autres, les études de Van Dooren et al. (2004) Jago et al. (2007); Lyons et al. (2013_a); Scott et al. (2015).

La circulation des animaux est liée à divers facteurs dont certains ne sont pas paramétrables par l'éleveur comme par exemple les conditions climatiques ou le comportement grégaire des animaux (Ketelaar-de Lauwere et al., 2000_a; Jago et al., 2007). Les facteurs à suivre de près et paramétrables sont répartis en 3 catégories, ceux liés à la gestion du robot, du troupeau et enfin, de la prairie et ce quel que soit le choix fait par l'éleveur au départ.

2.3.1 Gestion du robot

Différents paramètres peuvent être aménagés au niveau du robot pour favoriser la circulation des animaux.

L'effet de la saturation du robot se marque davantage au pâturage qu'à l'étable. En effet, au pâturage, les animaux retrouvent un comportement plus grégaire, rendant l'utilisation temporelle du robot moins homogène. Dans un système saturé, de longues files peuvent se développer devant l'UT, impactant négativement la productivité du système et le confort des animaux. Différentes stratégies permettent l'utilisation du robot à saturation : la première option peut être de grouper les vèlages en hiver pour diminuer le temps d'occupation du robot. Cette option est retenue dans les pays comme la Nouvelle Zélande ou l'Irlande dans lesquels le pâturage est possible presque toute l'année. Dans ces systèmes, les vèlages se produisent pendant l'hiver, ensuite l'ensemble des animaux quittent l'étable pour une autre saison de pâturage de 10 mois (Jago et al., 2007).

Par contre, certains éleveurs choisissent de pâturer avec des UT à saturation en installant des barrières de tri à la sortie de l'étable permettant de contrôler le nombre d'animaux en prairie ou en ramenant les vaches de façon forcée au robot (Wildridge et al., 2018). Pour encourager la circulation, le conditionnement des animaux à revenir au robot lors de l'émission de certains sons a été testé par Wredle et al. (2006) et Simon et al. (2013).

La diminution du temps passé dans l'UT peut permettre d'augmenter le temps libre du robot, et par conséquent le nombre de vaches par UT. Pour optimiser ce paramètre, l'éleveur peut choisir des permissions de traite plus courtes pour générer moins de refus. Mais pour rappel, des traites trop fréquentes peuvent léser le sphincter.

Les concentrés sont distribués lors du passage des animaux au robot suivant une table de complémentation établie par l'agriculteur. De nombreuses études se sont penchées sur l'efficacité de cette technique (Jago et al., 2007; Shortall et al., 2018_a) avec une quantité de concentrés distribuée de moins d'un kilo (Jago et al., 2007; Foley et al., 2015) jusqu'à 6 kg (Lyons et al., 2013_b; Watt et al., 2015). Des effets contrastés ont été observés et dans certains cas, une absence d'effet significatif (Foley et al., 2015; Jago et al., 2007; Shortall et al., 2018_a). La permission de traite peut être également modifiée et fixée à 6, 8 ou 12 h.

L'effet de la distance a été étudié, avec une diminution de la FT si le robot est trop éloigné des prairies. Cette distance a été estimée à un maximum de 500 m dans des systèmes où un complément est distribué à l'étable (Spörndly & Wredle, 2004; Van Dooren et al., 2004; Dufasne et al., 2012) ou dans certains systèmes où les animaux dépendent uniquement de l'herbe pâturée (Dufasne et al., 2012). Certaines études australiennes et néo-zélandaises ont constaté que les animaux pouvaient parcourir jusqu'à 1,5 km pour revenir au robot (Islam et al., 2015; Lyons et al., 2014_b).

Introduction

Outre la distance à parcourir, l'état des chemins est important. Pour assurer la fréquence de retours au robot, les chemins doivent être aménagés pour permettre un déplacement fluide des animaux (Brocard et al., 2014).

L'accès à l'eau est souvent utilisé par les agriculteurs comme moyen pour inciter les vaches à revenir au robot de traite. Cette option pose des questions quant au bien-être animal et par rapport aux performances zootechniques : il est en effet vérifié que la production laitière chute en cas de disponibilité réduite en eau. Spörndly & Wredle (2005) ont testé l'effet de la limitation de l'accès à l'eau sur la FT dans un système combiné robot de traite et pâturage. Dans cette optique, ils ont constitué 2 groupes d'animaux, un qui disposait d'un accès à l'eau en pâture et à l'étable, l'autre disposant d'eau seulement à l'étable. L'étude a conclu que la FT n'était pas augmentée par un accès à l'eau illimité - en tout cas dans les limites de leur étude, c'est-à-dire avec une distance entre les pâtures et l'étable de maximum 350 m.

2.3.2 Gestion du troupeau

La gestion du troupeau comprend des facteurs paramétrables et d'autres qui le sont moins sur lesquels l'éleveur peut choisir d'intervenir.

Parmi ces facteurs, on peut citer la race. Certaines races sont plus rustiques et pourraient valoriser mieux les ressources de la prairie. Quelques chercheurs se sont penchés sur l'influence de ces facteurs génétiques. Clark et al. (2014_b) ont comparé les performances et les paramètres de circulation au robot de 2 races, la Holstein et la race australienne locale, Illawara. Leurs observations montrent une production et une fréquence de traite égales des 2 groupes d'animaux malgré un passage plus important des portes de tri par les vaches Illawara. Les auteurs ont proposé, dès lors, de diminuer la permission de traite des Illawara afin de valoriser ces passages n'aboutissant pas à une traite dans les conditions de l'étude. Nieman et al. (2015) ont également comparé 2 races de vaches: La Holstein US (USH; poids : 521 ± 11 kg) et la Frisonne Néozélandaise (NZF) beaucoup plus légère (376 ± 5 kg). L'étude a été menée à différents taux de chargement (3 vaches/ha vs 2 vaches/ha) et les animaux exposés à des rations limitées en herbe pâturée avec complémentation par une PMR et des concentrés. La production laitière des NZF était plus basse de près de 40% ainsi que la fréquence de traite plus basse de 15%. Dans des conditions de limitation d'herbe disponible, les NZF étaient plus résilientes alors que les USH montraient une meilleure efficacité alimentaire avec une alimentation composée d'herbe pâturée, complétementée par une PMR à base de fourrage et de concentrés. Comme dans l'article précédent, les auteurs mentionnent que la race Holstein garderait des productions laitières hautes en puisant dans ses réserves corporelles en période de faible disponibilité de ressources alimentaire. Shortall et al. (2018_b) ont étudié l'effet génétique en comparant 3 races, l'Holstein Frisonne (HF), des croisées Jersey X HF et

enfin des croisées Rouge Norvégiennes X HF. Aucune différence n'a été observée entre les races que ce soit au niveau de la production laitière et de la FT. Par contre, les Jersey présentaient un % plus élevé d'échecs de traite (Jersey X HF: 6,1% vs HF: 2,8% et Rouge Norvégienne X HF : 0,9%, $p < 0.001$) et un temps d'attente plus long que les autres races (Jersey X HF: 1,9 h/jour vs HF: 1,7 h et Rouge Norvégienne X HF: 1,3 h, $p < 0.05$). L'auteur impute ces différences à une dominance plus marquée des croisées Rouge Norvégiennes.

La santé des animaux influence les retours au robot et donc la rentabilité du système. Les vaches effectuant de longs trajets vers le robot, les boiteries sont à détecter rapidement. Les intervalles de traite étant plus longs et variables, l'éleveur doit également être attentif à la santé mammaire.

Le stade de lactation joue un rôle important sur la fréquence de traite. En début de lactation, les besoins nutritionnels de la vache augmentent brutalement, ce qui se traduit par une augmentation des retours et des traites au robot (Jago et al., 2006) de sorte que l'éleveur peut faire le choix de synchroniser les vèlages en cherchant à faire coïncider les pics de croissance de l'herbe et de lactation (Shortall et al., 2018_b).

2.3.3 Gestion de la prairie

La disponibilité en herbe a une grande importance sur le comportement des animaux, quelle que soit l'unité dans laquelle elle est mesurée: en hauteur d'herbe (Ketelaar-de Lauwere et al., 2000_b) ou en quantité d'herbe disponible (en kg de MS) (Van Dooren et al., 2004; Lyons et al., 2013_a). La qualité nutritionnelle a également son importance, les vaches étant moins enclines à pâturer en fin de saison de pâturage (Spörndly & Wredle, 2004).

Dans le cas où le robot reste à l'étable, plus la quantité d'herbe disponible est importante, moins les vaches auront tendance à revenir vers le robot (Van Dooren et al., 2004; Kismul et al., 2018). Limiter les heures d'accès à la prairie permet de tempérer la diminution de fréquences de traite (Utsumi, 2011). Augmenter le taux de chargement permet aussi de limiter la quantité d'herbe et de favoriser les retours à l'étable (Nieman et al., 2015).

Dans le cadre d'un robot mis en prairie, le trafic est organisé sur base de cette attraction des vaches vers les prairies où l'herbe est nouvelle et de bonne qualité. Le robot étant au centre du système, de nombreuses études se sont focalisées sur l'organisation des parcelles autour de l'UT. Le système appelé AB peut être mis en place avec la partition des prairies en deux blocs de rotation intitulés bloc de nuit et bloc de jour situés de part et d'autre du robot (Figure 10).

Introduction



Figure 9 Système de parcellaire AB. Les parcelles sont divisées en 2 blocs situés de part et d'autre du robot sur le site de Trévarez – France (Illustration issue de Cloet et al., 2017).

Le passage d'un bloc à l'autre se fait via une barrière de tri à la sortie du robot. Cette porte oriente les animaux vers la parcelle de jour ou de nuit en fonction de paramètres horaires déterminés par l'exploitant.

Dans le système ABC, les parcelles sont assignées à trois blocs. Un accès de 8 h est autorisé par parcelle. Deux barrières de tri orientent la circulation des animaux.

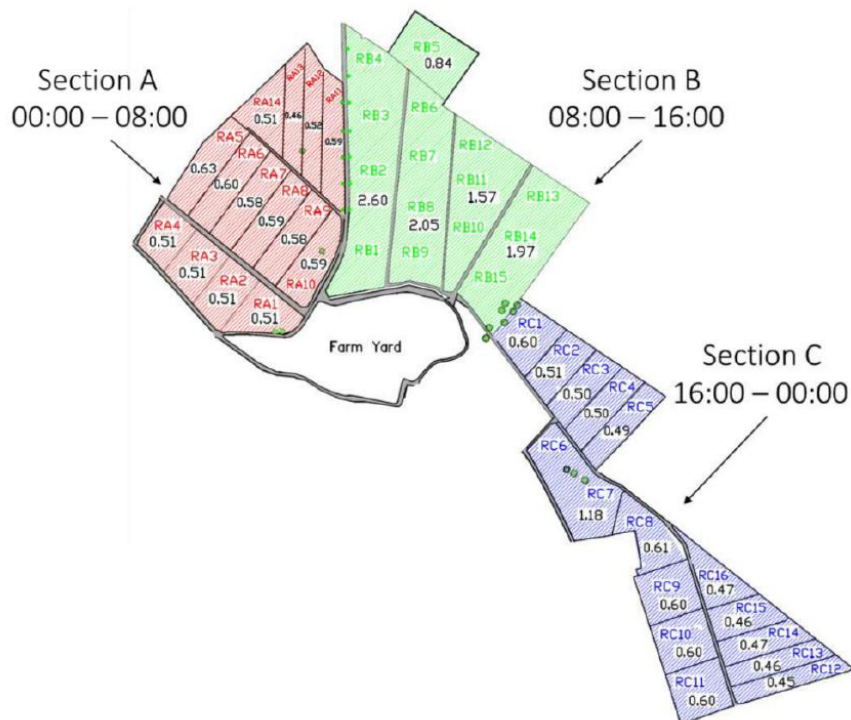


Figure 10 Système de parcellaire ABC : les parcelles sont divisées en trois blocs. Exemple de Moorepark - Irlande (Illustration issue de Foley et al., 2015).

L'accès à une herbe fraîche peut être amélioré par des techniques telles que le strip grazing ou pâturage au fil. Dans ce système, la parcelle est divisée en plusieurs blocs auxquels les vaches accèdent grâce au déplacement d'un fil électrifié. L'agriculteur peut également prévoir un fil arrière pour éviter que les animaux ne pâturent les repousses d'herbe.

La distribution de concentrés se fait lors du passage au robot. De nombreuses études se sont penchées sur l'efficacité de cette technique (Jago et al., 2007; Shortall et al., 2018_a). Peu d'effets ont été constatés sur la FT.

En cas de pénurie d'herbe, une supplémentation peut être distribuée en prairies (Lyons et al., 2013_c). La distribution d'un supplément améliore les retours au robot mais si elle se fait avant le passage au robot, elle génère des files et finalement cause une diminution de la FT (Islam et al., 2015).

2.3.4 Le cas particulier du robot mobile

La situation particulière des parcelles de la ferme Expérimentale du Sart Tilman obligeant les animaux à traverser une route à fort trafic a conduit au développement d'un système alternatif de traite robotisée. Un robot mobile a été mis en place sur le parcellaire permettant la mise en place d'un système 100% pâturage à l'exception du concentré distribué dans le robot.

Ce système a permis d'atteindre d'année en année une FT de 2,1 traites sans intervention, c'est à dire sans devoir ramener les vaches au robot (données 2014-2015) avec la mise en place progressive du système décrit ci-dessous.

La gestion de la prairie au Sart Tilman incluait le découpage des prairies en parcelles de 1,35 ha (à l'exception des parcelles « Source » haut et bas de 2 et 3,5 ha respectivement – Figure 12). Le robot était placé au centre des prairies VA, ce qui permettait le découpage facile en 2 blocs « prairies de jour » et « prairies de nuit ». Les vaches devaient donc revenir au robot pour changer de blocs. A certaines heures, l'accès vers le bloc de jour (6h) et de nuit (16h) était autorisé via un système de barrières. Entre ces tranches horaires, les barrières renvoyaient les animaux vers le bloc d'où ils venaient. Par exemple, une vache se présentant à la traite à 13 h était orientée vers le parcellaire de jour, l'accès au parcellaire de nuit lui étant bloqué. Le parcellaire avait une surface de 19,6 ha au début qui a été par la suite complété pour arriver à une surface totale de 24 ha (Lessire et al., 2013_a).

Chaque parcelle était gérée par un système de strip-grazing de telle sorte qu'un nouveau morceau de prairie non pâturée était mis à disposition des animaux tous les jours. Le suivi de la pousse de l'herbe était effectué chaque semaine et à l'entrée et à la sortie des parcelles pour estimer la pousse de l'herbe et la quantité d'herbe ingérée par les animaux.

Introduction

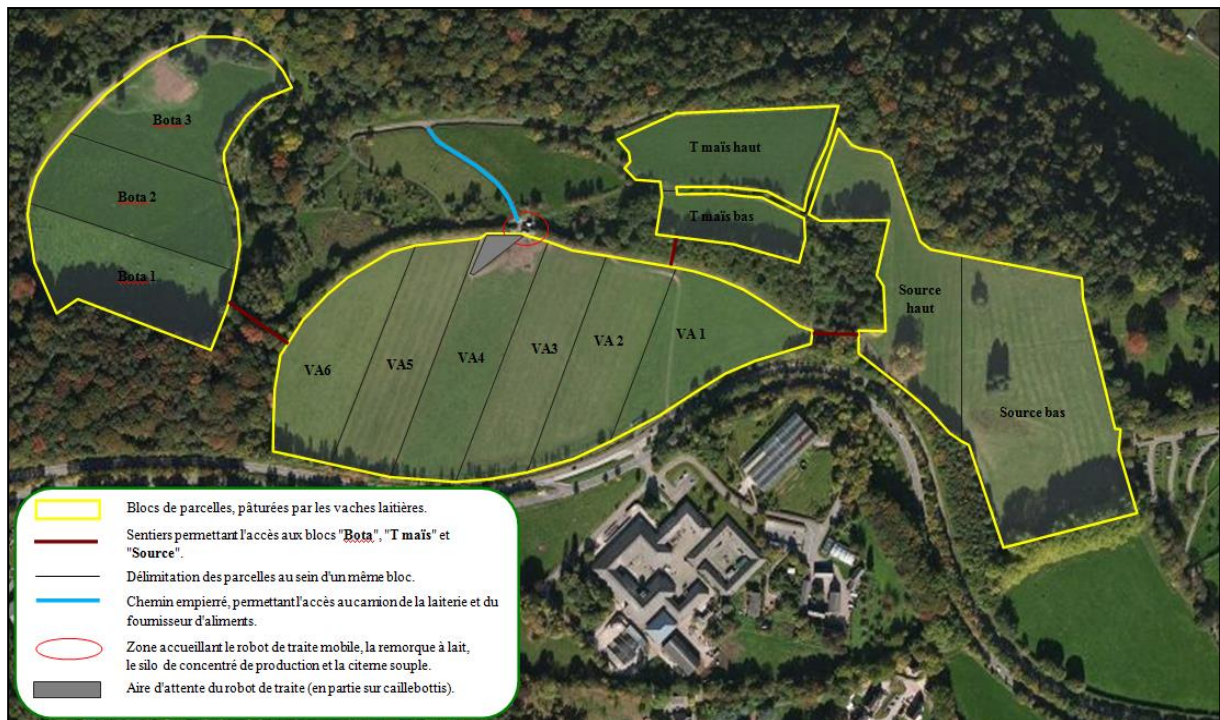


Figure 11 Disposition du parcellaire à la Ferme Expérimentale du Sart Timan.

Distance maximum au robot – Accès à l'eau. Du bloc le plus éloigné jusqu'à l'UT, une distance maximale de 700 m était parcourue par les vaches. Une citerne de 1000 litres d'eau était disponible dans l'aire d'attente et pouvait contribuer à ramener les animaux pour la traite. Néanmoins, des abreuvoirs étaient également disponibles sur la plupart des parcelles (Lessire et al., 2013_b).

Gestion du troupeau Un troupeau de 51 vaches (min : 48 – max : 56 – données 2014-2015) pâturaient sur le site. Le mode de gestion a été calqué sur celui de la Nouvelle Zélande avec des vèlages groupés en hiver. Au moment de la sortie en prairie, les jours de lactation moyens étaient de 190 jours, la courbe de production laitière suivant donc la croissance et la disponibilité en herbe. La production moyenne sur la saison (Mai – Septembre) s'élevait à 18,6 kg en moyenne, pour une distribution moyenne quotidienne de 2,9 kg de concentrés par vache. La quantité d'herbe valorisée sur une année a été estimée à 3,5 T.

Objectifs

Objectifs

Objectifs

Comme décrit précédemment, la combinaison du robot et du pâturage est possible mais s'accompagne d'une diminution de la FT par rapport à celle relevée aux UT installées en étable. Les facteurs susceptibles d'influencer ce paramètre ont été classifiés en paramétrables et non paramétrables. Les facteurs paramétrables sont ceux que l'éleveur peut maîtriser, comme la distribution de concentrés au robot, la distribution d'une ration en complément de l'herbe pâturée, la gestion de la prairie... Par contraste, d'autres non paramétrables ont également un impact clair sur la réussite du système. Cette catégorie comprend les conditions climatiques ou le comportement des animaux. Deux systèmes de gestion ont été également décrits dans l'introduction à cette partie pratique, l'un privilégiant l'introduction d'herbe pâturée dans la ration, l'autre visant à garder au pâturage une FT similaire ou presque à celle observée à l'étable.

Le premier objectif de cette thèse a été donc été d'étudier l'influence de certains facteurs tant paramétrables que non paramétrables sur la circulation des animaux au sein d'exploitations laitières wallonnes développant des systèmes de gestion dépendant soit entièrement soit partiellement de l'herbe pâturée. Les facteurs paramétrables étudiés ont été la distribution de concentrés et la taille du troupeau en lien avec la gestion de la prairie et la distribution d'une ration complémentaire à l'étable (PMR = partial mixed ration). Dans les conditions de réchauffement climatique dont les conséquences sont de plus en plus marquées, l'effet des conditions climatiques sur des animaux dépendant entièrement du pâturage a été étudié. Pour quantifier l'effet des différentes contraintes étudiées, les résultats zootechniques tels que la production et la composition du lait ont été choisis. Les résultats économiques ont été également calculés.

Par ailleurs, le résultat des études conduites dans cette thèse et la recherche bibliographique menée en parallèle ne démontrent pas une relation claire entre la FT et la production laitière. *Le deuxième objectif* de cette étude a donc été de vérifier l'impact du système d'exploitation, décrit sur base d'une analyse en composante principale, sur la relation entre la FT et les quantités de lait produites.

A l'étable, l'augmentation de la FT se traduit par une augmentation de la production laitière, c'est d'ailleurs la réflexion qui a conduit à la mise au point des robots de traite. Or, les différentes études menées au pâturage montrent que la circulation des animaux entre le robot et les zones de pâturage diminue en prairie. *Le troisième objectif* de ce travail a été de vérifier si la fréquence de traite est un indicateur pertinent des performances d'un robot combiné à un système d'exploitation pâturant.

Objectifs

Section expérimentale

Section Expérimentale

Section expérimentale

Etude 1 :

Pâture avec un robot de traite : une diversité de stratégies...

Fourrages (2017) 229, 17-24

V. Brocard, F. Lessire, E. Cloet, T. Huneau, I. Dufrasne, C. Déprés
Écrit en collaboration

Préambule Etude 1

Cet article a été rédigé à la suite du projet AUTOGRASSMILK. Ce projet Européen rassemblant 7 pays s'est déroulé de 2013 à 2015. Il avait pour but d'investiguer les possibilités de combiner la traite automatisée et le pâturage dans différents contextes: en stations expérimentales ou en fermes commerciales, en agriculture biologique ou conventionnelle, en systèmes 100% pâturant ou au contraire envisageant l'herbe pâturée comme un complément à la ration distribuée à l'auge.

Le but de cette publication est de présenter une compilation des différentes situations rencontrées durant la durée du projet. Quatre facteurs ont été ensuite identifiés comme facteurs clé de succès de l'introduction du pâturage en systèmes automatisés. Ces facteurs sont le niveau de complémentation en fourrages à l'étable, la gestion de l'herbe pâturée en systèmes 100% - pâturant et enfin les effets de la gestion de la distribution de concentrés et de la permission de traite.

Résumé

Au cours du projet AUTOGRASSMILK, différentes stratégies ont été testées pour maximiser la production de lait (et réduire les coûts alimentaires) en combinant robot et pâturage dans une large gamme de contextes : des systèmes très pâturants à faibles coûts alimentaires, jusqu'à des systèmes plus intensifs tournés vers la recherche de productivité maximale. Ainsi, les points clés de la réussite d'un système combinant robot de traite et pâturage ont pu être décrits, notamment en ce qui concerne le choix d'un mode de gestion de l'alimentation (et son adaptation aux variations d'herbe disponible), la circulation des vaches (selon le nombre de vaches traitées par robot), la distance des parcelles (possibilité d'utiliser un robot déplaçable).

Introduction

La traite robotisée est devenue une solution fréquemment adoptée par les éleveurs laitiers européens pour réduire pénibilité et temps de travail. En France, on estime que, parmi les élevages inscrits au Contrôle Laitier, le nombre d'exploitations équipées a doublé depuis 2010. Environ 4800 élevages étaient équipés d'un robot de traite (RDT) fin 2015, représentant 6150 UT environ (Allain, 2016). Toutefois, après l'achat d'un RDT, les éleveurs tendent à augmenter la distribution de concentrés pour maximiser la production laitière, et la contribution du pâturage est réduite, voire supprimée. Seuls 50% des élevages français avec RDT pratiquent encore le pâturage (tableau 1). Dans la plupart des pays d'Europe du Nord, le pâturage est de moins en moins présent dans les élevages robotisés (comparaison 2002/2011) et l'est moins en 2011 qu'en moyenne dans les élevages laitiers. Deux exceptions toutefois : l'Irlande, où il n'y pas d'autre système de production que le système «100% pâturage» pour les laitières, et la Suède où l'accès à l'extérieur en été est obligatoire pour des raisons de bien-être animal.

Pourtant, le pâturage présente un faible coût alimentaire, avec un impact positif sur la santé animale (BUROW et al., 2011) et l'environnement. Des études récentes (CAILLAUD et al., 2015) montrent que les élevages français équipés d'un RDT qui ont conservé du pâturage dégagent un revenu par UTH supérieur aux élevages avec RDT sans pâturage des mêmes zones. De plus, le pâturage est la base d'une conduite visant à l'autonomie alimentaire, notamment azotée (BROCARD et al., 2016 ; ROUILLÉ et al., 2014). C'est en particulier le cas des élevages en agriculture biologique de l'ouest de l'Europe. Mais peut-on réellement concilier un RDT avec un système pâturant ? Les éleveurs manquent souvent de préconisations pratiques pour mettre en œuvre cette combinaison, ce qui contribue au déclin du pâturage après l'installation d'un robot de traite. Pour pouvoir proposer de tels modes d'emploi, un projet de recherche européen nommé AUTOGRASSMILK a été mis en œuvre de 2012 à 2015 dans 7 pays : Irlande, Danemark, Suède, Pays-Bas, Belgique, Luxembourg et France. Les principaux objectifs poursuivis étaient i) de tester différentes solutions techniques pour optimiser la gestion du pâturage avec un robot de traite : il s'agit notamment de favoriser une bonne fréquentation du robot, -y compris lorsque les animaux sont dans les prairies pâturées, et ii) de diffuser un (ou des) mode(s) d'emploi pour une gestion optimale du pâturage combiné au robot de traite, et ce dans les contextes très variés des pays partenaires.

Pays	% d'exploitations avec pâturage dans l'ensemble des exploitations laitières	% d'exploitations laitières avec pâturage parmi les exploitations avec robot	
		2002	2011
Allemagne du Nord	30	10	2
Autriche	25	0	5
Belgique	90	71	10
Danemark	30-35	25	25
France	92	48	50
Irlande	99	0	99
Pays-Bas	70-75	53	40
Suède	100	100	100

TABLEAU 1 : Evolution de l'utilisation du pâturage en Europe selon la présence d'un robot de traite (VAN DOOREN *et al.*, 2002 cité par POULET *et al.*, 2013).

TABLE 1 : Changes in grazing system use by farms exploiting AM in Europe (VAN DOOREN *et al.*, 2002 quoted by POULET *et al.*, 2013).

Résultats

1. Présentation des sites et pays partenaires

Si les pays partenaires du projet AUTOGRASSMILK partageaient l'objectif de combiner «robot de traite et pâturage», la contribution de ce dernier au régime alimentaire des vaches variait fortement d'une région à l'autre (tableau 2). En Suède, la saison de pâturage potentielle est limitée et la pousse explosive, compliquant la gestion de l'herbe, mais la «sortie» des animaux est obligatoire en été pour des raisons de bien-être animal. L'objectif est donc de valoriser une part d'herbe pâturée, sur une période de quelques semaines, si possible sans effet négatif sur le niveau de performances laitières des animaux. Les travaux réalisés à l'université d'Uppsala se situent dans ce contexte. Au Danemark, seuls les élevages en agriculture biologique utilisent encore le pâturage après installation d'un robot de traite. Cette sortie est obligatoire dans le cahier des charges et permet d'accéder plus facilement à l'autonomie alimentaire et protéique des troupeaux. La contribution du pâturage dans les élevages néerlandais est un peu plus forte mais en forte décroissance. Un consensus national a été établi au niveau de la filière laitière pour stabiliser le recours au pâturage (50 à 60% de vaches sortant au pâturage). Une prime au pâturage a ainsi été mise en œuvre, à condition de sortir 120 jours par an pendant 6 heures par jour. Dans ce contexte, l'objectif des élevages avec RDT est de valoriser l'herbe disponible en complément d'une ration à l'auge offerte la nuit, sans impact marqué sur les performances laitières. En France, à Derval (Loire-Atlantique), le climat rend difficile la mise en œuvre d'un système 100% pâturage après juin. Classiquement, il est possible de valoriser l'herbe disponible sur 35 ares/VL en la complétant à l'auge par de l'ensilage de maïs ajusté au stock d'herbe disponible à l'extérieur. Les essais réalisés ont eu pour objectif d'utiliser au mieux l'herbe pâturée, de mars à juillet, avec un faible apport de concentré au pâturage (2 kg/VL/j en moyenne), pour un troupeau Prim'Holstein assez productif (autour de 9000 kg de lait/VL/an). De tels systèmes combinant pâturage et fourrages complémentaires sont fréquemment rencontrés en France, en Belgique et au Luxembourg. Enfin, dans des conditions plus favorables à la pousse régulière de l'herbe comme en Irlande (Moorepark), à Liège (Belgique) et à Trévarez (Finistère), le programme AUTOGRASSMILK a permis de tester l'intégration d'un robot de traite dans un système tout herbe et économe en concentrés. Moorepark se distingue par la cohabitation, au sein du même troupeau, de trois races laitières différentes (Holstein, Holstein croisées Jersey et Holstein croisées Rouges norvégiennes). Trévarez est conduit en agriculture biologique avec moins de 1 kg de concentré par laitière et par jour. Les conditions des tests de solutions pour concilier robot et pâturage ont donc été réalisées dans des contextes très différents. Trois points clefs sont apparus pour optimiser la valorisation de l'herbe et la circulation des animaux : la gestion de l'apport de fourrages complémentaires lorsqu'il y en a, le choix d'un mode de gestion du pâturage en système «100% pâturage» et enfin la gestion des concentrés et des permissions de traite au robot. Ces trois points vont être détaillés ci-après.

	Irlande ¹	France ²	Belgique ³	Belgique ⁴	France ⁵	Danemark ⁴	Suède ⁶
	Régime VL très pâturant		Pâturage + ensilage en complément			Pâturage majoritaire sur élevages bio	Pâturage et ensilage en complément ou pâturage "promenade"
Informations générales							
Production laitière (l)	5 800	6 500	6 700	8 100	9 000	9 700	10 200
Durée de pâturage (mois)	10	10	6	6	8	6	4
Nombre de VL ⁷	60	50	51	88	72	160	55
Principale source de données ⁸ E & P		E	E	P	E	P	E
Ration pendant la saison de pâturage (% ingestion totale MS)							
Herbe pâturée	100	94	90	35	55	33	15
Ensilage	0	0	0	37	28	35	35
Concentré	0	6	10	13	17	32	45
Autres aliments				15			
Ingestion par lactation (hors tarissement) (% ingestion totale MS)							
Herbe pâturée	87	44	41	18	14	15	5
Ensilage	8	43	28	50	65	50	50
Concentrés	5	13	14	14	21	35	45
Autres aliments			17	18			
1 : Fermes pilotes avec RDT et station expérimentale de Moorepark (Cork) ; 2 : Station expérimentale de Trévarez (Bretagne) ; 3 : Station expérimentale de Sart Tilman (Liège) ; 4 : Femmes pilotes ; 5 : Station expérimentale de Derval (Pays de Loire) ; 6 : Station expérimentale de Lövsta (Uppsala) ; 7 : Dans les fermes pilotes et stations des travaux de recherche ; 8 : Résultats présentés basés principalement sur des essais en station expérimentales (E) et/ou fermes pilotes (P)							
TABLEAU 2 : Principales caractéristiques des systèmes de production représentés dans les pays partenaires du projet Autograssmilk.							
TABLE 2 : Descriptive statistics for the production systems used in the countries participating in the Autograssmilk project.							

2. Comment gérer l'apport de fourrages complémentaires ?

I Suède : comment valoriser l'herbe dans un système peu pâturant ?

Les éleveurs laitiers suédois sont globalement peu enclins à faire pâturer les laitières (VL) car ils craignent un surcroît de coûts, de travail et une baisse de productivité. La combinaison avec le RDT apparaît encore plus complexe. Toutefois, la réglementation impose la sortie au pâturage lorsque les conditions climatiques le permettent en période de pousse de l'herbe. Les essais menés à Uppsala (SPÖRNDLY *et al.*, 2015) ont eu pour objectif de comparer la pratique répandue d'un pâturage type «Aire de promenade» à une recherche de valorisation, même limitée, de l'herbe disponible. Lors d'une première expérimentation (tableau 3), un troupeau de 53 VL Rouges suédoises à 9500 kg/an a reçu de l'ensilage d'herbe (EH) à volonté et pouvait accéder 9,5 h par jour à l'extérieur. Le niveau de concentrés a varié de 2 à 16 kg/VL/j selon la production des vaches. Le troupeau était scindé en deux lots : le lot «Pâturage» disposait de plus de 15 kg MS d'herbe offerte, alors que le lot «Aire de promenade» disposait de 3 kg MS herbe offerte plus un accès à l'ensilage 24 h/24 h. Le lot «Pâturage» a produit 1,6 kg de lait en plus (écart significatif) sans effet sur la FT maintenue à 2,8. Cependant, la consommation d'ensilage d'herbe (EH) est restée élevée (9,8 kg MS/j) et le coût alimentaire également. Lors d'une deuxième expérimentation, 42 VL Rouges suédoises et Holstein à 10000 kg/an ont reçu de l'ensilage d'herbe

Section Expérimentale

rationné, en complément de 12 h d'accès au pâturage. Les concentrés et les niveaux d'herbe offerts à l'extérieur étaient identiques au premier essai. Aucun effet significatif au seuil $p = 5\%$ n'a été enregistré entre lots ni sur la production, ni sur la fréquence de traite. L'ingestion d'ensilage d'herbe est tombée de 11,5 à 6,2 kg MS/j dans le lot «Pâturage».

	Lot Pâturage	Lot Aire de promenade
Essai 1 : Lot Pâturage non limité en ensilage d'herbe		
Production laitière (kg/jour, lait 4%)	35,8	34,2*
Ensilage d'herbe ingéré (kg MS/j)	9,8	12,2
Fréquence de traite (j)	2,8	2,7
Essai 2 : Lot Pâturage limité en ensilage d'herbe		
Production laitière (kg/jour, lait 4%)	32,5	32,1
Ensilage d'herbe ingéré (kg MS/j)	6,2	11,5
Fréquence de traite (j)	2,6	2,7

* écart significatif à $p = 5\%$

TABLEAU 3 : Production laitière, ensilage ingéré et fréquence de traite au robot pour des vaches ayant accès au pâturage ou à une aire de promenade en Suède (DEPRES, 2016).

TABLE 3 : Milk production, silage intake, and AM frequency for cows with access to pastures or a loafing area in Sweden (DEPRES, 2016).

Ces essais ont donc montré que, quitte à devoir mettre les vaches «dehors», il est possible de tirer parti de l'herbe présente sans effet notable sur la production laitière ou la fréquence de traite, à condition de rationner l'ensilage offert (DÉPRÈS, 2016). Toutefois, les vaches du lot «Pâturage» ne sont sorties que 30 à 40% du temps d'accès autorisé à l'extérieur et n'ont pâturé que pendant 20% de ce temps... ce qui montre que le système n'était pas encore optimisé ou que les animaux manquaient d'apprentissage pour le pâturage.

Robot, pâturage et maintien d'un fourrage complémentaire : l'expérience de Derval

À la station expérimentale de Derval (Chambre d'Agriculture 44), les premiers essais sur l'association robot et pâturage datent du printemps 2009 (HUNEAU et al., 2013). L'objectif était de faire pâture au maximum un troupeau de 72 VL Prim'Holstein trait par UT. Le 100% pâturage était envisagé si les conditions de pousse de l'herbe étaient réunies. Les cinq printemps de pâturage ont permis

de tester plusieurs organisations de la conduite du couple troupeau/pâturage avec le robot. Les essais ont eu pour but de parvenir à maximiser la quantité d'herbe ingérée au pâturage en étudiant l'impact de la part de pâturage («Jour uniquement» ou «Jour et nuit») sur les performances des vaches et du robot en comparaison à la période hivernale sans sortie.

Présentation de la station de Derval

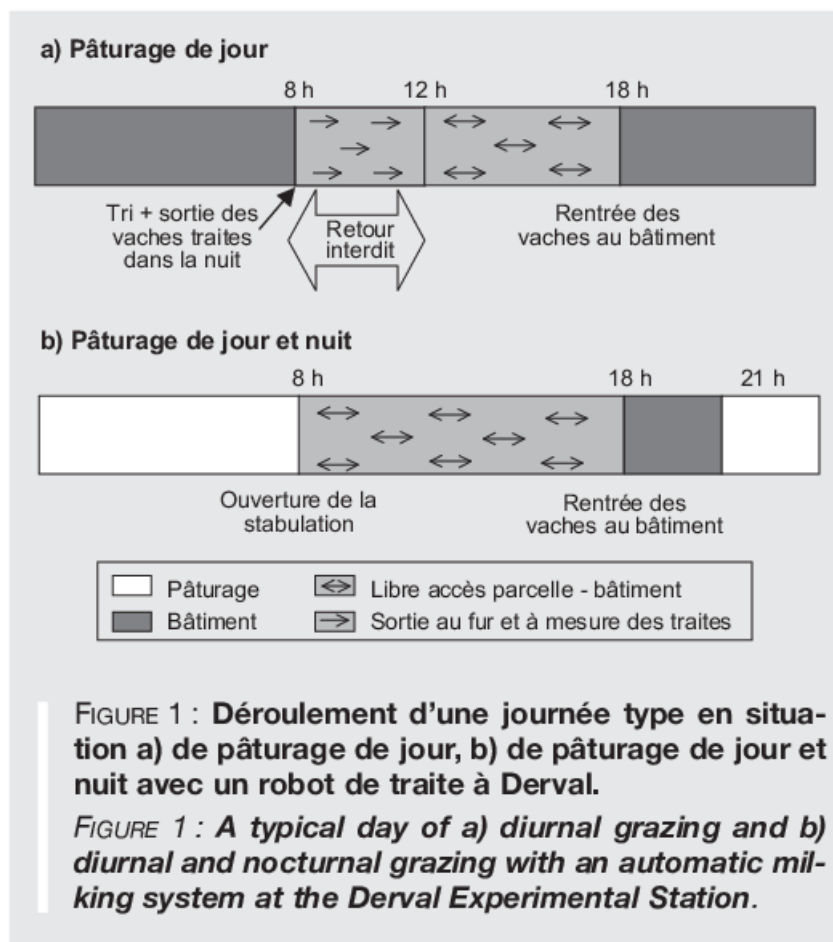
À mi-distance entre Nantes et Rennes, Derval se situe en zone plutôt séchante (600 mm de pluviométrie annuelle). La période la plus propice au pâturage s'étend de mars à mai et le pâturage d'automne reste incertain. Le parcellaire offre 28 ha de prairies implantées en ray-grass anglais - trèfle blanc directement accessibles depuis la stabulation. Un seul chemin, large de 3,5 m, dessert les 3 parcelles de 10, 10 et 8 ha qui forment un pâturage tournant simplifié. Avec le potentiel de pousse de l'herbe, ces 35 ares par vache permettent d'envisager aisément une saison de pâturage. La distance maximale à parcourir est de 800 m pour gagner l'extrémité de la parcelle la plus éloignée. Un point d'eau est accessible en entrant dans la stabulation et un autre avant d'en sortir. Il n'y a pas d'eau disponible sur les parcelles pâturées (sauf à l'occasion d'un test effectué en 2015). Le robot utilisé est un VMS 2007 DeLaval® monostalle installé en 2008. Avec 72 VL et 710000 litres livrés, l'UT est à saturation, c'est-à-dire qu'elle est au maximum de ses capacités. Dans la stabulation, la circulation est de type contrôlée inversée. Depuis la table d'alimentation, une porte de tri oriente les vaches soit vers le robot, soit vers le couchage d'où elles rejoindront à nouveau la table d'alimentation par des portillons anti-retour. Après la traite, la vache est guidée vers la table d'alimentation. Quelle que soit la période, il faut garantir des traites régulières et continues au robot pour atteindre environ 2000 kg de lait trait par jour. Le robot ne peut pas être à l'arrêt hors pour les créneaux de lavage, ce qui complexifie l'organisation du pâturage.

Dispositif adopté pour optimiser la part de pâturage

Les essais menés lors des cinq saisons d'observation ont abouti à la mise en place de la conduite suivante : - En période de transition, le pâturage est limité à la journée (Pâturage Jour, figure 1a) : les vaches traites depuis minuit sont triées et dirigées au pâturage vers 8 h lorsque tout le troupeau est bloqué au cornadis, après la distribution du maïs. Cette opération prend une dizaine de minutes. Nous sortons les vaches traites depuis minuit car, au-delà, l'intervalle de traite dépasse 8 h et il est préférable de les garder à proximité du robot pour la traite suivante. La saturation impliquant un fonctionnement continu 24 h/24 h, le créneau minuit-6 h représente en moyenne 35 VL traites. Il reste alors 37 vaches soit 5

Section Expérimentale

heures de traite. Les vaches sorties le matin commencent à rentrer librement en début d'après-midi. Les allers-retours sont libres jusqu'à 18 h où le vacher ramène toutes les vaches du pré au bâtiment.



- Lors de la phase de pâturage intégral, Pâturage accessible Jour + Nuit (figure 1b), il n'y a plus de tri d'animaux le matin puisque l'autorisation de sortie commence à 21 h la veille, obligatoirement après une traite. Entre 21 h et 8 h, plus de 65 vaches sont traitées et envoyées au pâturage sans avoir la possibilité de revenir avant l'ouverture du portillon, vers 8 h. Les premiers retours des vaches sorties la nuit se font naturellement entre 8 h et 10 h. La circulation est libre jusqu'à 18 h. Le retour de tout le troupeau a lieu vers 18 h par le vacher. Ainsi, un nombre suffisant de vaches sont présentes en stabulation pour maintenir le robot actif toute la nuit et garantir notre repère de 35 traites entre minuit et 6 h, essentiel avec un robot au maximum de ses capacités. Ce retour permet aussi d'avoir «sous la main» toutes les vaches pour les interventions individuelles ou collectives. Dans cette configuration, les vaches peuvent ressortir après la traite à partir de 21 h mais les dernières vaches sorties (vers 9 h le lendemain) n'ont pas mangé depuis 18 h la veille. Elles compensent par du pâturage dans la journée.

	2011	2012	2013	2014
Sortie au pâturage	3 mars	1 mars	2 mars	10 mars
Jours de pâturage	220	145	129	242
Jours de 100 % pâturage	11	32	56	0
Estimation de l'herbe pâturée ingérée (kg MS/VL/an)	1 200	1 500	1 100	1 100

TABLEAU 4 : Durées de pâturage et quantités d'herbe pâturée depuis 2011 à Derval.

TABLE 4 : Grazing duration and quantities of grass grazed since 2011 at the Derval Experimental Station.

Ecart entre régimes	Concentré (kg/VL/j)	Fréquence de traite (/j)	Lait (kg/VL/j) (mini → maxi)
Pâturage intégral – Régime hivernal	- 1,2	- 0,04	-1,9 (- 1,4 → - 2,8)
Transition – Régime hivernal	- 2,3	0	- 0,2

TABLEAU 5 : Comparaison des régimes de pâturage intégral et de transition par rapport au régime hivernal (Derval, 2013-2015).

TABLE 5 : Comparison of results for the grazing season (100% grazing) and the transition period with those for the winter period (Derval, 2013-2015).

A la clé : une réduction du coût alimentaire

Avec 35 ares par vache, une pousse d'au moins 53 kg MS/ha/j est nécessaire pour passer en pâturage intégral (18,5 kg MS/VL/j). Ce seuil n'a pas été atteint en 2014. En revanche, en 2012 et 2013, le pâturage intégral a duré respectivement 1 et 2 mois. Le niveau de pousse et l'organisation retenus depuis 2011 ont permis de valoriser plus de 1100 kg MS/VL d'herbe pâturée chaque année (tableau 4). A Derval, le pâturage représente ainsi entre 15 et 20% du fourrage total consommé sur l'année.

Evolution de la production et de la fréquence de traite

En période de transition (tableau 5), l'association maïs + herbe pâturée permet des performances équivalentes au régime hivernal avec une baisse de 2,3 kg de concentré (principalement azoté). En

Section Expérimentale

pâturage intégral, en moyenne sur les 3 printemps où il a été pratiqué, on a mesuré 1,9 kg de lait en moins par VL pour une économie de 1,2 kg de concentré par rapport à la phase hivernale (en totalité en bâtiment).

Cette expérimentation de Derval a permis de montrer aux éleveurs que pâturer avec un robot saturé est possible. Avec une organisation bien établie, il est ainsi possible de valoriser au moins 1,1 t MS d'herbe pâturée par vache, permettant une réduction du coût alimentaire de 60% en pâturage intégral par rapport à une alimentation hivernale en 100% maïs (HUNEAU et al., 2013).

3. Comment intégrer le robot dans un système 100% pâturage : l'expérience de Liège et Trévarez

Les fermes expérimentales de Liège (Université de Liège) et de Trévarez (Chambre d'Agriculture de Bretagne) ont la particularité d'avoir mis en place une solution de robot déplaçable, pour permettre le pâturage de zones non accessibles à partir du bâtiment où les vaches sont logées en hiver (BROCARD et al., 2015 ; CLOET et al., 2017). En période estivale, les robots sont placés au milieu d'un îlot de parcelles. Cette situation permet alors de tester différentes stratégies de conduite en 100% pâturage d'avril à octobre. Le premier transfert des robots sur leurs remorques a été réalisé en 2011 à Liège et en 2014 à Trévarez. Pendant la période de pâturage intégral, de 45 à 60 vaches sont traitées par le robot avec des quantités de concentré limitées et sans fourrages complémentaires. En pâturage intégral, la problématique est de trouver un moyen de faire circuler les vaches et ainsi de les motiver à venir au robot. L'objectif étant de limiter le travail et d'être économe, il est préférable de trouver une solution qui permette de faire circuler les vaches de façon autonome, avec le moins d'interventions possible. Donner envie aux vaches d'aller dans la parcelle suivante par la perspective d'herbe fraîche peut être une solution, mais comment la mettre en place ? Les expériences mises en place à Moorepark (FOLEY et al., 2015a), inspirées des travaux néo-zélandais (JAGO, 2008) et australiens (LYONS et al., 2013), ont servi de base pour choisir les options de gestion du pâturage à Liège et Trévarez (tableau 6). La première étape nécessaire est de gérer le pâturage de façon tournante avec un fil avant pour allouer la quantité nécessaire aux vaches et leur donner envie d'aller dans la parcelle suivante pour trouver un nouveau repas et ainsi passer par le robot. Pour cela, à Trévarez, les 22 ha d'herbe ont été divisés en 27 paddocks de 0,7 à 1 ha ; le parcellaire de 24 ha de Liège est divisé en 14 paddocks, la parcelle la plus distante se trouvant à 700-800 m du robot. Ensuite, différentes stratégies de gestion du pâturage ont été testées : 2 et 3 paddocks par 24 h, systèmes aussi appelés AB et ABC. Le parcellaire est divisé par blocs de parcelles (A, B ou C) et la porte automatique en sortie de l'aire d'attente du robot oriente les animaux en fonction de l'heure de la journée sur le chemin qui mène à la parcelle du bloc concerné. L'impact de ces stratégies de gestion du pâturage (AB ou ABC) sur les

performances animales, la circulation, la valorisation de l'herbe, le temps de travail et le coût alimentaire a été évalué.

Année	Liège		Trévarez	
	2015 (AB)	2014 (AB)	2016 (ABC)	
Nombre de paddocks / 24 h	2	2	3	
Nombre de jours 100 % pâturage	182	161	149	
Nombre de vaches (Holstein)	51	46	52	
Production laitière (kg/j)	18,7	18,6	17,7	
Stade de lactation (mois moyen)	6,7	6,5	6,2	
Fréquence de traite (/j)	2,2	1,8	1,7	
Concentrés (kg/j)	2,7	0,9	0,7	

TABLEAU 6 : Principaux résultats en période de pâturage intégral avec robot de traite déplaçable des dispositifs des exploitations de Liège et Trévarez.

TABLE 6 : Main results obtained by using mobile AM units during the grazing season (100% grazing) on farms in Liège and Trévarez.

A Liège, les parcelles, séparées en 2 blocs, nuit et jour, sont rendues accessibles par une porte automatique à partir de 6 h et 18 h. A Trévarez, 2 stratégies ont été testées avec des horaires différents. En 2014, le parcellaire a été divisé en 2 zones, jour et nuit, avec des accès à 7 h et 17 h. Les deux années suivantes, le parcellaire a été divisé en 3 zones : matin, après-midi et nuit, avec pour horaires de changement en 2015 : 5 h, 14 h et 21 h, et en 2016 : 5 h, 12 h et 19 h. L'objectif avec ces changements de parcelles est d'étaler au maximum les traites sur la journée en cherchant à ce que les vaches commencent à se déplacer le plus tôt possible le matin, de manière à étaler les traites du matin et limiter les « bouchons », ainsi qu'avoir des traites jusque tard le soir et un déplacement des vaches vers la parcelle de nuit.

Les stratégies des 2 sites permettent une valorisation importante d'herbe pâturée, plus de 2,5 t MS/VL/an d'herbe pâturée avec 150 à 200 jours de pâturage seul (tableau 6). Ces essais montrent qu'il est possible de pâturer sans fourrage complémentaire avec un robot de traite. A Trévarez, les deux stratégies AB vs ABC (tableau 6) ne présentent pas de différence significative sur la production laitière (DÉPRÉS, 2016), même si la comparaison est rendue difficile par les différences de composition du troupeau, de saison de pâturage et la conversion à l'agriculture biologique. La stratégie de gestion du

Section Expérimentale

pâturage ne semble pas avoir eu d'impact non plus sur la fréquence de traite. En revanche, les traites ont été plus étalées en 2016 qu'en 2014, permettant aux animaux d'attendre moins longtemps pour la traite (2 h en moyenne sur la journée en 2016 contre plus de 5 h en 2014), ce qui est positif pour le bien-être animal.

Les systèmes avec pâturage intégral (AB et ABC) permettent une baisse importante du coût alimentaire en été par rapport à la période hivernale en bâtiment (-45% à Liège et -75% à Trévarez) et ainsi une meilleure marge sur le coût alimentaire. Le travail nécessaire est également moins important en période intégralement au pâturage que lorsque les animaux sont totalement en bâtiment (-1 h 45 à Trévarez). En revanche, le système ABC demande 20 minutes de plus que le système AB, puisqu'il nécessite de déplacer un fil avant dans une parcelle de plus et demande la gestion de 3 calendriers de pâturage.

Il est donc intéressant de chercher à maximiser le pâturage même en traite robotisée. Cela demande de mettre en place une stratégie de gestion du pâturage avec plusieurs paddocks pour apporter plusieurs repas d'herbe fraîche par jour et ainsi créer une dynamique de circulation autonome des animaux.

4. Importance des autorisations de traite et de la distribution des concentrés

Le pâturage induit une diminution de la fréquentation du robot (SPÖRNDLY et WREDDLE, 2005 ; BROCARD et al., 2014) qui inquiète beaucoup les exploitants. La question se pose dès lors de l'utilité de distribuer davantage de concentrés lors de la traite pour inciter les animaux à revenir vers le robot ou d'accorder aux vaches plus d'opportunités d'être traitées en raccourcissant la permission de traite, c'est-à-dire l'intervalle de temps minimal entre 2 traites pour qu'une vache soit acceptée par le robot. Les deux thèmes ont fait l'objet d'études en système 100% pâturage, à Liège (Belgique) et à Moorepark (Irlande).

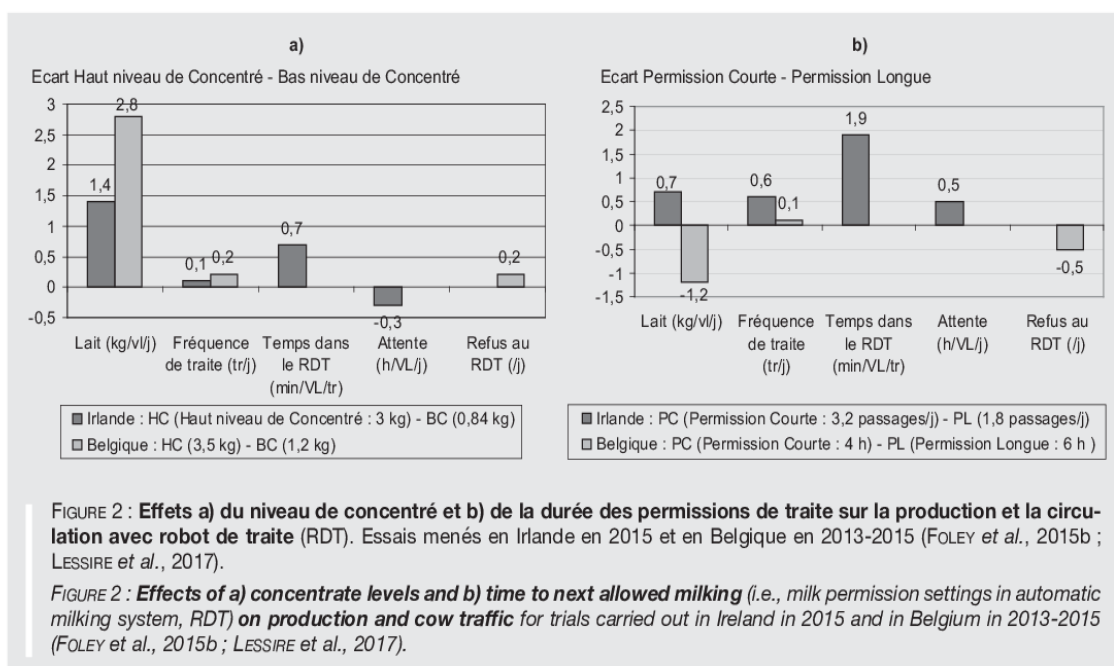
En ce qui concerne la distribution de concentrés, l'étude menée à Liège en 2013 (LESSIRE et al., 2014) a montré que l'augmentation de la distribution de concentrés de 2 kg/VL/j à 4 kg/VL/j n'avait pas d'impact sur le nombre de traites (2,4 traites/VL/j) pour une période d'étude de 123 jours. En 2014 et 2015, les paramètres « Niveau de concentrés - Permission de traite » ont fait l'objet d'études croisées en Irlande (FOLEY et al., 2015b) et en Belgique (figure 2). Dans chaque troupeau, 4 groupes ont été constitués. Deux groupes, Haut niveau de concentré (HC) et Bas niveau de concentré (BC) ont

d'abord été différenciés par la quantité de concentrés distribuée soit 3 kg concentrés/VL/j vs 0,84 kg et 4 kg de concentrés/VL/j vs 2 kg respectivement en Belgique et en Irlande. Ces groupes ont ensuite été divisés en 2 sous-groupes sur la base de la permission de traite : Permission longue (PL: Irlande : 1,3 traite/jour ; Belgique : permission de 6 h) ou courte (PC : Irlande : 1,8 traite/j ; Belgique : 4 h). L'impact des deux facteurs a été d'abord analysé de façon séparée puis chacun des 4 groupes a été différencié.

Dans les deux études, augmenter le niveau de concentrés a permis d'augmenter le nombre de traites. En Irlande, passer de 0,84 kg de concentrés/VL/j à 3 kg a augmenté la fréquence de traite/VL/j de 1,6 à 1,7. En Belgique, la fréquence de traite est passée de 2,1 traites/VL/j dans BC à 2,3 traites dans HC. En Irlande, le temps d'attente pour l'accès au robot et l'intervalle entre les visites ont été diminués pour le groupe HC. En Belgique, que ce soit en 2013 ou en 2015, le groupe HC a présenté plus de refus au robot, les vaches du groupe HC se présentant plus fréquemment au robot sans être admises à la traite (HC : 1,05 refus/VL/j en 2013, 1,46 refus/VL/j en 2015 vs BC : 0,70 refus/VL/j en 2013, 1,11 en 2015). Globalement, la circulation (la somme des traites et des refus/VL/j) au niveau du robot est donc plus intense avec l'augmentation du niveau de concentrés distribués.

Le raccourcissement de la permission de traite se traduit en Irlande par la possibilité pour les vaches d'être traitées 3,2 fois/j (PC) au lieu d'1,8 fois (PL). En Belgique, un intervalle de 4 h entre 2 traites successives a suffi pour permettre aux vaches PC d'être acceptées par le robot. Pour le groupe Permission longue (PL), un intervalle de 6 h était indispensable. Dans les 2 études, raccourcir la permission de traite a permis d'augmenter le nombre de traites avec un effet plus contrasté en Irlande : 1,9 traite/VL/j dans le groupe PC au lieu de 1,3 traite dans le PL. En Belgique, on a enregistré 2,3 traite/VL/j (PC) au lieu de 2,2 (groupe PL). En Irlande, le temps d'attente au niveau du robot a été réduit d'une demi-heure dans le groupe PL. En Belgique, le nombre de refus a sensiblement augmenté dans le groupe PL (1,46 refus/VL/j en PL vs 1,0 refus/VL/j en PC).

Section Expérimentale



En conclusion, garder un haut niveau de concentré avec une permission de traite élargie est recommandé dans les conditions de l'étude en Irlande pour son effet favorable sur le bien-être animal allié à une production laitière sauvegardée. En Belgique, l'augmentation de la distribution des concentrés allié à une permission de traite longue a boosté les retours au robot et la production laitière. Les résultats différents du niveau de la distribution des concentrés sur le nombre de traites semblent liés à la disponibilité de l'herbe. En effet, tant en 2013 qu'en 2015, en période de faible disponibilité en herbe, la distribution de plus de concentrés permet d'augmenter le nombre de traites et de soutenir la production laitière. Distribuer davantage de concentrés doit être réfléchi en fonction de ce résultat ainsi que sur la base des facteurs économiques (balance entre le prix du lait et le prix des concentrés). Privilégier une permission longue semble préférable.

Conclusion et perspectives

Les différentes actions menées dans ce projet ont mis en évidence qu'il était possible de conserver une part plus ou moins importante de pâturage dans la ration en système robotisé et ceci, dans des contextes très variés allant de la Suède à l'Irlande. Le premier critère pouvant influencer la quantité d'herbe ingérée reste l'accessibilité des parcelles qui est déterminante pour pouvoir faire pâturer. Le contexte général d'agrandissement des élevages laitiers en Europe de l'Ouest met en péril l'accessibilité et se heurte aux questions de saturation des UT quand l'effectif de vaches augmente. L'expérience de Derval a toutefois montré qu'il reste possible de valoriser correctement l'herbe de printemps même en

zone peu favorable à la pousse et d'en tirer un avantage économique à cette période. Il faut alors mettre en place une gestion de la circulation bien orchestrée.

De nombreuses questions subsistent pour optimiser la circulation et le retour autonome des vaches vers le robot, notamment sur le mode de gestion de l'herbe ou le paramétrage des autorisations de traite. Ces facteurs devront faire l'objet d'expérimentations complémentaires pour bien en préciser l'impact et fournir aux éleveurs des solutions pratiques et efficaces pour bien concilier robot de traite et pâturage avec des contributions de l'herbe variables.

Enfin, la réussite du système « robot et pâturage » repose sur la confiance que les vaches peuvent acquérir en termes de circulation. Les animaux ont en effet une forte faculté à s'habituer si on leur laisse un peu de temps mais cela nécessite d'abord que l'éleveur soit convaincu de cette possibilité et, pour cela, la diffusion de documents pratiques (type « mode d'emploi »), les témoignages, les portes-ouvertes en stations expérimentales, l'organisation de formations devront se poursuivre pour développer et maintenir de nouveaux savoir-faire alliant innovation technologique et valorisation d'une ressource fourragère de qualité et bon marché.

Section Expérimentale

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLAIN C. (2016) : *Robots de traite, le déploiement continue*, disponible sur www.idele.fr
- BROCARD V., HUCHON J.C., GEORGE R., FOLLET D., CARLES A. (2014) : «Pratiques et résultats de 20 élevages français conciliant la traite robotisée des vaches laitières avec un système de production pâturant», *Renc. Rech. Rum.*, 21, 351-354.
- BROCARD V., DUFRASNE I., LESSIRE F., FRANÇOIS J. (2015) : «Challenging land fragmentation thanks to a mobile milking robot», *Proc. EAAP Congr.*, Warsaw, p 330.
- BROCARD V., JOST J., ROUILLÉ B., CAILLAUD D., CAILLAT H., BOSSIS N. (2016) : «Feeding self-sufficiency levels in dairy cow and goat farms in Western France: current situation and ways of improvement», *The multiple roles of grassland in the European bioeconomy*, *Grassl. Sci. Europe*, 21, 53-55.
- BUROW E., THOMSEN P.T., CÅSØRENSEN J.T.CX, ROUSING T. (2011) : «The effect of grazing on cow mortality in Danish dairy herds», *Prev. Vet. Med.*, 100 (3-4), 237-241.
- CAILLAUD D., BROCARD V. (2015) : «Résultats techniques et économiques de deux échantillons d'élevages français avec ou sans robot de traite. Incidence de la part de pâturage chez ceux équipés d'un robot», *Renc. Rech. Rum.*, 22, 341-344.
- CLOET E., BROCARD V., GUIOCHEAU S., LE CŒUR P. (2017) : «Pâturer avec un robot de traite déplaçable pour lever la contrainte d'un parcellaire morcelé», *Int. RMT Congr., Bâtiments d'élevage de demain : construire l'avenir*, Lille, 17 février, sous presse.
- DEPRES C. (2016) : *Impacts sur les performances techniques et les aspects socio-économiques d'un système de pâturage à trois parcelles par jour (ABC) par rapport à deux (AB)*, Master's thesis, ISARA-Idele, 98 p.
- FOLEY C., SHORTALL J., O'BRIEN B. (2015a) : «Milk production, cow traffic and milking duration at different milking frequencies in an automated milking system integrated with grazing», *Precision Livestock Farming*, 15, 40-47 ; <http://autograssmilk.eu>
- FOLEY C., SHORTALL J., O'BRIEN B. (2015b) : «Transient effect of two milking permission levels on milking frequency in an Automatic Milking System with grazing», *Proc. EAAP Congr.*, Warsaw, p 335.
- HUNEAU T., DEHEDIN M., HUCHON J.C., BROCARD V. (2013) : «Concilier traite robotisée et pâturage», *Renc. Rech. Rum.*, 20, 277-280.
- JAGO J. (2008) : *Automatic milking is here...*, available on www.side.org.nz
- LESSIRE F., HORNICK J.L., DUFRASNE I. (2014) : «Effects of concentrate level on milk production and traffic of grazing cows milked by a mobile automatic milking system on pasture», *EGF at 50: The future of European Grasslands*, 19, 547-549.
- LESSIRE F., FROIDMONT E., SHORTALL J., HORNICK J.L., DUFRASNE I. (2017) : «The effect of concentrate allocation on traffic and milk production of pasture-based cows milked by an automatic milking system», *Animal* (accepté le 2/03/2017).
- LYONS N.A., KERRISK K.L., GARCIA S.C. (2013) : «Comparison of 2 systems of pasture allocation on milking intervals and total daily milk yield of dairy cows in a pasture-based automatic milking system», *J. Dairy Sci.*, 96, 7, 4494-4504.
- POULET J.L., BROCARD V. (2013) : *Etat des lieux de la traite robotisée en France et en Europe*, disponible sur www.idele.fr
- ROUILLÉ B., DEVUN J., BRUNSCHWIG P. (2014) : «L'autonomie alimentaire des élevages bovins français», *OCL*, 21 (4) D404 ; www.ocl-journal.org
- SPÖRNDLY E., WREDDLE E. (2005) : «Automatic milking and grazing- Effects of location of drinking water on water intake, milk yield, and cow behavior», *J. Dairy Sci.*, 88, 1711-1722.
- SPÖRNDLY E., ANDERSSON S., PAVARD N., LE GOC S. (2015) : «Production pasture versus exercise and recreation pasture for cows in automatic milking systems», *Grassland and forages in high output dairy farming systems*, *Proc. 18th Symp. Europ. Grassl. Fed.*, Wageningen, The Netherlands, 125-127.

Section expérimentale

Etude 2 :

The effect of concentrate allocation on traffic and milk production of pasture-based cows milked by an automatic milking system

Animal (2017), 11:11, pp 2061–2069

F. Lessire, E. Froidmont, J. Shortall, J. L. Hornick and I. Dufrasne

Section Expérimentale

Préambule Etude 2

Cet article original paru dans le journal « Animal » étudie l'influence de la distribution de concentrés sur la circulation des vaches dans un système « full pâturage », c'est-à-dire dépendant à 100 % de l'herbe pâturée. Dans cette étude, deux groupes de 14 et 15 vaches recevant une quantité différente de concentrés ont été constitués. Ils pâturaient au sein d'un même troupeau (45 vaches en moyenne) sans séparation physique. La quantité d'aliments distribuée au robot a été déterminée en fonction de la production laitière et du stade de lactation (jours en lait). La quantité maximale attribuée était de 4 kg/vache/jour pour le groupe concentré élevé et de 2 kg/vache/jour pour le groupe concentré faible. L'étude s'est déroulée sur toute la saison de pâturage soit 123 jours. À l'issue de cette période, l'absence d'impact sur la fréquence de traite a remis en question l'utilisation des concentrés pour favoriser la fréquence de traite. Toutefois, les résultats de l'étude ont montré l'intérêt d'une distribution de concentrés plus ciblée, c'est-à-dire s'adressant davantage aux primipares pour favoriser leurs retours au robot. L'augmentation de concentrés de 2 à 4 kg a eu pour effet d'augmenter la production laitière mais la réponse (kg lait/kg de concentré) est restée faible posant la question de l'intérêt économique de la supplémentation de l'herbe pâturée.

Abstract

Increased economic, societal and environmental challenges facing agriculture are leading to a greater focus on effective way to combine grazing and automatic milking systems (AMS). One of the fundamental aspects of robotic milking is cows' traffic to the AMS. Numerous studies have identified feed provided, either as fresh grass or concentrate supplement, as the main incentive for cows to return to the robot. The aim of this study was to determine the effect of concentrate allocation on voluntary cow traffic from pasture to the robot during the grazing period, to highlight the interactions between grazed pasture and concentrate allocation in terms of substitution rate and the subsequent effect on average milk yield and composition. Thus, 29 grazing cows, milked by a mobile robot, were monitored for the grazing period (4 months). They were assigned to two groups: a low concentrate (LC) group (15 cows) and a high concentrate (HC) group (14 cows) receiving 2 and 4 kg concentrate/cow per day, respectively; two allocations per day of fresh pasture were provided at 0700 and 1600 h. The cows had to go through the AMS to receive the fresh pasture allocation. The effect of concentrate level on robot visitation was calculated by summing milkings, refusals and failed milkings/cow per day. The impact on average daily milk yield and composition was also determined. The interaction between lactation number and month was used as an indicator of pasture availability. Concentrate allocation increased significantly robot visitations in HC (3.60 ± 0.07 visitations/cow per day in HC and 3.10 ± 0.07 visitations/cow per day in LC; $P < 0.001$) while milkings/cow per day were similar in both groups (LC: 2.37 ± 0.02 /day and HC: 2.39 ± 0.02 /day; Ns). The average daily milk yield over the grazing period was enhanced in HC (22.39 ± 0.22 kg/cow per day in HC and 21.33 ± 0.22 kg/cow per day in LC; $P < 0.001$). However the gain in milk due to higher concentrate supply was limited with regards to the amount of provided concentrates. Milking frequency in HC primiparous compared with LC was increased. In the context of this study, considering high concentrate levels as an incentive for robot visitation might be questioned, as it had no impact on milking frequency and limited impact on average milk yield and composition. By contrast, increased concentrate supply could be targeted specifically to primiparous cows.

Introduction

Since they were first developed in the 1990s, AMS have been increasing in popularity. According to de Koning (2011), around 8000 farms in 25 countries worldwide are equipped with a robot. In parallel, the interest for combining robotic milking with grazing has increased (Lyons et al., 2013a; John et al., 2016). Grazing has several advantages with the most frequently cited ones including benefits for animal health (Burow et al., 2011) and for the environment (Peyraud and Delagarde, 2013) which are positively perceived by the consumers (De Olde et al., 2016). Including grazed pasture in cows' diet lowers milk production costs (Hongerholt et al., 1997; Dillon et al., 2005) in comparison with barn feeding, and increases the ratio of polyunsaturated fatty acids in cows' milk (Stockdale et al., 2003; Wales et al., 2009). Despite these advantages, combining grazing and AMS remains a challenge due to the lower milking frequency observed when cows are grazing (van Dooren et al., 2002; Spöndly and Wredle, 2005).

Thus, the use of an AMS with grazing implies the need to stimulate cows' traffic to the robot. Gregarious behaviour and distance to the robot make the cows less motivated to go for milking, causing irregularity in milking intervals over the lactation with a negative effect on milk production (Ayadi et al., 2004; Delamaire and Guinard-Flament, 2006). Therefore, cow traffic is a fundamental aspect to be considered in the attempt to combine AMS and grazing (Lyons et al., 2013b; Scott et al., 2014). Varying factors which may improve cow traffic to the AMS have been described in the literature. One such incentive is feed, which can be provided by giving new pasture allocation (Lyons et al., 2013a), by offering more concentrates (Bach et al., 2007) or by modifying timing of feed allocation (Lyons et al., 2013b). Numerous studies have shown discrepancies regarding the effects of the level of concentrates given during milking on cow traffic: some of these find no effect on milking frequency (Bach et al., 2007; Jago et al., 2007) while in more recent studies (Lyons et al., 2013b) returns to the robot were improved by pre-milking concentrate supplementation. Effects of concentrates supplied during milking by the AMS have been studied indoors by Halachmi et al. (2005) and by Bach et al. (2007). They concluded that concentrate supplementation was not effective at attracting the cows to the robot. Studies conducted on grazing cows demonstrated that concentrate supplementation induces a substitution rate effect decreasing cow pasture intake and impacting efficient utilisation of grazed pasture (Peyraud and Delaby, 2001; Peyraud and Delagarde, 2013). For grazing dairy cows milked by an AMS, the dilemma between efficient utilisation of pasture and cow traffic to the robot, encouraged by concentrate supplementation, has to be considered. Thus, the aim of this study was to examine to what extent two different levels of concentrate supplementation impact traffic of grazing cows milked by an AMS in pasture during the grazing period in Belgium.

Material and methods

Animals and experimental design

The study was conducted from 1st May to 31st August 2013 (4 months) at the Experimental Farm of Sart Tilman, University of Liège, Belgium (5.58°E, 50.42°N). During the study period, the experimental herd was composed on average of 45 cows (minimum: 40; maximum: 50). From these, only animals present from the beginning till the end of the grazing period were included in the study. The cows were randomly assigned to one of two groups receiving a different level of concentrate supplementation at the AMS. In total, 15 cows including seven primiparous, days in milk (DIM) 97 ± 63 days (SD), with an average lactation number (LN) 2.00 ± 1.25 , were assigned in the low concentrate (LC) group. The HC group included 14 cows, of which five were primiparous (DIM = 94 ± 41 days; LN: 2.43 ± 1.91). From 1st May to 31st August, cow's diet was composed of grazed pastures and a variable amount of concentrate provided in the AMS during milking. The LC-group received on average 2.00 kg concentrate/d whereas the HC-group received on average 4.00 kg per day. Concentrate was supplied by Moulins Bodson (Villers l'Évêque, Belgium) and composed of 37% maize gluten, 11.5% dried beet pulps, 4% spelt, 10% barley, 24.5% wheat, 5% wheat distillers, 4% beet molasses and 4% soybean meal. It provided 170 g CP and 894 VEM/kg dry matter (DM) with VEM being the Dutch unit of net energy content for milk production (1000 VEM = 1650 kcal net energy for lactation). The amount given to each cow was computed in the robot following the schedule described in Table 1. Cows were allowed to visit the robot at any time but were milked only when a time interval of 4 h elapsed since the previous milking event.

Table 1 *Description of the schedule of concentrate allocation in LC (low concentrate) and HC (high concentrate)*

	DIM (days)	MY (kg)	Concentrate allocation (kg)	Maximum concentrate allocation (kg)
LC	<30	NA	3	3
	>30	NA	2	2
HC	<30	20 to 22	2.5	2.5
		>22	4	4
	30 to 150	≤20	4	4
		20 to 28	+0.5 kg/2 kg milk increment	6
	151 to 300	≤20	3	3
		20 to 28	+0.5 kg/2 kg milk increment	4.5
	>300		3	3

DIM = days in milk; MY = milk yield.

The cows were milked by an AMS Lely A3next® (Maasluis, The Netherlands) placed on a trailer in order to be moved on pastures during the grazing period following the procedure described by Dufrasne et al. (2012). Once moved from the barn to pasture after the winter period, the trailer with the AMS stayed at the same location during the grazing period. Transponders fixed on HR-tag neck collar (SCR, Netanya, Israel) were used in order to recognise the cows and to register several parameters: milk yield (kg/cow per day), number of milking per day (successful milking (SM)/d), number of failed milkings (robot failed to attach milking cluster (FM)/d), number of refusals (occurring if the delay between two visits is insufficient; RM/d), the amount of concentrate given (kg/cow per day), milk fat (F) and protein (P) content estimated automatically by IR analysis technology associated to the robot

Grazing management

In total, 24 ha of pasture, composed mainly of perennial rye- grass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*), were divided into 15 paddocks ranging from 0.6 to 3.1 ha in size, with a maximum distance for cows to walk to the robot of 700 m, assuming that this distance has no influence on milking frequency and milk yield (Spörndly and Wredle, 2005; Dufrasne et al., 2012). All animals grazed as one herd without any physical separation. Cows were assigned in different paddocks for day and night. Change from day to night paddock was managed when cows exited the AMS, as they were directed by selection gates to their new allocation. The day and night paddock changes took place at 0700 and 1600 h. The targeted pasture intake was set at 17 kg DM/cow per day based on pasture production of previous grazing periods. This objective was reached by strip-grazing. Grass height was measured by an electronic rising plate meter (Jenquip®, Feilding, New Zealand) before the cows entering and after cows exiting the pasture to estimate average pasture consumed. Pasture cover was estimated by mowing a grass band 10 m long and 0.38 m width. The mowed sample was weighed, then oven dried (65°C during 72 h) to determine the DM content. The kg DM collected on the mowed area was firstly expressed by ha of grazed parcel and then multiplied by the parcel area. This figure was then divided by the stocking rate at that time and by the days the cows stayed on. Pasture samples hand collected randomly on the pastures were oven dried (65°C for 72 h) and analysed by NIRS for composition prediction (CP, NDF, ADF, lignin, water-soluble carbohydrates (WSC), Ash) in order to determine the nutritional value according to the Dutch feeding system as described by De Boever (2004).

Section Expérimentale

Statistical analyses

The statistical analyses were performed using SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The data were analysed according to the PROC MIXED procedure with repeated measures and covariance analysis type autoregressive AR(1).

$$Y_{ijk} = \mu + Gr_i + M_j + N_k + Gr_i \times M_j + Gr_i \times N_k + e_{ijk}$$

where μ is the overall mean, Gr_i the group effect ($i = LC$ to HC), M_j the month effect ($j = May$ to $August$), N_k the lactation number effect ($k = 1$ to 2 , $1 = primiparous$ and $2 = multiparous$), interactions $Gr_i \times M_j$, $Gr_i \times N_k$ and e_{ijk} the residual error $\sim N(0; \sigma^2)$. Y_{ijk} was tested for milk yield (MY; kg/cow per day), F (% and kg/cow per day), P (% and kg/cow per day), milk solids (kg) calculated by summing F and P (kg/day), milk production/ milking (MM; kg), milking interval (MI; h), supplied concentrate (kg/cow per day).

The PROC MIXED procedure, with repeated values and covariance analysis type were used for statistical analysis of pasture nutritional values with the following model

$$Y_{ij} = \mu + M_i + e_{ij}$$

where μ is the overall mean, M_i the month effect ($i = 1$ to 4) and e_i the residual error $\sim N(0; \sigma^2)$.

Milking and refusal time pattern was determined by the procedure PROC FREQ and χ^2 test and relative risk (RR) were assessed. Relative risk was calculated in two steps. First, the number of event (e.g. SM or RM) for a determined group (e.g. LC or HC; primiparous or multiparous) is calculated and divided by the total number of subjects in this group (R1). The same calculation is made in the second group (R2). Relative risk is equal to R1 divided by R2.

All the edited values are least squares means \pm pooled standard error, excluding pasture height (means \pm SD).

Results

Grazing

Animals grazed for 4.6 ± 1.5 days on each paddock (minimum = 1 day and maximum = 12 days). Mean pre and post-grazing heights above ground were 11.4 ± 4.4 cm and 6.1 ± 2.1 cm, respectively. Pre-grazing pasture cover were at 2310, 917, 1587 and 1730 kg DM/ha in May, June, July and August, respectively. The grazing period in 2013 was unusual regarding weather conditions, with abundant rainfall levels in May (90.7 mm compared with 1991–2010 reference values of 66.5 mm) observed. In July and August, recorded temperatures in the Meteorological Station in Sart Tilman were higher than reference values of the last 30 years (July: 21.2°C, reference value: 16.5°C, August: 18.4°C, reference value: 16.0°C). During July and August, drought appeared with rainfalls 30% and 55% lower than those recorded during summers from 1991 to 2010, respectively. In June, due to poor climatic conditions, regrowth of grass was limited in some grazing paddocks.

Pasture nutritional values are reported in Table 2. All values kept constant over the grazing period excepted lignin and WSC. Water soluble carbohydrates dropped from 186.6 g/kg DM in May to 141.3 ($P < 0.05$) and 97.6 g/kg DM ($P < 0.001$) in July and August, respectively. By contrast, lignin content increased from 27.3 g/kg DM in May to 36.0 ($P < 0.05$) and 43.3 g/kg DM ($P < 0.001$), in July and August, respectively.

Table 2 Nutritional values of pasture from May to August

g/kg	May	June	July	August	SE
DM (%)	17.5	17.0	17.6	20.9	1.4
CP	162.0	175.3	180.5	193.7	4.3
NDF	462.3	448.3	469.7	431.3	4.2
ADF	242.4	239.0	256.8	262.1	3.1
WSC	186.6	184.5	141.3*	97.6**	4.2
Lignin	27.3	26.9	36.0*	43.3**	1.3

SE = pooled standard error; DM = dry matter; WSC = water soluble carbohydrates.

Significance levels: ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$.

Section Expérimentale

Concentrates supplementation

Cows received a daily average 4.14 ± 0.03 kg of concentrates in HC and 2.14 ± 0.03 kg in LC (Table 3). The supplied amount decreased from 2.30 kg in May to 2.00 kg in August for LC (difference = 0.30 kg). This decline was more pronounced in HC (4.56 kg in May to 3.70 kg in August) with a difference between the amount given in May and August reaching 0.86 kg. The amount of concentrates was similar in both age classes (2.17, 2.10 kg in multiparous and primiparous, respectively) for LC, whereas in HC, multiparous received on average 0.59 kg/day more than primiparous.

Voluntary cow traffic to the robot

Milking frequency was similar in both groups (2.38 ± 0.02 /day) whereas RM were more numerous in HC (1.05 ± 0.04 /day in HC and 0.70 ± 0.04 /day in LC, $P < 0.01$) inducing higher robot visitation in HC (3.6 ± 0.07 /day in HC v. 3.1 ± 0.07 /day in LC). The highest rate of RM due to visits separated by a delay <4 h was observed in June, the period of restricted grass. Month affected the time distribution of SM and RM (Figures 1 and 2). On the contrary, group had no effect on these parameters (Figure 3). A significant increase of the frequency of SM was recorded in LC from 0800 to 1200 h and from 1600 to 2000 h compared with HC. Over the day, SM and RM were not evenly distributed. In total, 53% of SM were observed from 0800 to 1200 h and from 1600 to 2000 h. That corresponds to a range of time between 1 and 3 h around the change of pastures allowed by the selection gates. From 1600 to 2000 h, cow traffic was the most intense with 25% of SM and 36% of RM observed at that time. On the contrary, only 15% of total SM and 14% of RM occurred from 2000 to 0400 h. From 0000 to 1200 h, the probability of SM increased whereas RM were less numerous. From 1600 to 2000 h, the proportion of RM became greater than that of SM. Over the grazing period, distribution pattern of robot visitations was influenced by the month: in July and August, less SM and RM were observed from 1200h till 1600 h while more robot visitations were recorded from 0400 to 0800 h and from 1600 to 2000 h.

Refusals occurred more frequently in primiparous compared with multiparous (1.00 ± 0.05 /day to 0.75 ± 0.04 /day for multiparous; $P < 0.001$; Table 4). However, in primiparous, RM number was different from one group to the other with a higher percentage of RM observed in HC-group: 63% of the total of RM were recorded in HC primiparous. The difference in behaviour observed in primiparous following concentrate allocation tended to alleviate from May to August and the RR of RM for LC to HC primiparous increased from 0.59 to 0.89 in August. Multiparous cows from the LC-group were more likely refused when coming back to the robot but the RR of LC/HC multiparous RM dropped over the grazing period from 1.42 in May to 1.12 in August. In June, the amount of recorded RM was the highest for all the groups (primiparous HC and LC, multiparous HC and LC). Odds ratio analysis demonstrated that milking time distribution was the

same in both groups, except from 0400 to 0800 h when multiparous came back more often while from 1200 to 1600 h, more SM were performed on primiparous.

Milk production and composition

Milk yield decreased over the grazing period in both groups (Table 3). Milk production declined linearly in both groups following a parallel evolution. In May, MY of both groups was not significantly different. Then, from June till the end of grazing, this trend changed. The greatest difference between groups production was noticed in June ($\delta = 1.96$ kg). On average, HC-group produced 1.07 kg milk/cow and per day more over the season, representing 0.56 kg of milk/kg concentrate (MR). Without taking into account May, the MR reached 0.79 kg milk/kg concentrate. The primiparous had a higher MR than multiparous (0.63 kg milk/kg concentrate in primiparous and 0.49 kg milk/kg concentrate in multiparous; Table 4). Over the study period, cows from HC produced 131 kg more milk than cows from LC while eating 247 kg more concentrates. Cows from HC had a shorter MI (35 min shorter) than those from LC ($P < 0.001$) and produced more milk per milking (MM; kg/milking) than the LC-cows (8.94 ± 0.06 kg/ milking in HC and 8.75 ± 0.05 kg/milking in LC; $P < 0.05$). The difference in MM was greatest in June (0.4 kg/milking; $P < 0.05$) while in other months differences were not significant.

Table 3 Effect of month (5 to 8 for May to August) and of concentrate allowance (low concentrate (LC); high concentrate (HC)) on milk yield and composition, visitations, milkings, refusals to the robot of grazing cows milked by an automatic milking system

Month	LC					HC					Statistical significance		
	5	6	7	8	SE	5	6	7	8	SE	tr	Month	tr × month
Concentrate (kg/day)	2.30 ^{xa}	2.13 ^{xb}	2.11 ^{xb}	2.00 ^{xb}	0.06	4.56 ^a	4.33 ^b	3.98 ^c	3.70 ^d	0.06	***	***	***
Yield (kg/cow per day)													
MY	26.37 ^a	21.20 ^{xb}	20.41 ^{xb}	17.32 ^{xc}	0.46	26.05 ^a	23.11 ^b	21.62 ^c	18.78 ^d	0.47	**	***	Ns
MM	10.61 ^a	8.45 ^{xb}	8.96 ^c	6.96 ^{cd}	0.16	10.81 ^a	8.85 ^b	9.09 ^b	6.99 ^c	0.16	*	***	Ns
F	1.00 ^a	0.81 ^{xb}	0.75 ^{xc}	0.64 ^{xd}	0.02	1.03 ^a	0.90 ^b	0.81 ^c	0.71 ^d	0.02	***	***	Ns
P	0.84 ^a	0.67 ^{xb}	0.68 ^{xb}	0.58 ^{xc}	0.02	0.85 ^a	0.74 ^b	0.72 ^b	0.63 ^c	0.02	***	***	Ns
Milk solids	1.85 ^a	1.48 ^{xb}	1.43 ^{xb}	1.23 ^{xc}	0.04	1.88 ^a	1.63 ^b	1.54 ^c	1.34 ^d	0.04	***	***	Ns
Composition													
F%	3.82 ^a	3.79 ^a	3.77 ^a	3.77 ^a	0.06	3.87 ^a	3.86 ^a	3.85 ^a	3.85 ^a	0.06	Ns	Ns	Ns
P%	3.28 ^a	3.26 ^a	3.31 ^a	3.28 ^a	0.06	3.30 ^a	3.30 ^a	3.35 ^b	3.32 ^a	0.06	Ns	***	Ns
Traffic (per day)													
Milkings	2.42 ^a	2.42 ^a	2.24 ^b	2.39 ^a	0.06	2.39 ^a	2.48 ^a	2.29 ^a	2.41 ^a	0.07	Ns	***	Ns
Refusals	0.64 ^a	0.91 ^{xb}	0.52 ^{xa}	0.73 ^{xa}	0.11	0.73 ^a	1.26 ^b	1.02 ^c	1.21 ^b	0.12	***	***	Ns
Visitations	3.11 ^a	3.33 ^{xa}	2.77 ^{xb}	3.18 ^{xa}	0.16	3.23 ^a	3.82 ^b	3.44 ^a	3.91 ^b	0.17	***	***	Ns
MI (h)	9.65 ^a	9.54 ^{xa}	10.30 ^{xb}	9.54 ^{xa}	0.15	9.45 ^a	9.05 ^b	9.63 ^a	8.51 ^c	0.15	***	***	***

SE = pooled standard error; tr = treatment: concentrate allowance; MY = milk yield; MM = milk per milking; F = milk fat; P = milk protein; MI = milking interval (h).

Values are least square means and pooled standard errors.

^{a,b,c,d}Values are statistically different within treatment.

^xValues are statistically different between treatments.

Significance levels: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$.

Milk composition did not change significantly in F% in both groups over the grazing period. Neither did P% except in July when it was greater in HC. In May, F and P production (kg) were similar in both groups

Section Expérimentale

but from June till end of August, HC produced on average 0.07 and 0.06 kg/cow per day fat and protein, respectively, more than LC.

Milk P and F production decreased in both groups over the grazing period. The decline was more marked in LC than in HC. The decrease in F production was 36% in LC, compared with 31% in HC, whereas the P production decreased by 31% and by 26% for LC and HC, respectively. Milk solids decreased in LC and HC over the grazing period. Nevertheless, the decrease was less pronounced for HC. Thus, milk solids production was higher at 0.07 kg/cow per day for HC than for LC, resulting in an extra milk solids production of 0.04 kg/kg concentrate. As a consequence, HC-cows produced nearly 12.3 kg milk solids/cow more than LC cows over grazing period.

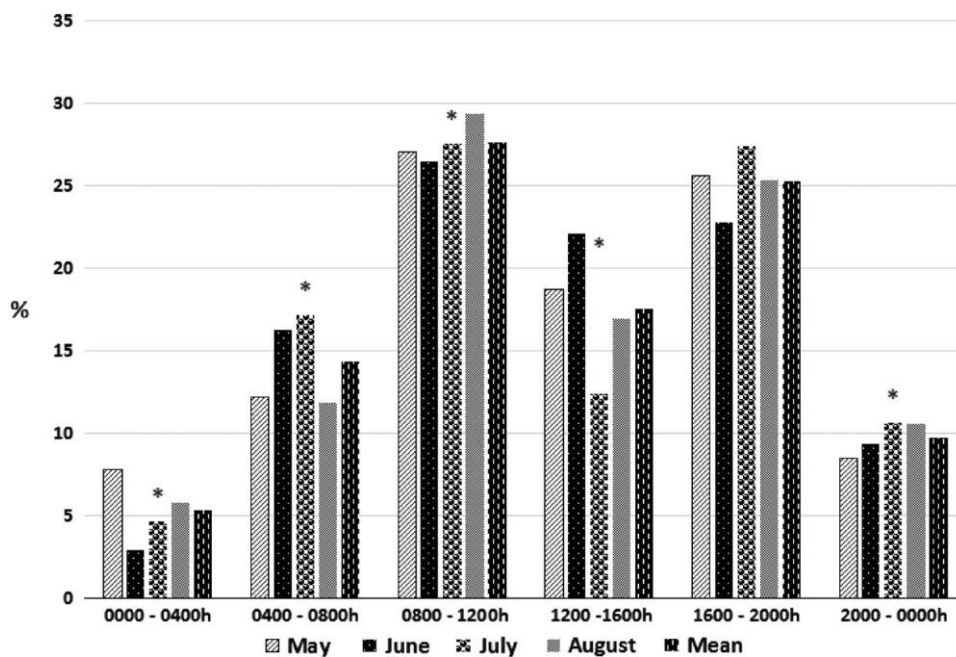


Figure 1 Time schedule of milkings of grazing cows milked by an automatic milking system: month effect. *Significantly different values.

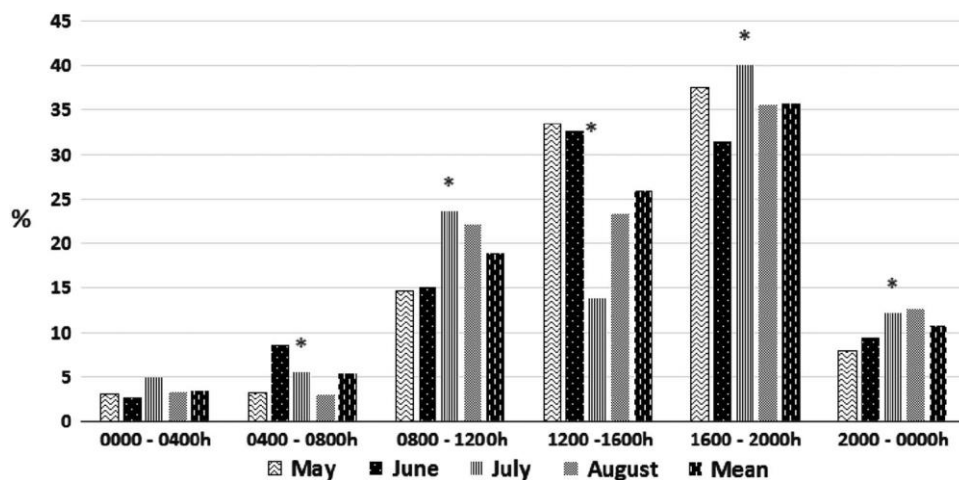


Figure 2 Time schedule of refusals of grazing cows milked by an automatic milking system: month effect. *Significantly different values.

Section Expérimentale

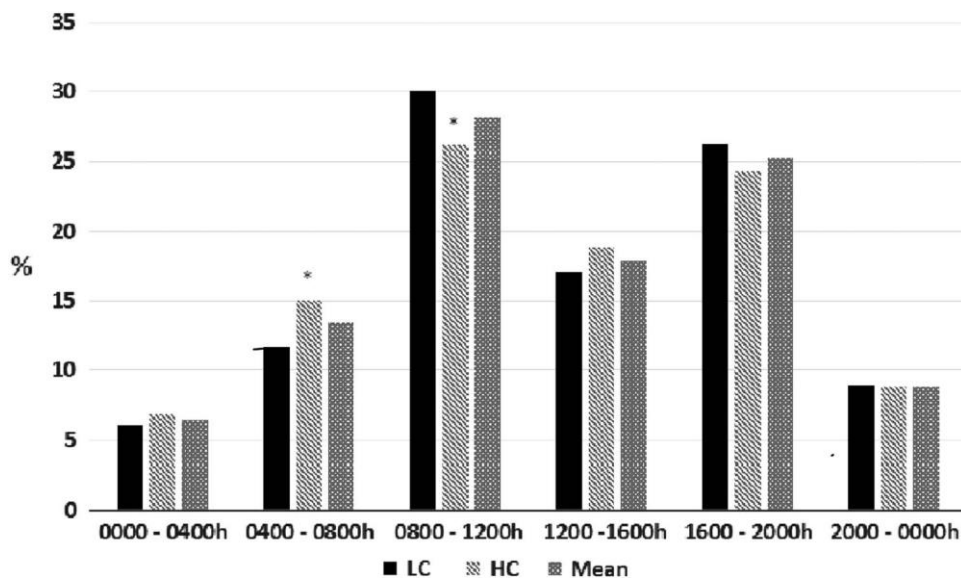


Figure 3 Influence of treatment on milking time schedule. *Significantly different values.

When compared with multiparous, primiparous produced less milk over the experimental period in both groups. However, MR was higher in primiparous. HC-primiparous presented a significantly shortened MI (8.62 ± 0.08 h) compared with other groups (9.75 ± 0.1 h; $P < 0.001$). Milk per milking was higher in multiparous compared with primiparous in both groups; this difference was more pronounced in HC (difference = 2.34 kg in LC and 3.73 kg in HC). Primiparous of HC produced less MM than LC-primiparous (-0.51 kg), due to the shortened MI, but over the day HC-primiparous produced on average 1.10 kg milk more than did LC-primiparous. Although F% and P% were similar regardless the lactation number, primiparous produced less F (0.70 to 0.97 kg/cow per day) and P (0.59 to 0.84 kg/cow per day), respectively, in primiparous and multiparous. Milk solids production was influenced by the concentrate supply and by the lactation number.

Table 4 Effect of lactation number (LN) and of concentrate allowance (low concentrate (LC); high concentrate (HC)) on milk yield and composition, traffic (visitations, milkings and refusals) to the robot of grazing cows milked by an automatic milking system

	LC			HC			Statistical significance		
	Primi	Multi	SE	Primi	Multi	SE	tr	LN	tr × LN
Concentrate (kg/day)	2.10	2.17	0.04	3.84	4.43	0.04	***	***	***
Yield (kg/cow per day)									
MY	17.90 ^{xa}	24.75 ^{xb}	0.30	19.00 ^a	25.81 ^b	0.30	***	***	Ns
MM	7.58 ^{xa}	9.92 ^{xb}	0.09	7.07 ^a	10.80 ^b	0.08	***	*	***
F	0.67 ^{xa}	0.93 ^{xb}	0.01	0.72 ^a	1.00 ^b	0.06	Ns	Ns	Ns
P	0.58 ^a	0.81 ^{xb}	0.01	0.60 ^a	0.86 ^b	0.01	***	***	Ns
Milk solids	1.25 ^{xa}	1.74 ^{xb}	0.02	1.33 ^a	1.87 ^b	0.02	***	***	Ns
Composition									
F%	3.79 ^a	3.78 ^a	0.05	3.79 ^a	3.92 ^a	0.05	Ns	Ns	Ns
P%	3.26 ^a	3.30 ^a	0.05	3.23 ^a	3.40 ^a	0.06	Ns	Ns	Ns
Traffic (per day)									
Milkings (SM)	2.28 ^{xa}	2.46 ^{xb}	0.03	2.46 ^a	2.32 ^b	0.03	Ns	Ns	***
Refusals (RM)	0.61 ^{xa}	0.80 ^b	0.06	1.41 ^a	0.70 ^b	0.06	***	***	***
Visitations	2.93 ^a	3.27 ^b	0.09	4.10 ^a	3.10 ^b	0.09	***	***	***
MI (h)	9.84 ^{xa}	9.67 ^a	0.07	8.62 ^a	9.71 ^b	0.07	***	***	***

Primi = primiparous; Multi = multiparous; SE = pooled standard error; tr = treatment: concentrate allowance; LN = lactation number (1: primiparous or 2: multiparous); MY = milk yield; MM = milk per milking; F = milk fat; P = milk protein; SM = successful milking; RM = refused milking; MI = milking interval (h). Values are least square means and pooled standard errors.

^{a,b}Values are statistically different within treatment.

^xValues are statistically different between treatments.

Significance levels: *** $P < 0.001$; * $P < 0.05$.

Discussion

In this study, grazing cows milked by an AMS were monitored over a period corresponding to the typical grazing period in Belgium (4 months). This study represents the first time that this kind of data were collected with grazing and AMS over such a period in Belgium. Cow traffic to the robot is considered a key factor for AMS profitability (Scott et al., 2014). Halachmi (2004) demonstrated that a decline in returns to the robot even of short duration had a major impact on MY. Following his study, reduction from 2.5 to 2.0 visits/cow per day lead to a decrease in MY from 24 to 18 kg/cow per day. Analysing the impact of concentrate supplementation on voluntary cow traffic was the main objective of this study. The effect on cows' production was also evaluated to verify whether concentrate allocation was profitable from an economic point of view – that is, if the extra costs linked to concentrate allocation were counterbalanced by a subsequent increase in milk yield.

Impact on voluntary cow traffic

The use of AMS requires voluntary action of individual cows, while ordinarily their behaviour in pasture tends to be more gregarious. It is thus necessary to provide an incentive for increasing robot visitations and consequently milkings. Milking frequencies ($2.37 \pm 0.02/\text{day}$ in HC and $2.35 \pm 0.02/\text{day}$ in LC) observed in our study were comparable with those reported by Spörndly and Wredle (2005) Other studies performed in fully grazing systems by Jago et al. (2007) and Lyons et al. (2013b) in New Zealand and Australia, respectively, recorded less milkings/day: 1.7 milkings/cow per day (Jago et al., 2007) and 1.5 milkings/cow per day (Lyons et al., 2013b). Milking permission time does not seem to be a limiting factor as cows were allowed to be milked after a 4-h interval, similar to Lyons et al. (2013b), while in Spörndly and Wredle (2005), the time elapsed between two milkings must have been greater than 6 h.

In the present study, high concentrate level increased the robot visitations but also caused more RM in HC. At lower pasture availability and quality, visitations to the robot in HC were more frequent, while they stayed constant in LC. Refusals were increased in both groups at low pasture availability and quality. The impact of pasture availability on cow traffic to the robot has been previously described by Ketelaar-de Lauwere et al. (2000) in an experimental design including an AMS located in the barn. In these conditions, low pasture biomass was linked to an increase in time spent indoors and consequently to a rise in milkings. Lyons et al. (2014) observed that at low pasture availability, cows tend to walk to a new pasture allocation. A similar observation was made in the present study, as cows preferred to return to the robot and eventually get refused than to stay on the pasture.

Milkings and refusals distribution time over the grazing period

As described in other studies (Ketelaar-de Lauwere et al., 1999; John et al., 2016), fewer visits occurred at night. May recorded the highest number of robot visitations from 0000 to 0400 h, although visits at that time period remained uncommon (<10% of total milkings and <5% of total refusals). The cause of the higher frequency of night visits in May is unclear. Weather conditions influenced milking and refusal schedules, with a reduction of robot visitations to the robot during hot period (1200 to 1600 h) in July and August with visit schedules moving to periods 1600 to 0000 h. This observation is in accordance with other studies (Ketelaar-de Lauwere et al., 2000; John et al., 2016). Although the majority of milkings (56% in LC and 50% in HC) occurred within periods of new pasture allocation corresponding to changing gates (from 0800 to 1200 h and from 1600 to 2000 h), HC came more regularly to the robot than LC. On the contrary, the majority of refusals in LC happened from 1600 to 2000 h. The same observations were made for all groups of cows except for HC-primiparous who recorded a high rate of refusals from 1200 to 1600 h. It appears that at HC, both pasture and concentrate supplementation influenced cow traffic while pasture allocation was the most important incentive in LC cows.

Influence of parity

Several studies have shown differences in the individual motivation of cows to be milked by an AMS – for example, hierarchy, aggressiveness, milk production and stage of lactation. Ketelaar-de Lauwere et al. (1996) described that the timing of visits to the AMS was influenced by the rank of the cows with a higher rate of night visits for dominated cows. Jacobs & Siegford (2012) showed that parity, linked to a lower BW could influence traffic to the robot with low- ranked cows staying a longer time in the waiting area before being milked. Ketelaar-de Lauwere et al. (2000) observed a higher frequency of non-milking visits in heifers. Halachmi (2004) included social priority in the simulation model helping for designing AMS facilities. In the present study, parity influenced traffic to the robot, but this impact differed following the concentrate allocation. Thus it is unlikely that the observed differences could be only due to the lower rank of primiparous. The HC-primiparous RM frequencies were the highest in all periods. On the contrary, LC-primiparous, SM and RM per day were consistently less frequent than LC- multiparous ones. Milking frequency seemed comparable in both groups but this figure was the result of the different behaviour of primiparous in both groups. In LC-group, primiparous were milked less frequently than multiparous, while the contrary was observed in HC-group. It is note- worthy to mention that all the cows were trained to be milked on pasture before the beginning of this experiment. The HC-primiparous might have become accustomed to visit the robot more frequently by the more attractive amount of concentrate provided. The rapid adaptation of heifers to pasture-based AMS is in line with other studies, which observed increase of heifers' robot visitations (Ketelaar de Lauwere et al., 1998) and lower waiting time of primiparous in the robot facilities (Scott et al., 2014). The level of concentrates influenced milking interval. It was shorter in HC (9.04 ± 0.05 h and $9.77 \pm$

Section Expérimentale

0.05 h in LC) and surprisingly correlated with higher MM. This finding can be explained by the steady MM observed in HC in June compared with LC. During this period, the difference between both groups reached 0.4 kg/milking impacting the mean MM recorded over the grazing period.

Milking frequency is correlated to AMS performance. Effect of minimum milking interval was studied in a pasture-based AMS by Jago et al. (2007). They concluded that larger MI than 12 h could be targeted without negative impact on MY. By contrast, 16 h (Lyons et al., 2013b) to 18 h (Jago et al., 2007) of delay between milkings decreased milk production. A MI >12 h corresponding to <2 milkings/day was recorded in only 27% of HC compared with 31% in LC ($P < 0.05$). Only 12% HC demonstrated MI >16 h whereas it was recorded in 14% of LC. Primiparous from the HC-group had a major impact on that observation with a reduction in MI of 1 h compared with other groups whose value was similar (HC-multiparous: 9.71 h, LC-multiparous: 9.67 h and LC-primiparous: 9.84 h). Increased traffic to the robot initiated by higher concentrate supply could lower the time left for eating, grazing and ruminating as it has been demonstrated in other studies (Halachmi et al., 2005; Bach et al., 2007). However, in our study, lower MI of HC-cows increased robot visitations and affected positively MY. This effect was even more pronounced for primiparous.

Milk production and composition

The poor weather conditions recorded in 2013 tended to decrease pasture quality and availability over the grazing period. In these conditions, providing an additional amount of concentrates induced a greater response in milk production from June to August compared with May, where no difference in MY was observed between LC and HC. On average, HC cows produced an additional 1.19 kg milk representing 0.69 kg of milk per kg concentrate. Following the literature (Dufresne et al., 2012; Reis and Combs, 2000; Bargo et al., 2002; Kennedy et al., 2003; McEvoy et al., 2008; Auldist et al., 2013), several factors influence the effect of concentrates supplementation on average milk yield and composition – for example, pasture availability and quality, stage of lactation and genetic merit. At high pasture allowance, pasture quality influences pasture intake: Peyraud and Delagarde (2013) reported that pasture intake could vary from 18.9 kg DM/cow per day for excellent pasture quality to 15.5 kg DM/cow per day in very poor pasture quality. In our study, higher pasture nutritional values were observed compared with those reported by McEvoy et al. (2008), Bargo et al. (2002) and Pérez-Prieto et al. (2011), promoting higher pasture intake and lower grass to concentrate substitution rate. The negative MR observed in May presumed a low substitution rate and could be explained by the high WSC content of spring pasture promoting increase in pasture intake and in MY, which is in accordance with other authors (Peyraud and Delagarde, 2013; John et al., 2016).

The mean MR of 0.56 kg milk/kg concentrate over the grazing period is lower than that reported in previous studies. An increase in milk production between 0.96 and 1.36 kg/kg concentrate at grazing was

observed by Bargo et al. (2002), between 0.86 and 1 kg/kg concentrate by Reis and Combs (2000), 1.12 kg/kg concentrate by Jago et al. (2007) and 1.04 kg/kg concentrate by Delaby et al. (2001). Should periods of high pasture availability not been considered (e.g. in May), closer figures to those reported in other studies would be obtained confirming that the effect of concentrates on MY was influenced by pasture availability and quality. Grazing management (strip-grazing modulating pasture allowance) could also be invoked to explain lower MR (Peyraud and Delagarde, 2013).

In our study, mean F% and P% over the grazing period were 3.82% and 3.37%, respectively. In similar conditions with cows receiving 2 kg concentrates, Dieguez et al. (2001) reported similar values (F%: 3.9% and P%: 3.3%) to the ones reported herein. In the present study, supplementation of concentrates increased milk fat and protein production. This result is confirmed by previous studies (Delaby et al., 2001; Kennedy et al., 2003) reporting an increase in fat and protein production in relationship with introduction of concentrates of similar nutritional values. Low concentrate group produced less milk solids over the grazing period and the difference between both groups was more pronounced in June (difference = 0.16 kg/cow per day compared with 0.03 kg/cow per day in May) when pasture availability was the lowest. Then, the difference in solids production between HC and LC became stable till the end of grazing period (0.11 kg/cow per day in July and August).

Conclusion

This experiment demonstrates a response to concentrate offered to grazing cows milked by a mobile AMS at numerous levels. The cow traffic to the robot was influenced by concentrates' level during the measurement period, with more frequent robot visitations in the HC-group than in LC-group. By contrast, milking frequency did not change regardless of the level of concentrates. However it has to be noted that primiparous from the HC-group behaved differently. Milkings of primiparous were increased at higher concentrate allocation, as did refusals. Concentrate allowance increased traffic to the robot leaving less time for eating and ruminating. Despite this time and energy expenditure, milk production per milking and per day increased, except during periods of high pasture availability and quality. Average milk yield and composition were generally improved by higher levels of concentrate supplementation. When pasture availability and quality decreased, difference between HC and LC groups strengthened despite the energy spent to travel to the robot in HC-group. Finally, in the specific conditions of the present study, allocating higher amounts of concentrates might be questioned regarding the low MR. Thus, concentrate supply should be adapted with regards to pasture quality and availability to maximise economic impact on milk yield and on traffic. Using higher concentrate allocation could be advised to maximise primiparous traffic to the robot and take full advantage of concentrate allocation related to their higher MR.

Acknowledgments

This research was funded by the EU project Autograssmilk SME FP7 314879.

References

- Auld MJ, Marett LC, Greenwood JS, Hannah M, Jacobs JL and Wales WJ 2013. Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *Journal of Dairy Science* 96, 1218–1231.
- Ayadi M, Caja G, Such X, Rovai M and Albanell E 2004. Effect of different milking intervals on the composition of cisternal and alveolar milk in dairy cows. *Journal of Dairy Research* 71, 304–310.
- Bach A, Iglesias C, Calsamiglia S and Devant M 2007. Effect of amount of concentrate offered in automatic systems on milking frequency, feeding behaviour, and milk production of dairy cattle consuming high amounts of corn silage. *Journal of Dairy Science* 90, 5049–5055.
- Bargo F, Muller LD, Delahoy JE and Cassidy TW 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *Journal of Dairy Science* 85, 1777–1792.
- Burow E, Thomsen PT, Sørensen JT and Rousing T 2011. The effect of grazing on cow mortality in Danish dairy herds. *Preventive Veterinary Medicine* 100, 237–241.
- De Boever JL, Vanacker JM, Fiems LO and De Brabander DL 2004. Rumen degradation characteristics and protein value of grassland products and their prediction by laboratory measurements and NIRS. *Animal Feed Science Technology* 116, 53–66.
- de Koning CJ 2011. Automatic milking: common practice on over 10000 dairy farms worldwide. In *Dairy research foundation symposium* (ed. P Celi), volume 16, pp. 14–31. University Printing services Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- Delaby L, Peyraud JL and Delagarde R 2001. Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance and milk yield at turn-out on the performance of dairy cows in mid lactation at grazing. *Animal Science* 73, 171–181.
- Delamaire E and Guinard-Flament J 2006. Increasing milking intervals decreases the mammary blood flow and mammary uptake of nutrients in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89, 3439–3446.
- De Olde E, Oudshoorn FW, Sørensen CG, Bokkers EAM and De Boer IJM 2016. Assessing sustainability at farm-level: lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators* 66, 391–404.
- Dieguez F, Hornick JL, De Behr V, Istasse L and Dufresne I 2001. Incidences phytotechniques et zootechniques d'une réduction ou d'une suppression de la fertilisation azotée sur des prairies pâturées par des vaches laitières. *Animal Research* 50, 299–314.
- Dillon P, Roche JR, Shalloo L and Horan B 2005. Optimising financial return from grazing in temperate pastures. In *Proceedings of a satellite workshop of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation* (ed. JJ Murphy), pp. 131–147. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
- Dufresne I, Gielen M, Limbourg P, Korsak Koulagenko N and Istasse L 1996. Effets d'une augmentation de la fumure azotée ou de la distribution supplémentaire de concentré sur les performances et les teneurs en urée plasmatique de vaches laitières soumises au pâturage continu et en rotation. *Annales de Zootechnie* 45, 135–150.
- Dufresne I, Robaye V, Knapp E, Istasse L and Hornick JL 2012. Effects of environmental factors on yield and milking number in dairy cows milked by an automatic system located in pasture. In *Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation, Grassland – a European resource*, volume 17, pp. 231–233. Polish Grassland Society Publishers, Poznan, Poland.

Section Expérimentale

- Halachmi I 2004. Designing the automatic milking farm in a hot climate. *Journal of Dairy Science* 87, 764–775.
- Halachmi I, Ofir S and Miron J 2005. Comparing two concentrate allowances in an automatic milking system. *Animal Science* 80, 339–343.
- Hongerholt DD, Muller LD and Buckmaster DR 1997. Evaluation of a mobile computerized grain feeder for lactating cows grazing grass pasture. *Journal of Dairy Science* 80, 3271–3282.
- Jacobs JA, Ananyeva K and Siegford JM 2012. Dairy cow behavior affects the availability of an automatic milking system. *Journal of Dairy Science* 95 (suppl. 4), 2186–2194.
- Jago JG, Davis KL, Copeman PJ, Ohnstad I and Woolford MM 2007. Supplementary feeding at milking and minimum milking interval effects on cow traffic and milking performance in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Research* 74, 492–499.
- John AJ, Clark CEF, Freeman MJ, Kerrisk KL, Garcia SC and Halachmi I 2016. Review: milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal* 7, 1–9.
- Kennedy J, Dillon P, Delaby L, Faverdin P, Stakelum G and Rath M 2003. Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 610–621.
- Ketelaar-de Lauwere CC, Devir S and Metz JHM 1996. The influence of social hierarchy on the time budget of cows and their visits to an automatic milking system. *Applied Animal Behavior Science* 49 (suppl. 2), 199–211.
- Ketelaar-de Lauwere CC, Hendriks MMWB, Metz JHM, Schouten WGP 1998. Behaviour of dairy cows under free or forced cow traffic in a simulated automatic milking system environment. *Applied Animal Behavior Science* 49 (suppl. 2), 199–211.
- Ketelaar-de Lauwere CC, Ipema AH, Lokhorst C, Metz JHM, Noordhuizen JPTM, Schouten WGP and Smits AC 2000. Effect of sward height and distance between pasture and barn on cows' visits to an automatic milking system and other behaviour. *Livestock Production Science* 65 (suppl. 1–2), 131–142.
- Ketelaar-de Lauwere CC, Ipema AH, van Ouwkerk ENJ, Hendriks MMWB, Metz JHM, Noordhuizen JPTM and Schouten WGP 1999. Voluntary automatic milking in combination with grazing of dairy cows. *Applied Animal Behavior Science* 64 (suppl. 2), 91–109.
- Lyons NA, Kerrisk KL and Garcia SC 2013a. Comparison of 2 systems of pasture allocation on milking intervals and total daily milk yield of dairy cows in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science* 96, 4494–4504.
- Lyons NA, Kerrisk KL and Garcia SC 2013b. Effect of pre-versus postmilking supplementation on traffic and performance of cows milked in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science* 96, 4397–4405.
- Lyons NA, Kerrisk KL, Dhand NK, Scott VE and Garcia SC 2014. Animal behavior and pasture depletion in a pasture-based automatic milking system. *Animal* 8 (suppl. 9), 1506–1515.
- McEvoy M, Kennedy E, Murphy JP, Boland TM, Delaby L and O'Donovan M 2008. The effect of herbage allowance and concentrate supplementation on milk production performance and dry matter intake of spring-calving dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 91, 1258–1269.
- Pérez-Prieto LA, Peyraud JL and Delagarde R 2011. Substitution rate and milk yield response to corn silage supplementation of late-lactation dairy cows grazing low-mass pastures at 2 daily allowances in autumn. *Journal of Dairy Science* 94, 3592–3604.

Peyraud JL and Delaby L 2001. Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows-response to concentrates in interaction with grazing management and grass quality. In Recent advances in animal nutrition (ed. PG Garnsworthy and J Wiseman), pp. 203–220. University of Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Peyraud JL and Delagarde R 2013. Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. *Animal* 7 (suppl. 1), 57–67.

Reis RB and Combs DK 2000. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *Journal of Dairy Science* 83, 2888–2898.

Scott VE, Thomson PC, Kerrisk KL and Garcia SC 2014. Influence of provision of concentrate at milking on voluntary cow traffic in a pasture-based automatic milking system. *Journal of Dairy Science* 97, 14981–1490.

Spörndly E and Wredle E 2005. Automatic milking and grazing – effects of location of drinking water on water intake, milk yield, and cow behavior. *Journal of Dairy Science* 88 (suppl. 5), 1711–1722.

Stockdale CR, Walker GP, Wales WJ, Dalley DE, Birkett A, Shen Z and Doyle PT 2003. Influence of pasture and concentrates in the diet of grazing dairy cows on the fatty acid composition of milk. *Journal of Dairy Research* 70, 267–276.

van Dooren HJCE, Spörndly E and Wiktorsson H 2002. Automatic milking and grazing. Applied grazing strategies. Deliverable D25, EU project 'Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms' (QLK5-2000-31006). Retrieved on 29 April 2014 Retrieved on 29 April 2014 from <http://www.automaticmilking.nl>

Wales WJ, Kolver ES, Egan AR and Roche R 2009. Effects of strain of Holstein-Friesian and concentrate supplementation on the fatty acid composition of milk fat of dairy cows grazing pasture in early lactation. *Journal of Dairy Science* 92, 247–255.

Section Expérimentale

Section expérimentale

Etudes 3 et 4 :

Section Expérimentale

Préambule Etudes 3 et 4

Dans cette troisième partie, deux exploitations wallonnes gérant de grands troupeaux (plus de 100 vaches) ont été suivies pendant 2 et 3 ans. Les résultats ont fait l'objet d'une communication écrite avec présentation orale en 2015 et d'une publication en 2017. Les deux publications présentant des résultats complémentaires sont présentées à la suite l'une de l'autre.

Leur objectif était d'évaluer la faisabilité de la combinaison robot et pâturage dans des troupeaux de cette taille. Tant les paramètres de nombre de traites, de productions laitières et de composition du lait ont été relevés pour permettre de quantifier l'avantage économique du pâturage. La gestion du pâturage a fait également l'objet d'un suivi. Si le nombre de traites a effectivement diminué pendant la saison de pâturage, la production laitière n'a pas été affectée et ce pour une part d'herbe pâturée de 30 à 32%. Les coûts alimentaires ont, eux, été diminués de 16 à 24% par rapport à la période hivernale.

Section Expérimentale

Section expérimentale

Etude 3 :

Is it possible for large herds to graze while keeping a high milk yield level? The experience of two Belgian dairy farms

Grassland Science in Europe, 20, 452- 454

F. Lessire, J. L. Hornick and I. Dufrasne

Abstract

Grazing is more and more abandoned because of increasing size of herds and automation of herd management (e.g. automatic milking system – AMS). In this context, this study aims to evaluate milk production and composition of 2 large Belgian dairy herds equipped with AMS during winter and summer. These herds were followed over 2 years. At grazing, 30% of the offered feed was grass. Milk production in both herds was similar in summer and winter (30.2 ± 7.14 vs 29.7 ± 7.8 in Herd 1 and 26.9 ± 0.8 vs 26.4 ± 0.8 in Herd 2) while milk composition differed. In conclusion, it is possible for grazing to be preserved even in large herds without noticeably impact on the herd performance.

Introduction

In Europe, the number of farms is decreasing while their size is generally increasing. In parallel, the working unit per exploitation has dropped, opening the way for use of new technologies allowing the farmer to manage larger herds with little labour, such as automatic milking systems (AMS). The use of AMS is considered difficult to combine with grazing. However, grazing is beneficial from several points of view, including economic aspects. The aim of this study is to assess the impact of grazing on milk performance in two Belgian dairy herds equipped with AMS and followed over 2 years.

Material and methods

Two dairy herds (H1 and H2) equipped with AMS (DeLaval for H1 and Lely for H2) were followed in 2013 and 2014. In H1, 102 Holstein dairy cows in 2013 and 124 in 2014 grazed on 35 ha pastures, divided into 10 plots from 1.4 to 7.7 ha. In H2, 122 Holstein cows in 2013 and 136 in 2014 grazed on 42 ha pastures, divided into 8 plots. Strip grazing allowed the cows to be provided with fresh grass every day.

The grazing period extended from 30 April to 31 October 2013 (184 d) in both herds and from 25 April to 31 October 2014 (192 d) for H1 and from 14 April to 15 November 2014 for H2 (216 d). The cows had access to pastures from 06:00 until 18:00 on average. Those cows that did not return voluntarily to the barn were fetched. Each received a total mixed ration (TMR) whose composition and amounts offered were recorded. Additional concentrate was given during milking in the AMS. In both herds, calvings took place throughout the year.

To estimate grass availability, grass height was measured on the pastures by using a Jenquip® rising plate meter when the cows came in and out of the parcel. The forage mass available for grazing was estimated by weighing a 10 meter-long strip of cut grass. Cut samples were analysed to determine dry matter (DM) available per ha and per cow. Production data and cow-traffic parameters were obtained from the robots while the data about milk composition were gathered from reports of milk deliveries.

Results

For H1, in 2013 the forage mass was estimated (mean \pm standard deviation) at $1,322\pm 564$ kg DM ha⁻¹ and in 2014 it was $1,660\pm 299$ kg DM ha⁻¹. For H2, in 2013 forage mass was $1,277\pm 633$ kg DM ha⁻¹, but the amount was greater in 2014 ($1,476\pm 418$ kg DM ha⁻¹). The DM ingested by the cows was estimated at 22 kg; this amount was based on winter consumption. In both herds, grass intake was calculated by subtracting DM provided by the TMR and concentrate, from 22 kg. The proportions of feeds were calculated monthly and grass intake averaged 30%.

In H1, milk yield (MY) in summer 2013 was 30.2 kg cow⁻¹ d⁻¹ with 3.67 kg cow⁻¹ d⁻¹ concentrate consumed, and in 2014 it was 29.7 kg cow⁻¹ d⁻¹ produced with an average of 3.70 kg concentrate cow⁻¹ d⁻¹. No significant difference was noted between summer and winter MY (Table 1). In H2, the MY was higher during the grazing period. The MY in 2014 was higher than in 2013, despite the increase in number of animals and the relative saturation of the robot. This yield increase was associated with an increase of nearly 2 kg concentrate in the AMS per 100 kg milk produced (0.60 kg cow⁻¹ d⁻¹). In 2013, the numbers of milkings in summer and winter were similar, whereas in 2014, milkings decreased during summer. There were fewer refusals in the summers of both years.

Table 1. Milk production (MY), days in milk (DIM), amount of concentrates given in the automatic milking system and number of milkings day⁻¹ during the winter 2014 (December – March) and the summer 2014 (May – October) in herd 1 and during summers (May – October) and winters 2013-2014 (December – March) in herd 2.¹

	Herd 1		Herd 2			
	2013-2014		2013		2014	
	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer
Nbr cows	87 \pm 11	91 \pm 11	122 \pm 4	122 \pm 4	127 \pm 7	137 \pm 3
MY (kg cow ⁻¹ .d ⁻¹)	30.2 \pm 7.2	29.7 \pm 7.8	25.9 \pm 0.7***	26.3 \pm 1.7	26.8 \pm 0.9***	27.4 \pm 0.7
DIM (d)	240 \pm 164	221 \pm 142	201 \pm 4***	211 \pm 10	185 \pm 6***	201 \pm 10
Concentrates (kg cow ⁻¹ .d ⁻¹)	3.67 \pm 1.66	3.70 \pm 0.99	2.43 \pm 0.15***	2.69 \pm 0.21	3.00 \pm 0.11***	3.30 \pm 0.18
Milkings (kg cow ⁻¹ .d ⁻¹)	2.64 \pm 0.50	2.47 \pm 0.40***	2.59 \pm 0.01	2.60 \pm 0.02	2.63 \pm 0.08***	2.54 \pm 0.06
Refusals (kg cow ⁻¹ .d ⁻¹)			1.34 \pm 0.08***	1.06 \pm 0.31	1.30 \pm 0.19***	0.90 \pm 0.10

¹ Values are means \pm standard error. Values statistically different are indicated by asterisks: * $P < 0.05$; *** $P < 0.001$.

In both herds, milk composition was modified during the grazing season (Table 2). Recorded values are in accordance with the literature (Prendiville *et al.*, 2009).

Section Expérimentale

Table 2. Milk composition: fat % (F%), protein % (P%), urea (mg l^{-1}) and somatic cell count (SCC) recorded during summer 2013-2014 (May – October) and compared with those recorded in winter 2013-2014 (from December – March) in Herd 1 and Herd 2.¹

	2013		2014	
	Winter	Summer	Winter	Summer
Herd 1				
%F	4.07±0.05***	3.89±0.15	4.05±0.07***	3.92±0.10
%P	3.41±0.04***	3.36±0.14	3.40±0.04***	3.33±0.09
Urea (mg dl^{-1})	197±47 ^{NS}	197±40	252±28***	238±39
SCC (1000 ml^{-1})	223±50***	322±70	208±38 ***	224±45
Herd 2				
%F	4.30±0.07***	4.12±0.17	4.29±0.06***	4.08±0.14
%P	3.43±0.09	3.45±0.14	3.51±0.06***	3.46±0.06
Urea (mg dl^{-1})	220±28*	234±35	245±36***	225±44
SCC (1000 ml^{-1})	190±43***	241±64	154±137***	220±98

¹ Values are means ± standard error. Statistically significant values are indicated by asterisks: * $P < 0.05$; *** $P < 0.001$, NS not significant.

Incorporation of grass in the cows' feed could be increased based on measurements of grass forage mass available for grazing. Variations in milk composition could be minimized by a better adjustment of TMR composition.

Conclusions

These results demonstrate that, in farms equipped with an AMS, grazing is possible even in large herds with high milk production levels.

Acknowledgement

This research was funded by the EU project Autograssmilk SME FP7 314879.

References

Prendiville R., Pierce K.M. and Buckley F. (2009) An evaluation of production efficiencies among lactating Holstein-Friesian, Jersey, and Jersey × Holstein-

Section expérimentale

Etude 4 :

Traite robotisée, grands troupeaux et pâturage : retour d'expérience de 2 exploitations en Belgique

Fourrages, 229, 25-28

F. Lessire, D. Knoden, I. Dufrasne

Résumé

Les 2 exploitations ont été suivies pendant 3 ans. Leurs troupeaux comportent respectivement 110 et 155 laitières à plus de 9000 et 7800 kg lait/an. Au cours de la saison de pâturage, le soir, une ration mélangée, dont la quantité distribuée est adaptée à l'offre fourragère, est distribuée pour faire rentrer les animaux à l'étable et les obliger à passer au robot de traite. De l'ensilage d'herbe est également distribué. La part d'herbe pâturée (de très bonne valeur alimentaire) représente près du tiers de la ration sans que le niveau de production laitière soit affecté mais les taux protéiques et butyreux baissent significativement. Le coût alimentaire baisse également (de 2,5 et 4€/100 kg de lait dans les 2 exploitations).

Summary

Here, we present results from 2 farms that have successfully used automatic milking (AM) systems with large herds of grass-fed cows. Data were collected for 3 years as part of the European project Autograssmilk. The farms' herds comprised 110 and 155 head of cows, and each animal produced a mean of 9,000 and 7,800 kg of milk per year, respectively. During the grazing season, a mixed ration (whose quantity was determined based on available forage) was proffered to get the cows to return to the barn, where they are milked using an AM system. Cows were also given grass silage. When cows were grazing, grass (which was of very high nutritional value on these farms) accounted for about one-third of their diet. This level of grazing did not affect milk production, but milk protein content and fat content declined significantly. Feeding costs also dropped (by 2.5 and 4 € per 100 kg of milk produced for the 2 farms).

Introduction

La technique de traite robotisée entraîne dans bon nombre de cas l'abandon du pâturage ou, du moins, une forte diminution de la part d'herbe pâturée dans la ration des vaches laitières (cf. BROCARD et al., 2017). Les résultats relevés dans 2 exploitations et ici présentés montrent qu'il est possible de concilier traite robotisée, pâturage et grands troupeaux tout en gardant de bonnes performances économiques.

Matériel et méthodes

Dans le cadre du **projet européen Autograssmilk, 2 exploitations laitières (E1 et E2) de plus de 100 vaches en traite robotisée** (2 robots par exploitation) ont été suivies de 2013 à 2015. Elles étaient situées en Ardenne et en région herbagère au sud de la Belgique à 500 m d'altitude. L'objectif de l'étude était de comparer les performances techniques et économiques des 2 troupeaux en période de pâturage et à l'étable.

Dans cette optique, les exploitations ont été visitées tous les 10 jours en moyenne pendant la période de pâturage. Au cours de ces visites, différentes données ont été collectées : la production laitière et le nombre de traites journalières par vache ont été établis sur base des rapports des robots ; la composition du lait a été suivie en se basant sur les analyses du lait du tank (tous les 3 jours). Des échantillons d'herbe ont été aussi prélevés sur les prairies pâturées et à pâturer dans les jours suivant la visite. Une analyse statistique GLM (SAS 9.3) a été effectuée afin d'étudier la variabilité de différents paramètres nutritionnels. Le modèle a étudié l'effet du mois, de l'exploitation, de l'année et l'interaction exploitation x année.

La proportion d'herbe tant pâturée que conservée a été calculée en relevant lors de ces visites les rations distribuées en complément à l'herbe pâturée au cours de la saison de pâturage. La quantité d'herbe pâturée était déduite en soustrayant de la quantité de matière sèche ingérée en hiver (soit 22 kg MS) les quantités d'aliments apportées par la ration totale mélangée (RTM) distribuée le soir. Ce calcul a été validé en confrontant les apports de cette ration (herbe pâturée + RTM) avec les besoins nutritionnels à combler pour assurer le niveau de production laitière enregistré.

Finalement, les données comptables des exploitations ont été étudiées afin de calculer le coût alimentaire par 100 kg de lait au pâturage et à l'étable. Le coût des ensilages a été évalué sur base des valeurs déterminées par l'ASBL Fourrages Mieux pour l'indemnisation des exploitations dont les cultures ont été détériorées par le gibier.

Suivant les années, les vaches bénéficiaient d'un accès à la prairie pendant une partie plus ou moins longue des mois d'avril, d'octobre et de novembre (périodes de transition). Les données relatives à l'hiver ont donc été prises en considération de décembre à mars. Les données mentionnées « été » correspondent aux mois de mai à septembre pendant lesquels la part d'herbe pâturée était conséquente. Le test statistique de t (SAS 9.3) a été utilisé pour comparer les résultats obtenus par saison.

Section Expérimentale

Les principales caractéristiques des 2 exploitations sont présentées dans le tableau 1. L'accès aux pâtures était autorisé à partir de 6 h (E1) ou 7 h (E2) mais seuls les animaux déjà passés au robot pouvaient accéder aux pâtures sur la base d'une reconnaissance au niveau de portes de tri. En pratique, tous les animaux avaient quitté l'étable pour la prairie à partir de 12 h. Lors de la journée, l'accès à l'étable et donc au robot de traite était possible. A partir de 17 h (E1) et 17 h 30 (E2), les animaux rentraient à l'étable et recevaient une ration totale mélangée. La composition de cette ration était sensiblement similaire à la ration hivernale chez E1 mais, chez E2, elle variait entre l'été et l'hiver. Dans les 2 exploitations, la variable d'ajustement était la quantité distribuée selon la disponibilité en herbe. Les animaux avaient la possibilité de pâturer pendant une période d'environ 190 jours, d'avril à début novembre, dans les 2 exploitations.

Exploitation	E1	E2
Unités de travail	1	2,5
Nombre moyen de laitières	110	155
Production moyenne (kg lait/an)	1 025 000	1 217 000
Surface pâturable totale (ha)	36	42
Nombre de parcelles et (superficie, ha)	9 (2 à 4) puis 1 (7)	22 (1,9)
Distance maximale par rapport au robot (km)	0,7	1,5
Mode de pâturage	En rotation (6h00 → 17h00)	En rotation (7h00 → 17h30)
Gestion du pâturage	2,5 jours/parcelle	Fil avant déplacé tous les jours

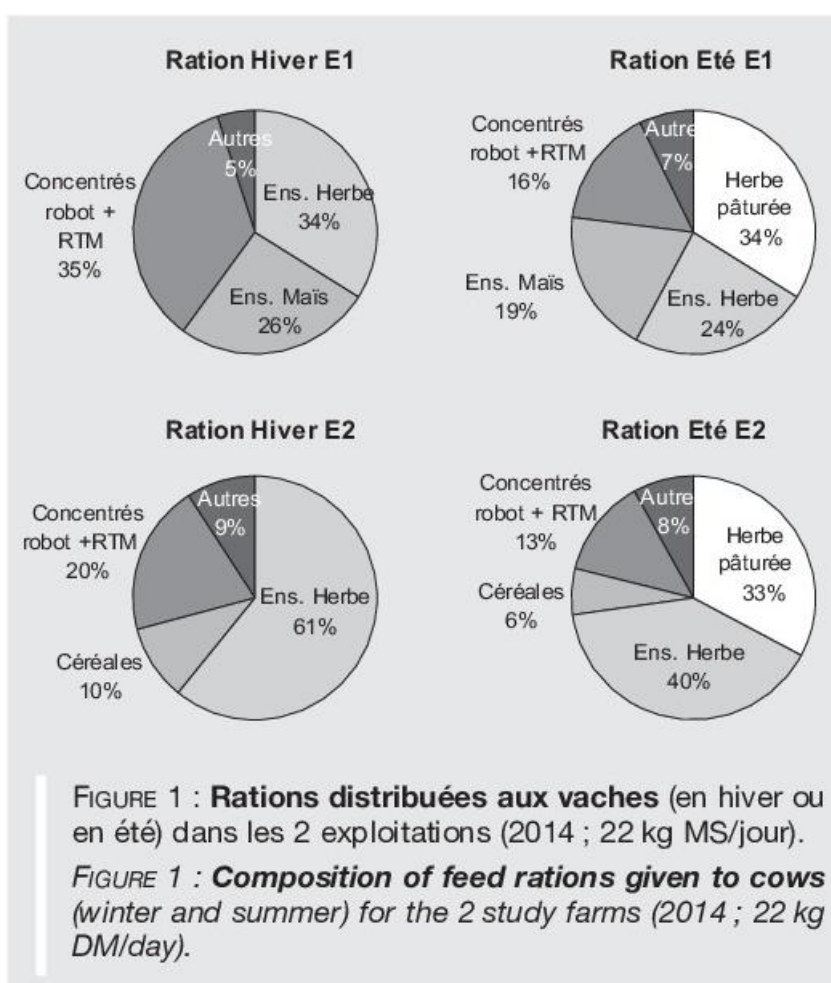
TABLEAU 1 : Présentation des 2 exploitations suivies, équipées de robots de traite.

TABLE 1 : Descriptive statistics for the 2 study farms using automatic milking systems.

Résultats

Part de l'herbe dans la ration

La part de l'herbe pâturée entre mai et septembre a représenté en moyenne 30 % de la MS ingérée par le troupeau de E1 et 33 % par le troupeau de E2. A ces proportions d'herbe fraîche venaient s'ajouter 20 % d'herbe ensilée pour E1 et 40 % pour E2. L'herbe représentait donc environ 50 % de la ration chez E1 et 73 % chez E2 (figure 1). **En période de pâturage, la quantité de concentrés distribuée au robot et dans la RTM a pu être diminuée dans les 2 exploitations.**



Section Expérimentale

Valeur alimentaire de l'herbe

La valeur alimentaire moyenne de l'herbe pâturée (tableau 2) peut être qualifiée de très bonne, avec des teneurs en matière azotée totale de 20 % et des teneurs en énergie de 1 UFL/kg MS. On ne constate aucune différence statistique entre les valeurs nutritionnelles des 2 exploitations. Les facteurs de variation les plus importants étaient le mois de prélèvement ainsi que l'année étudiée pour certains paramètres (ADF, CB et UFL). Des différences au niveau de E1 entre 2013 et 2015 ont été mises en évidence pour CB, ADF, NDF et UFL alors qu'aucune différence n'était sensible pour E2. Cette observation peut être liée au fait qu'un sursemis a été effectué dans cette exploitation sur plusieurs parcelles en 2015. Pour atténuer les variations de qualité de l'herbe, dès que l'herbe dépassait le stade fin montaison - début épiaison, elle était préférentiellement fauchée et conservée sous forme d'ensilage.

	Exploitation		Analyse statistique ⁽²⁾			
	E1	E2	Expl.	Année	Mois	Expl. x Année
MS ⁽¹⁾ (%)	18,1 ± 3,1	19,0 ± 3,0	ns	ns	***	ns
MAT (g/kgMS)	209 ± 43	209 ± 33	ns	ns	***	ns
NDF(g/kgMS)	454 ± 42	446 ± 31	ns	ns	*	ns
ADF(g/kgMS)	241 ± 22	238 ± 19	ns	**	***	ns
CB (g/kgMS)	215 ± 22	210 ± 18	ns	*	***	ns
UFL (g/kgMS)	1,01 ± 0,05	1,00 ± 0,03	ns	*	*	ns

1 : MS : matière sèche ; MAT : matière azotée totale ; NDF / ADF : neutral / acid detergent fiber ; CB : cellulose brute ; UFL : unité fourragère lait
2 : Expl.: Exploitation ; ns : non significative ; * : significative au seuil p<0,05 ; ** : significative au seuil p<0,01 ; *** : significative au seuil p<0,001

TABLEAU 2 : Valeurs alimentaires moyennes de l'herbe pâturée dans les 2 exploitations.
TABLE 2 : Mean nutritional values of grazed grass for the 2 study farms.

Résultats de production laitière

La production laitière n'a statistiquement pas varié pour E1 entre l'hiver et l'été (30 kg/VL/j vs 29) et a même légèrement augmenté en été pour E2, malgré un nombre de traites diminué dans les 2 exploitations (tableau 3). La qualité du lait est modifiée avec une diminution significative des taux protéiques et butyreux pendant la période de pâturage. Le taux moyen d'urée du lait du tank n'est pas significativement différent suivant les saisons. En été, les taux maximum d'urée observés sont de 340 mg/l en E1 et de 310 mg/l en E2, démontrant la bonne gestion des compléments protéiques en fonction des variations de la qualité de l'herbe au cours de la saison. Le pâturage a permis de réduire la quantité de concentrés distribués au robot de traite chez E1 mais pas chez E2. Toutefois, la quantité totale de concentrés (robot +RTM) est plus faible en été dans les 2 exploitations.

	Exploitation 1			Exploitation 2		
	Hiver	Eté	Valeur p	Hiver	Eté	Valeur p
Production laitière (kg/VL/j)	30,0 ± 1,1	29,0 ± 1,6	ns	26,7 ± 1,1	26,9 ± 1,6	*
Taux butyreux (%)	4,07 ± 0,06	3,90 ± 0,13	***	4,31 ± 0,09	4,08 ± 0,14	***
Taux protéique (%)	3,41 ± 0,11	3,33 ± 0,09	***	3,51 ± 0,09	3,44 ± 0,10	***
Taux d'urée (mg/l)	224 ± 44	219 ± 44	ns	218 ± 36	224 ± 39	ns
Nombre de traites/VL/j	2,6 ± 0,1	2,4 ± 0,1	***	2,6 ± 0,1	2,5 ± 0,1	***
Concentrés distribués au robot (kg/VL/j)	3,9 ± 0,5	3,5 ± 0,4	***	3,0 ± 0,4	3,1 ± 0,4	ns

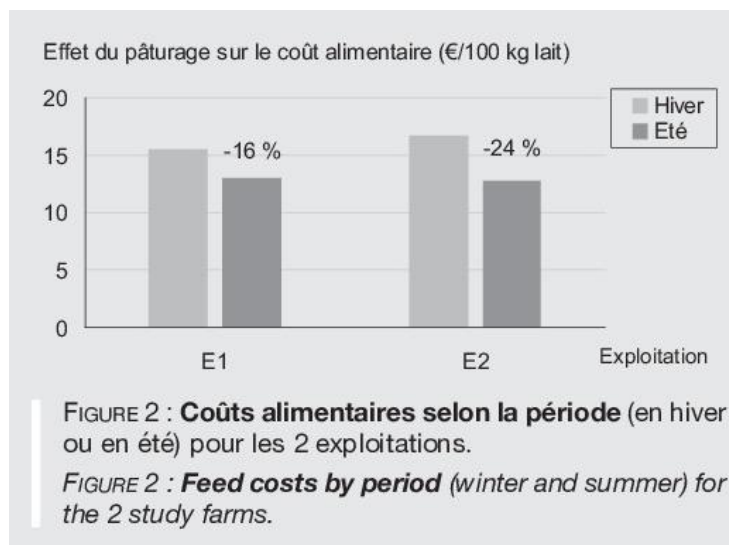
Différence ns : non significative ; * : significative p < 0,05 ; *** : hautement significative p < 0,01

TABLEAU 3 : Résultats moyens de production laitière (en hiver ou en été) pour les 2 exploitations.

TABLE 3 : Mean values for milk production parameters and milk composition (winter and summer) for the 2 study farms.

Coûts alimentaires

Grâce au pâturage, les coûts alimentaires par 100 kg de lait produit ont diminué dans les 2 troupeaux (figure 2). Ils passent de 15,5€/100 kg de lait en hiver à 13 € en été pour E1 et de 16,7 à 12,7€/100 kg de lait pour E2.



Conclusion

Les 2 troupeaux ont su préserver un haut niveau de production pendant la durée de pâturage et ce avec consommation d'une part conséquente d'herbe fraîche (environ 30 %). L'impact négatif du pâturage sur la fréquentation du robot de traite décrit dans d'autres études européennes (BROCARD et al., 2014 ; SPÖRNDLY et WREDLE, 2005) a été observé également dans cette étude mais sans effet sur la production laitière. La valorisation de l'herbe pâturée de très bonne valeur alimentaire a permis une diminution des coûts alimentaires de 16 à 24 % suivant le troupeau suivi, confirmant l'effet positif du pâturage sur les coûts alimentaires cité dans la littérature (DILLON et al., 2005)

La clé de la réussite de ces 2 élevages réside en l'adaptation de la ration distribuée à l'étable en diminuant les quantités distribuées à l'auge en période estivale, permettant à l'agriculteur de s'adapter rapidement en fonction des conditions climatiques et de ses effets sur la disponibilité et la qualité de l'herbe. Les éleveurs ont également réfléchi leur système de gestion du troupeau (barrières anti-retour et de tri, horaire de distribution de la RTM, chemin d'accès, point d'eau...) pour maximiser la circulation des animaux et donc diminuer l'effet de groupe. La traite robotisée et le pâturage sont donc bien compatibles si le parcellaire le permet. Une réflexion approfondie de l'éleveur est cependant nécessaire pour une mise en œuvre efficace.

Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BROCARD V., HUCHON J.C., GEORGEL R., FOLLET D., CARLES A. (2014) : «Pratiques et résultats de 20 élevages français conciliant la traite robotisée des vaches laitières avec un système de production pâturant», *Renc. Rech. Ruminants*, 21, 351-354.
- BROCARD V., LESSIRE F., CLOET C., HUNEAU T., DEPRES C. (2017) : «Pâture avec un robot de traite : une diversité de stratégies...», *Fourrages*, 229.
- DILLON P., ROCHE J., SHALLOO L., HORAN B. (2005) : «Optimising financial return from grazing in temperate pastures», *Proc. Satellite Workshop 20th Gen. meet. Europ. Grassl. Fed.*, ed. J.J. Murphy, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 131-147.
- SPÖRNDLY E., WREDDLE E. (2005) : «Automatic milking and grazing-Effects of location of drinking water on water intake, milk yield, and cow behavior», *J. Dairy Sci.*, 88, 1711-1722.

Section Expérimentale

Section expérimentale

Etude 5 :

Rumination time, milk yield, milking frequency of grazing dairy cows milked by a mobile automatic system during mild heat stress

Advances in animal biosciences 6(1), 12-14

Lessire F, Hornick J.L, Minet J., Dufrasne I.

Section Expérimentale

Préambule Étude 5

Dans cette étude, l'incidence des facteurs climatiques sur les performances du robot au pâturage a été investiguée. Un troupeau de 50 vaches laitières a été suivi pendant 2 périodes de stress thermique (l'une en juillet, l'autre en août) comparées à 2 périodes durant lesquelles les conditions météorologiques étaient normales. Les effets des conditions climatiques sur la production, la fréquence de traite ainsi que la rumination ont été mis en évidence. En période de stress thermique, le nombre de déplacements des animaux ainsi que le nombre de traites ont significativement augmenté. Cette observation est vraisemblablement à l'origine de l'augmentation de production laitière enregistrée en période de fortes chaleurs. L'accroissement des déplacements des animaux est sans doute lié à la présence d'un abreuvoir dans l'aire d'attente autour du robot. Par contre, le temps de rumination a été fortement impacté par les conditions de stress thermique vécues par les animaux.

Abstract

Grazing dairy cows milked by an automatic system (AS) experienced mild heat stress (HS) periods, twice during the summer. The daily temperature humidity index (THI) during these periods were higher than 72. Milk production, as well as milking frequency, rumination time and milk fat to protein ratio (F/P) during these periods were compared to adjacent periods with mean THI of 61. The daily milking frequency, the total number of visits to AS and the milk production were significantly higher in HS periods (2.12 vs 1.97, 2.99 vs 2.69, and 19.7 vs 18.5 kg milk per cow, respectively). There were significant interactions between times and periods for milking frequency and number of visits, while the daily rumination time was significantly lower (339 vs 419 min) and the F/P in milk tended to be decreased (1.17 vs 1.23). These results could be explained by changes in cow behaviour during HS periods.

Introduction

Cows milked by automatic systems (AS) are most often confined indoors or have access to pasture only during the day in summer. However, grazing allows decreasing feeding costs and improves animal health and welfare. A mobile AS, as described by Dufrasne et al (2010), allowing grazing of dairy cows in fragmented areas is thus advantageous for animals. At grazing, the cows can move more largely than at barn and are submitted to environmental conditions. During heat stress periods, it is known that feed intake can be reduced especially with temperature above 25 or 26°C (Rhoads et al, 2013). Little information exists on effects of heat stress on grazing dairy cows milked by an AS. The aim of this study was to determine the effects of heat stress periods on the milk yield, milking frequency, fat to protein ratio in milk (F/P) and rumination time (RT) of grazing dairy cows milked by an AS located on pasture.

Materials and method

This study was held at the Experimental Farm of University of Liège (Belgium). A herd of about 50 dairy cows grazed on 18 ha of permanent pastures and was milked by an AS Lely A3 next®. The grazing period began on April and ended on October. The cows grazed in a strip grazing and two allocations per day were provided. The gate of the AS was manually changed twice per day, at 6:00 AM and 16:00 PM, to guide the cows onto the next allocation. The cows had to pass in the AS to benefit the new allocation. In practice, they were fetched for the morning milking, allowing a daily survey of the animals by the herdsman. They came freely access to the AS when the gate was changed at the afternoon. Furthermore, they had free access to the AS at day and night. The temperature humidity indexes (THI) were calculated according to Ingraham et al (1979) and were used to define, post hoc, mild heat stress periods (HS) according to Armstrong (1994). Consequently, a period of 4 and 7 consecutive days were identified in July (J) and in August (A), respectively. These periods were characterized by a THI >72 during the day and 23.1°C mean temperature. These 2 heat stress periods were compared to corresponding normal periods chosen close before and after the period of heat stress - less than 9 days - for their similarity regarding to the distance from the AMS and the availability in water in the grazed paddock. During normal periods, maximum THI was < 68 and mean temperature 16.3°C. Water was always available near the AS in a tin (1000 liters) and available in some grazed paddocks in individual bowl. Only animals present from the beginning till the end of these periods were taken into account. The total number of lactating cows was 45 in J and 47 in A. The lactation number and days in milk during the normal and HS periods were similar (Table 1). The pastures were composed mainly by perennial ryegrass and white clover. The grass heights were measured by a INRA rise plate meter at each entry and exit in the paddocks. Grass yield was measured with a mower, cutting strips of 10 meters long. Grass was sampled at each entry in order to determine chemical composition. Each cow received an amount of concentrate determined with respect to lactation stage. The cows were equipped with a HR-Tag neck collar recording rumination parameters and cow activity (SCR, Israel). The temperature, THI, distance from the paddock to the AMS, days in milk and lactation number were analysed according to a GLM by using THI conditions (normal and HS) and periods (J and A), Data electronically captured by the AS, i.e., milk production, milking frequency, milking visits (result of the sum of milkings, failed and refused milkings), F/P and RT (991 data) were analysed according a mixed model (SAS, 1999) including THI conditions, periods, lactation number, stages of lactation as fixed effects, and allowing an type 1 autoregressive covariance structure for measurements performed on each animal within THI conditions and periods.

Table1. Some environmental and animal characteristics during periods of normal and heat stress conditions in lactating cows at pasture (mean and standard deviation).

	Temperature (°C)	THI	Distance (m)	Days in milk	Lactation number
Normal	16.3±0.9	60.8± 1.4	190.5 ±79.1	183.5± 89.4	2.83± 1.78
Heat stress	23.1± 2.3	70.5± 2.9	187.8 ±40.6	182.9± 89.5	2.84 ±1.77
P value	<0.0001	<0.0001	NS	NS	NS

Results and discussion

THI and temperature were significantly different and there was no interaction between THI conditions and periods for environmental parameters (Table 1). The grass composition in crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, water soluble carbohydrate (% in DM) and grass digestibility (%) were 16.3, 47.8, 27.3 and 79.7 in J and 19.2, 49.6, 26.2 and 80.6 in A. The grass heights were 10.1 and 8.5 cm at entry and 3.1 and 3.1 cm at the exit, respectively in J and A respectively. The grass yield was 1509 and 1437 kg DM ha⁻¹ in J and A respectively, the calculated sward availability was 14 kg DM per day and per cow. On average, the cows received 1.9 kg and 2.0 kg concentrate per day during normal and HS periods. Milking frequency and visits were significantly higher in HS (Table 2). There were significant interactions between THI conditions and periods, the longest periods in A showing no difference between N and HS (1.90 vs 1.98 milking per day and 2.67 vs 2.51 milking visits respectively). The higher milk production in HS periods can be explained by the increased milking frequency. The cows were attracted to the AS to drink water in big bin located near the AS during HS periods (unpublished observations). These observations did not confirm Spörndly and Wredle (2005) who reported no significant difference in milk yield, milking frequency or water intake between a group of cows with unlimited water access and a group with access to water only in the barn. In the present study, with an increase in THI, this behaviour probably increased the number of milking visits and milking frequency. The daily RT was considerably decreased in HS. A reduction of the RT in cows suffering from mild to moderate heat stress in barn was reported by Soriani et al (2013). Decrease in RT is often associated to a reduction in dry matter intake. It seems that with in the conditions of this trial, it was not observed since the milk yield in HS cows was not reduced and was even increased. F/P tended to be lower in HS. This can be related to a diminution in pH rumen explained by a saliva production decrease resulting from RT reduction. Such a decrease in ruminal pH when environmental temperature was increased was also described by Mishra et al (1970).

Table 2. Daily parameters recorded in cows exposed to normal and mild heat stress at pasture (mean and standard error).

	Milking frequency	Milking visit	Milk prod. (kg day ⁻¹)	Rumination (min day ⁻¹)	Milk F/P
Normal	1.97±0.04	2.69±0.09	18.5±0.3	418.9± 8.7	1.23± 0.01
Heat stress	2.12± 0.04	2.99±0.09	19.7±0.4	339.2± 9.5	1.17 ±0.01
P value	<0.01	<0.05	<0.01	<0.0001	<0.10

Conclusion

It appears from these results that rumination, milking frequency and milk performance of cows milked by an automatic system are affected by a mild heat stress at pasture. More studies are needed to study the impact of the length of HS on these parameters.

References

DufRASNE, I., Robaye, V., Knapp, E., Istasse, L., Hornick J.L., Effects of environmental factors on yields and milking number in dairy cows milked by an automatic system located in pasture. *Grassland Science in Europe*, Vol. 17 p. 231-233

Ingraham, R. H., R.W. Stanley, W. C. Wagner. 1979. Seasonal effects of tropical climate on shaded and non shaded cows as measured by rectal temperature, adrenal cortex hormones, thyroid hormone, and milk production. *Am. J. Vet. Res.*, 40:1792–1797.

Mishra M., Martz F.A., Stanley R.W., Johnson H.D., Campbell J.R., Hildebrand E., 1970. Effect of diet and ambient temperature-humidity and ruminal pH, oxidation –reduction potential, ammonia and lactic acid in lactating cows. *J. Anim. Sci* 31:1023-1028.

Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., Suagee, J.K., & Sanders, S.R. ,(2013). Nutritional Interventions to Alleviate the Negative Consequences of Heat Stress. *Adv.Nutr.* 4(3): 267-276.

Soriani N., Panella G., and Calamari L., 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *J. Dairy Sci* , 96 :5082–5094

Sporndly, E., and E. Wredle. 2005. Automatic milking and grazing—Effects of location of drinking water on water intake, milk yield and cow behavior. *J. Dairy Sci.* 88:1711–1722.

Section expérimentale

Etude 6 :

Systematic review and meta-analysis: Identification of factors influencing milking frequency of cows in automatic milking systems combined with grazing

Under revisions - Animals

F. Lessire, N. Moula, J.L Hornick and I. Dufrasne

Préambule Étude 6

Cette dernière étude est focalisée sur la « combinaison robot et pâturage » du point de vue de la FT. Les différentes parties de cette thèse ont, en effet, mis en évidence que ce paramètre est un élément clé de succès.

Une revue bibliographique systématique a donc été entreprise en utilisant les mots clé « robot » « pâturage » et « fréquence de traite » ainsi que toutes les variations de syntaxe autour de ce thème.

Il nous a paru essentiel, en première intention, d'entreprendre une analyse en composante principale qui nous a permis de distinguer 4 groupes différenciés sur base de la FT allant de moins de 2 traites à 2,7 traites par jour. Les groupes ont été décrits et certains facteurs discriminants et identifiés suivant la littérature comme impactant la FT ont été comparés par la technique des pair-wise comparisons. Ces facteurs sont : la complémentation en concentrés, l'effet du stade de lactation, de la permission de traite et de l'allocation en herbe pâturée. Le principe est d'étudier l'influence d'un niveau haut vs bas du paramètre étudié sur la FT. Par exemple, au travers des études sélectionnées, nous avons collecté les effets sur la FT d'un niveau haut (4kg/vache/j) et d'un niveau bas de distribution de concentrés (2kg/vache/j). Des graphes de type « forest plot » nous ont permis d'évaluer l'hétérogénéité des résultats. En cas d'hétérogénéité, des sous-groupes étaient constitués afin d'expliquer les disparités observées.

Finalement, nous nous sommes posé la question de la pertinence du paramètre « FT » comme indicateur des performances du robot. De fait, l'analyse a permis de clarifier que ce facteur avait un effet sur la production laitière. Plus les nombre de traites par vache et par jour augmente, plus la production laitière augmente, cet effet étant très marqué surtout en début de lactation. Concernant l'impact de la distribution de concentrés, l'effet est limité et lié à des facteurs tels que la permission de traite et le stade de lactation.

Abstract

More and more dairy farms – up to more than one in four in some countries - are equipped with automatic milking systems (**AMS**) worldwide. Because of the positive impacts of grazing, e.g, on animal welfare or on production costs, numerous researchers have published papers on the combination of AMS with grazing. Yet, pasture-based AMS usually cause a reduction in milking frequency (**MF**). The objectives of this meta-analysis were to review publications on the impacts of pasture-based AMS on MF and mitigation strategies. First, data from 43 selected studies was gathered in a dataset including 14 parameters, and on which a Principal Component Analysis (**PCA**) was performed, leading to the description of four clusters summarizing different management practices. Multiple pairwise comparisons were performed to determine the relationship between the highlighted parameters of MF on milk yield (**MY**). From these different analyses, the relationship between MF and MY was confirmed, the systems i.e Clusters 1 and 2, that experienced the lowest MF also demonstrated the lowest MY/cow per day. In these clusters, grazed grass was an essential component of cows' diet and low feeding costs compensated MY reduction. The management options described in Clusters 3 and 4 allowed to maintain MF and MY by complementing the cows' diet with concentrates supplied at the AMS feeding bin or provided at barn. The chosen management options were closely linked to the geographical origin of the papers indicating that other factors (e.g climatic conditions or available grasslands) could be decisional key points for AMS management strategies.

Introduction

The expansion of robotic milking is exponential. Around 25,000 automatic milking systems (AMS) were installed worldwide from 2011 to 2014 (International Federation of robotics, 2017). In Europe, this trend is even more marked: following Barkema et al. (2015), about 25% of dairy farms in Denmark and about 20% in Sweden were equipped with a robot in 2014. However, the automation of milking is too often linked to a decrease in grazing practices (Van Dooren et al., 2004; Brocard et al., 2014) although grazing offers many advantages, including improving animal welfare (Charlton and Rutter., 2017), decreasing feeding costs (Dillon et al., 2005; Lessire et al., 2017,) and is beneficial in some ways for the environment. It also has a good image for the consumers (de Olde et al., 2016). Many publications demonstrated that combining robotic milking and grazing was possible by using strategies defined on a scale from maximum grass use to maximum milk yield. Different layouts can be adapted to find a compromise between these 2 options. Pasture-based automatic milking systems installed on pastures with free access to paddocks 24h/day allow to maximize the use of grass. These systems rely almost exclusively on grass. Conversely, AMS within the barn could be designed to warrant cows' access – under direction or not to the pasture for a variable time depending on the system. In this case, grazed grass is considered a complement of the partial mixed ration (PMR) given at barn that allows to keep a high milk yield level. Whatever the developed strategies, the reviewed literature considers that traffic to the robot is an important parameter to evaluate the productivity of the system. Actually, several authors report that AMS associated with grazing reduces milking frequencies (**MF: number of milkings/cow per day**), while this effect is restricted with indoor robots (Jacobs and Siegford, 2012; Lyons et al., 2014). In this context, the objective of this study was to identify the different factors influencing MF in pasture-based AMS. Then, a meta-analytic approach was conducted in 2 steps: the first aim was to characterise the different systems described by the literature through principal component analysis (PCA). The description of different management strategies allows us to estimate the feeding costs of each cluster and to assess whether the decrease in these costs, at cow level, could compensate lower income due to weaker milk production. In the second step, based on PCA results, a pairwise comparison was conducted to identify the factors influencing MF. Finally, the relationship between MF and milk yield (MY) was evaluated. The pertinence of using MF as proxy indicator of the productivity and consequently of the profitability was thus questioned.

Material and methods

Literature Search and Strategy

The systematic review was conducted following the Prisma statement (Moher et al., 2009). The literature search started in July 2018 with the use of different databases: Scopus, Science Direct and MedLine using the MeSH keywords. It ended in December 2018. The following terms selected on basis PICOS statement were combined: automat* milking system OR robot*, cattle, pastur* OR grazing, milk* frequency OR interval and traffic OR voluntary. They had to be included in the title, keywords or abstract. Thereafter, we checked the references of the selected reviews to verify whether they could be possibly included in this systematic review. Two reviewers examined the papers using a standardized procedure including selection criteria discussed between them prior to the articles' inclusion. Conflicts were submitted for advice to a third reviewer. After this step, 71 articles and reviews were kept for further analysis.

Eligibility Criteria

The following criteria determined the inclusion after the first screening:

Only papers written in English or French were accepted. Other languages were excluded.

The papers had to have been published between 2000 and 2018. Studies, reviews and conference papers were included but not books. We made the choice to exclude rotary milking systems (RMS). Actually, concentrates are not delivered in the feeding bin of the RMS but in feeding stalls installed outside of the platform and therefore could influence traffic of cows to the AMS. A second evaluation was then conducted following these conditions of acceptance: the study had to mention the effect of AMS with access to grass on MF or milking interval, quantitative information on MF has to be delivered in the paper and when missing information, authors were contacted and invited to complete it. After the second screening, 43 papers on 71 were selected.

Descriptive Synthesis

The geographical area from the 43 studies was marked and could be divided into quarters: the first quarter consisted of Australian studies (27%) describing mixed systems combining forages and grazed grass allocation on pasture-based robots, the second consisted of studies performed in New Zealand and Ireland, respectively 16 and 11% where grass is a major constituent of cows' rations, a quarter of Belgian and American papers (13% and 11% respectively) with limited grazing season and finally the last one included studies from France and Northern European countries with restricted daily access to pastures. The geographical origin of data from reviews was not taken into consideration in these results.

The kind of publications was also analysed: proceedings (15) and research papers (20) constituted the main part of the included papers. They were completed by three short communications and 5 reviews. These reviews were checked to assess that all the papers they referred to were included in the evaluation process. Only results from the referred papers were included in the datasets.

Only 2 papers concerned organic farming (Oudshoorn et al. 2012; Cloet et al., 2017). Some proceedings publications include the description of systems developed in experimental farms, for example in Derval or Trevarez in France, DairyNZ Greenfield farm in New Zealand, Camden in Australia or W.K Kellog Biological station in USA. Such publications aim to give an overview of their practices and outcomes with, sometimes, incomplete statistics indicators (standard deviation or **SD**, standard error or **SE**, *P*). However, the provided data based on several years of observations seemed of huge interest. We therefore agreed to include it in the first dataset. The second dataset only took studies with indicators allowing the results to be objectively weighted into consideration.

The factors that influenced MF were listed in the included studies and classified as suggested by Lessire et al. (2013) in 2 categories: parameters that are manageable and parameters that are non-manageable by the farmer. The farmer can solve the manageable issues by adapting the robot management (**RM**): e.g the parameters of the robot (minimum milking interval (h) - **MMI**, number of cows per robot (**n** cows), concentrate supply (**CS**) in the robot's feeding bin and feed supplementation at barn) or the grazing management (**GM**), e.g pasture dry matter intake (kgDM) - **PDMI**, pasture allocation, sward height, stocking rate, water availability and distance to the robot). The factors linked to the animal (hierarchy, social behaviour, stage of lactation, parity, breed, health condition) can be manageable to some extent and so were considered as manageable (Herd management: **HM**). Finally, climate conditions were pointed out as the sole non-manageable conditions. In Table 1, we present a summary of the reviews selected in this study. In Table 2, we give an overview of all the included papers classified as defined before and a categorical description of the studied parameter on MF (reported increasing or lowering effect).

Table 1. Reviews included in the systematic review

Category of parameters	First author	Year of publication	Objective of the study	Reviewed factors	Geographical area of studies
M	Brocard et al.	2017	Compilation of results EU project	Effect of MMI Effect of concentrate allocation	France Ireland Belgium Sweden
M - NM	Jacobs and Siegford	2012	Review General impact of AMS	Behaviour, Health, welfare AMS indoors-outdoors Pasture-based robot	Review NL –Sweden NZ- Australia
M	John et al.	2016	Review Optimising MF	Indoors/Outdoors 7 papers = pasture based	Australia Israel NL NZ
M	Kristensen et al.	2005	Review	Grassland management New technologies	DK Sweden NL
M	Lyons et al.	2014	Review	Optimizing MF of AMS combined with grazing Few hours Day Night and day	Australia NZ NL Sweden

Abbreviations: M: manageable; NM: non-manageable; AMS: automatic milking system; MF: milking frequency (milking/cow per day); MMI: minimum milking interval (h).

Table 2. Classification of the selected research papers on basis of the effect of the studied factors on milking frequency

Manageable /non manageable	Type of manageable factor	Description of factor	First author	Year of publication	Studied factor		Type of publication	
					Objectives of the study	Factor improving MF		
M	RM	Robot management	Davis et al.	2008	Influence of washing time	No effect	Research	
M			Davis et al.	2005	Ways to improve efficiency	Decreased failed milking	Research	
M			Munksgaard and Søndergaard	2004	Managing practices	Forced vs Free : no effect	Field reporting	
M	RM	Milking permission	Wildridge et al.	2018 _b	Fetching at night	Fetching 23h – 1h	7d before	Research
M			Foley et al.	2015 _a	Milking permission	8h	12h	Proceedings
M			Jago et al.	2004	Milking permission	6h MMI	12h MMI	Proceedings
M	RM	Concentrate allocation at the AMS	Foley et al.	2015 _b	Milking permission	8h	12h	Research
M					Concentrate	3 kg	0.84	
M			Lessire et al.	2017 _a	Milking frequency	6.1 kg	4 kg = 2 kg	Research
M			John et al.	2019 _b			4.9 kg	Research
M			Shortall et al.	2018 _a	Concentrate X SOL	Early lactation: 2.32 kg	4.36 kg	Research
M	RM	Concentrate allocation at the AMS X Milking permission	Foley et al.	2015 _b	Milking permission + Concentrate	Late lactation: 0.42 kg	2.42 kg	Research
M			Jago et al.	2007	Milking permission	8h	12h	Proceedings
M					Concentrate allocation	3 kg	0.84 kg	
M			Jago et al.	2007	Milking permission	6h	8h	Research
M					Concentrate allocation	0 kg = 1 kg		
M			Brocard et al.	2017	Milking permission X concentrate	4h	6h	Research
M	RM	Complementation at barn	Spöndly and Wredle	2004	Distance	Dist 260 m + grass silage:	no effect vs	Research
M			Lyons et al.	2013 _b	Complementation	Dist –no silage	Post	Pre
M					Complementation			
M	GM	Pasture allocation	Lessire et al.	2015 _a	Large herds	Grazing + PMR		Proceedings
M			Lessire et al.	2017 _b	Large herds	Grazing + PMR		
M			John et al.	2013	Pasture management	A < B & C	A > B & C	Field reporting
M			Lyons et al.	2013 _c	Pasture allocation	ABC	AB	Research
M			Jago et al.	2004	Pasture allocation	ABC	AB	Research
M	GM	Pasture dry matter intake	Cloet et al.	2018	Pasture allocation	AB	ABC	Proceedings
M			Davis et al.	2006	PDMI	Low pasture allowance		
M			Jago et al.	2010	Comparison 2 systems	Grass + conc (up 3.7 kg)	Grass + 0.5 kg conc	Proceedings
M	GM	Pasture access	Huneau et al.	2013	Access to pastures			Field reporting
M			Utsumi	2011	Grass allocation	0h grazing		12 h
M	GM	Sward height	Van Dooren	2004	Grass allocation	Day time grazing		Research
M			Ketelaar et al.	2000	Sward height	7.4 cm		11.4 cm
M	GM	Distance to the AMS	Dufasne et al.	2012	Distance	3.2 cm	10.2 cm	Research
M	GM		Ketelaar et al.	2000	Sward height	No effect	146 m to 360 m	Research
M			Spöndly and Wredle	2004	Distance	Dist = 50 m	Dist = 260 m	Research
M	GM	Stocking rate	Dufasne et al.	2012	Distance	No effect	100 to 425 m	Research
M			Nieman et al.	2015	Stocking rate	No effect		
M	GM	Water allocation	Spöndly and Wredle	2005	Water allocation	No effect of water for distance = 300m		Research
M	HM	Breed	Clark et al.	2014 _b	Breed effect	No effect		Research
M	HM		Nieman et al.	2015	Genetic	Ho		Research
M	HM		Shortall et al.	2018 _a	Breed	No effect of breed		Research
M	HM	Stage of lactation	Jago et al.	2006	Stage of lactation	19 d	266 d	Proceedings
M			John et al.	2019	Milking frequency	6.1 kg conc	4.9 kg conc	
M	HM +RM		Lyons et al.	2013 _b	Pre vs post supplementation	DIM 78.8d	DIM 104d	
M	HM +RM		Shortall et al.	2018 _b	Concentrate X SOL	No effect EL < 100d – Mid: 100-200d – late >200d		Research
M	HM		Elischer et al.	2015	Oxidative stress	19 ± 9 d	208 ± 9 d	Research
M						DIM 21	DIM 1	
M						DIM 7=DIM 14		
M	HM	Parity	Elischer et al.	2015	Oxidative stress	No effect	Primi vs Multi	Research
NM	X	Dominance	Jago et al.	2003	Dominance	High D	LD	Research
NM	X	Rumination	Watt et al.	2015	Rumination	HR	LR	Research
NM	X	Climate	Wildridge et al.	2018 _a	THI		THI>68 d-1 d-2	Research
NM	X	conditions	Lessire et al.	2015 _b	THI	Heat stress (THI = 70,5)	N (THI<68)	Research

Abbreviations: M: manageable; NM: non-manageable; RM: robot management; GM: grazing management; HM: herd management; MF: milking frequency (milking/cow per day); MMI: minimum milking interval (h); PMR: partial mixed ration (kgDM); THI: temperature humidity index; HR: high ruminating cows; LR: low ruminating cows; HD: high dominance; LD: low dominance; d: days; DIM: days in milk (day); SOL: stage of lactation; ERL: early lactation; conc: concentrate supply (kg/cow per day); dist: distance (m); Ho: Holstein; X: crossed; Norw: Norwegian; Primi: primiparous; Multi: multiparous; PDMI: pasture dry matter intake (kg DM).

Meta-Analysis

The 43 studies were classified on the basis of the highlighted factors. A first dataset only involving studies that provide precise information about PDMI compiled data on 14 parameters, 10 quantitative and 4 categorical ones. Four parameters were directly related to RM: number of cows per AMS, CS, minimum milking interval (i.e the minimum time elapsed between 2 milkings for a new access – **MMI**) and the supply of eventual complements. Three parameters of GM were recorded: maximum distance between the robot and pastures, stocking rate and PDMI. Milk yield and MF gave an overview of robot performance. The duration of the study was indicated. The categorical parameters were the type of grazing management (rotational, rotational simplified and strip grazing), the pasture allocation (A, AB, ABC with respective access to one block of pastures per day, day and night access to different blocks and finally access to 3 blocks per day, the type of complement (no complement, forages, PMR). Geographical origin was noted. When needed, we converted data to use the same unit (e.g milk yield converted from litres to kilos). In some cases, the cows' diet was composed of grazed grass, concentrate and supplement but did not mention pasture dry matter intake. In this particular context, the daily dry matter intake (**DMI**) was estimated following the equation developed by the National Research Council (NRC, 2001). Thus, PDMI was calculated by subtracting the amount of concentrates and complement from this value. We deducted some missing data about the farm layout from the previous studies based on the same institution: e.g the area and the pasture allocation were considered as the same in the different studies conducted at the same time (e.g data from the experimental station in Camden in New South Wales (Australia)). To supplement missing data, we requested help from authors but some figures had to be identified as **NA** (not available). Non-available data was mainly linked to MMI (13 NA/54) and to the amount of complement (8/54), concentrate (5/54) and grass (5/54) in the diet of the animals.

Impact of Developed Strategies on Feeding Costs

To evaluate the strategies developed in the 4 clusters from an economic point of view and to calculate the feeding costs, we introduced the following prices of feedstuffs based on their application in the country where the management described by the Cluster was the most represented. For Cluster 1, we applied feeding costs used in several studies (Finneran et al., 2010; Ruelle et al., 2018) i.e. production cost of grazed grass evaluated at 0.08 €/kg DM and concentrate price at 0.250 €. For Clusters 2 and 3, we chose Belgium as a reference: production cost of grazed grass was evaluated at 0.08 €/kg DM, price for purchase of concentrate (16% CP- crude protein) and PMR at 0.285 €/kg DM and 0.221 €/kg DM respectively (Lessire and Dufrasne, 2019). The calculation of feeding costs in Cluster 4 was made based on PMR and concentrates feeding prices from the United States published by Gillespie (2019) and Saint Pierre (2019) with the production cost of grazed grass evaluated at 0.07 €/kg DM, price for purchased concentrate (16% CP- crude protein) and PMR at 0.285 €/kg DM and 0.275 €/kg DM respectively.

Statistical Analysis

Statistical analyses of the dataset were performed using different software: the software R (R-core Team 2016), SAS (9.3) and Revman5.3 (Higgins and Green, 2011). Descriptive analyses were at first done and then completed by an analysis in Multivariate **PCA** using the package FactorMine R functions PCA. The hierarchical classification (**HC**) (proc CLUSTER) using Wald's algorithm was then performed to achieve the determination of groups with common characteristics. A **GLM** (*Generalized Linear Model*) procedure was used to investigate which continuous factors were significantly different from one cluster to the other. Proc Freq procedure was used to determine the impact of categorical factors. Significance was assessed by the method of χ^2 of Mantel-Haenszel.

This first evaluation allowed to investigate the relationship between MF and the 14 identified parameters. Correlation coefficients between MF and the different parameters were calculated. Factors influencing MF (concentrate and pasture allocation, stage of lactation, MMI) and included in the clusters' description were further analysed by multiple pairwise comparisons using RevMan5.3. At this stage, only studies mentioning SD, SE, **SED** (standard error of the difference) or **SEM** (standard error of the mean) were included. The means and SD of each study were introduced and weighted. The mean difference and the standard error of the difference between 2 outcomes were calculated for each study. Forest plots allowed visual assessment of heterogeneity. Statistical tests were used to objectivise it. The χ^2 test was used and the null hypothesis (homogeneity of outcomes) was rejected at P -value < 0.05 . The inconsistency between studies was measured by I^2 determined by the ratio of $(\chi^2 - df)$ on χ^2 . Below 50%, heterogeneity was considered as low, over this value, as high. At high heterogeneity, we used random effect model to take into consideration the variability of settings between studies (Petitti, 2001; Huedo-Medina et al., 2006). Subgroups were constituted to identify factors leading to heterogeneity. A test for overall effect was estimated by z-test and its P -value (Higgins and Green, 2011).

Results

Analysis in Principal Component

The Table 3 presents the results of the descriptive statistical analysis of the quantitative variables. Fourteen variables were analysed by PCA

Table 3. Values of the different parameters per cluster (Values are LSmeans \pm SE). Values statistically different within columns are noted by different superscript. The *P*-value of the each tested parameter is indicated as is the R^2 -value

	Studied parameter				<i>P</i> -value	R^2
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4		
n cows per milking unit	75.1 \pm 2 ^a	51.3 \pm 1.8 ^b	67.1 \pm 2.2 ^c	48.5 \pm 2.7 ^b	<0.0001	0.69
Minimum Milking Interval (h)	11.0 \pm 0.6 ^a	6.3 \pm 0.6 ^b	6.9 \pm 0.7 ^b	7.8 \pm 0.8 ^b	<0.0001	0.47
Concentrate (kg/cow per day)	1.92 \pm 0.35 ^a	2.61 \pm 0.32 ^a	4.00 \pm 0.38 ^b	6.56 \pm 0.42 ^c	<0.0001	0.64
Complementation (kgDM/cow per day)	0.0 \pm 0.7 ^a	0.4 \pm 0.7 ^a	7.5 \pm 0.8 ^b	8.4 \pm 1.4 ^b	<0.0001	0.64
Milk yield (kg/cow per day)	16.8 \pm 1.0 ^a	20.4 \pm 0.9 ^b	27.0 \pm 1.1 ^c	28.9 \pm 1.2 ^c	<0.0001	0.64
Milking frequency (milking/cow per day)	1.50 \pm 0.08 ^a	2.09 \pm 0.07 ^b	2.22 \pm 0.08 ^b	2.63 \pm 0.09 ^c	<0.0001	0.66
Grass allocation (kgDM/cow per day)	17.4 \pm 0.8 ^a	16.1 \pm 0.7 ^a	8.5 \pm 0.9 ^b	9.1 \pm 1.4 ^b	<0.0001	0.62
Stocking rate (n cows/ha)	3.07 \pm 0.13 ^a	2.16 \pm 0.12 ^b	2.92 \pm 0.14 ^a	2.01 \pm 0.17 ^b	<0.0001	0.47
Distance to the milking unit (m)	627 \pm 35 ^a	675 \pm 30 ^a	836 \pm 38 ^b	346 \pm 44 ^c	<0.0001	0.62
Duration experiment (days)	103 \pm 31 ^a	79 \pm 28 ^a	174 \pm 34 ^a	77 \pm 39 ^a	0.10	0.15

Study of the Outliers. As shown on Figure 1, all the studies were grouped except for one from NZ (ID: 31 - Cluster 1) and one from the USA (ID: 43 - Cluster 4).

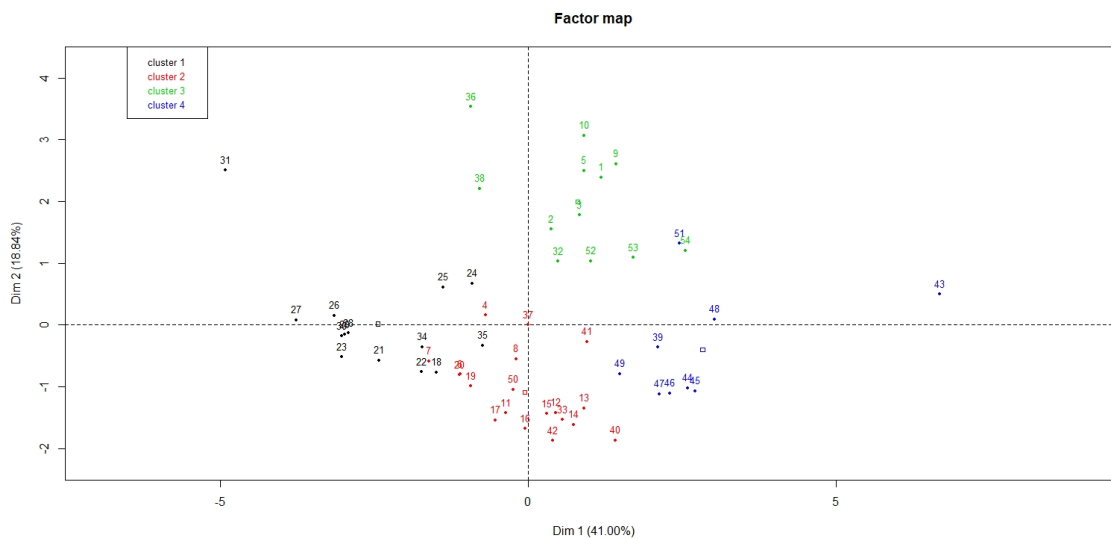


Figure 1. Graphic representation of clusters on axis 1 and 2, the numbers correspond to paper's identifiers

Inertia Analysis. Axis 1 represented 41% of the total variation, axis 2, 18.8% (Figure 1). Finally, axis 3 achieved 13.1% (Figure 2). Thus 72.9% of the variation could be explained by the circle of correlation (Figure 3) between variables studied and axes. Other axes' participation was less significant and added only minor indications. The Hierarchical Cluster Analysis (HCA) of the studied articles defined 4 clusters.

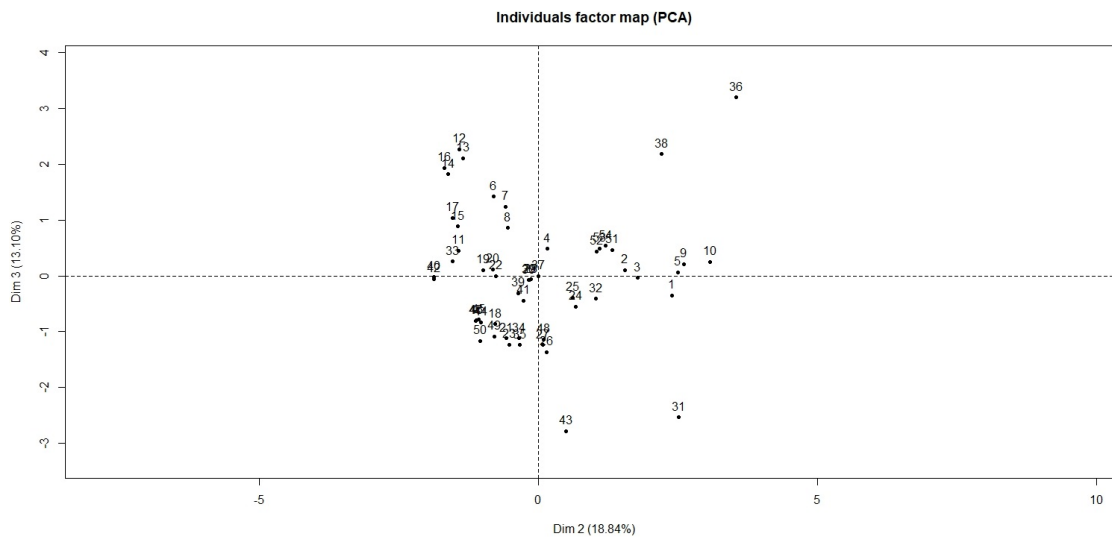


Figure 2. Graphic representation of clusters on axis 2 and 3, the numbers correspond to paper's identifiers

Correlation Circle Representation. The correlations of the quantitative variables with the first and second axes are shown in Figure 3.

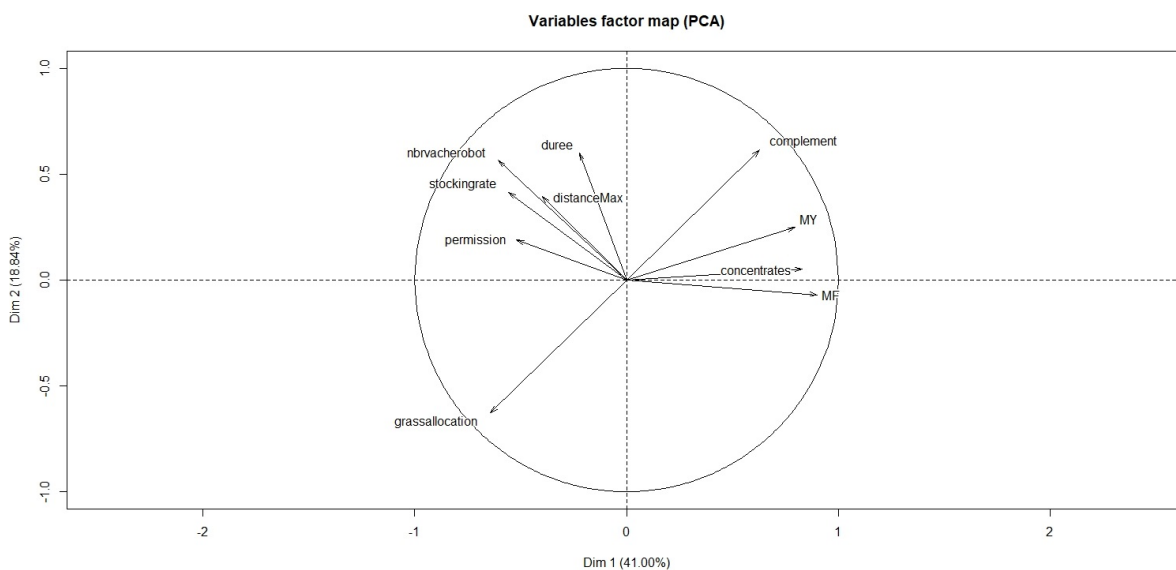


Figure 3. Projection and contribution of variables defining the clusters on the axes 1 and 2.

Results indicated a positive correlation of MF, CS and MY with Axis 1 (correlation values = 0.90, 0.83 and 0.79 respectively). A negative correlation with this axis was observed for the number of cows per AMS (-0.60), PDMI (-0.65) and stocking rate (-0.56). We can thus consider that this first axis characterized intensive systems with high production levels. Positive correlations with axis 2 were reported for complement (0.60), trial duration (0.60) and number of cows per AMS (0.57) while negative values were allocated to PDMI (-0.62). This axis could describe mixed systems relying more on complement allocation than on grass. The third axis was mainly correlated with maximum distance to the robot (0.723) and negatively with MMI (-0.656), both factors being manageable factors (RM and GM).

Impact of Developed Strategies on Feeding Costs. The strategies developed in the 4 clusters were evaluated from an economic point of view. By using economic data described in the Material and Methods, the feeding cost/kg milk were estimated at 0.11 €, 0.11 € 0.13 € and 0.15 €/100 kg in Cluster 1 to 4.

Multiple Pairwise Comparison

The correlation coefficients between MF and the most relevant parameters highlighted by the PCA analysis and by the literature review helped us to choose parameters (common determinators) to be included in multiple pairwise analysis. The selected common determinators were the CS, MMI, SOL and PDMI. Only papers giving statistical indicators such as SD, SE, SEM or SED *were* included in this analysis. RevMan5.3 was then used to estimate the heterogeneity of the pooled studies with eventual subgroups analysis when heterogeneity was observed. The statistical indicators (Relative weight of studies, τ^2 , χ^2 , P , I^2 and z-value) are mentioned on Figures 4 to 9 and thus are not detailed in the results' description.

Effect of the Concentrate Supply on Milking Frequency. We selected this determinant because of its strong correlation with axis 1 in PCA. Furthermore, numerous papers included in the systematic review considered that the supply of high amounts of concentrate in the feeding bin of the AMS is an incentive to encourage cows' traffic to the AMS (Bach et al., 2017; Lyons et al., 2013_a). According to the systematic review, we put the hypothesis that high CS increased the MF while low CS decreased it. The dataset was completed with a total amount of 5 pairs of results pooled for multiple pairwise comparisons. A minimum delta of 2 kg/cow per day was necessary for this comparison. The result of this analysis demonstrated that the increase in CS by 2 kg/cow per day induced a rise MF of 0.12 milkings/cow per day (Confidence intervals 95% (CI) [-0.05; 0.29]; 356 data; $P = 0.16$). The forest plot (Figure 4) showed divergent results so we constituted subgroups. Five effects (stage of lactation, MMI ($\geq 6h$), MMI (4h), breed, number of lactations identified in Figure 4) were investigated. Effect of

high CS on MF was compared with low CS for cows (first comparison) in early and then in late SOL in the first subgroup (1.1.1). The effect was less than expected considering the global analysis: CS induced an increase of 0.03 milkings/cow per day; CI [-0.03, 0.09] and was statistically not significant ($P = 0.35$).

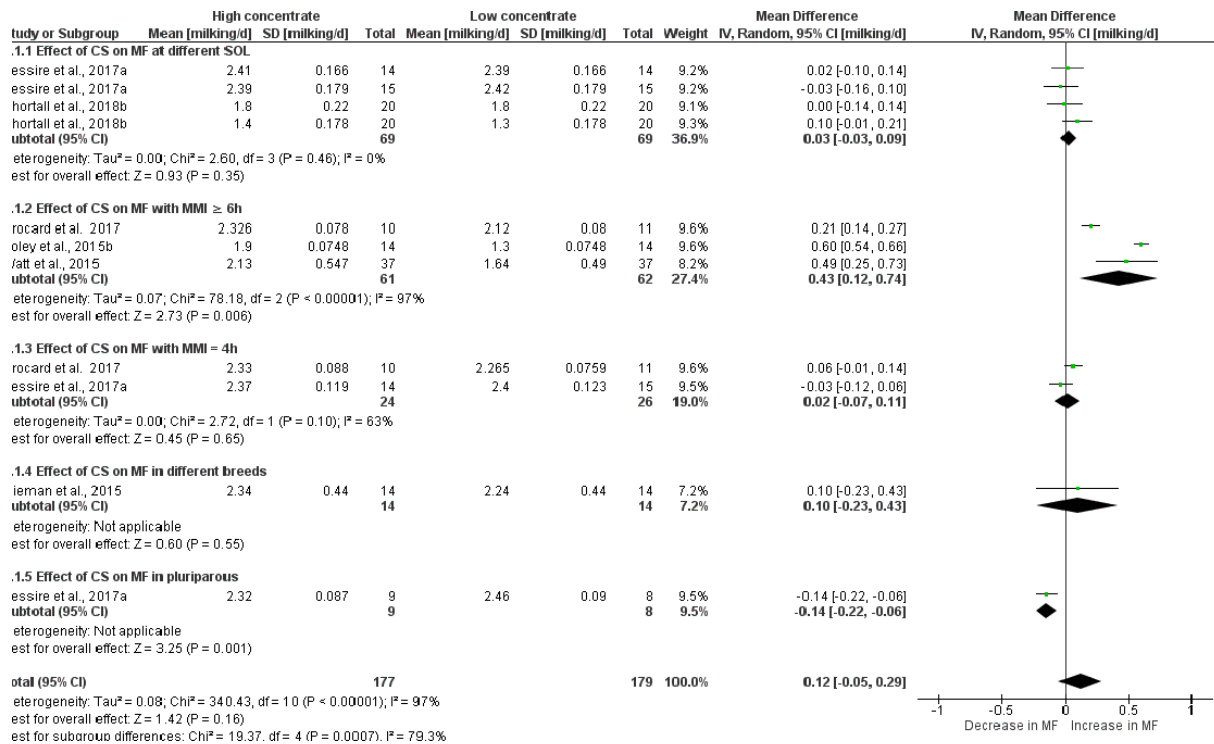


Figure 4. Effect of concentrate allocation on milking frequency. Abbreviations: CS: concentrate supply (kg/cow per day); SOL: stage of lactation (day); MF: milking frequency (milking/cow per day); MMI: minimum milking interval (h).

Two modalities of MMI - MMI $\geq 6h$ (1.1.2) and MMI = 4h (1.1.3) were studied in 2 other subgroups (1.1.2 and 1.1.3). The comparison of high CS X MMI 6h vs low CS X MMI 6h demonstrated a rise in MF of 0.43, CI [0.12, 0.74]; $P = 0.006$). For subgroup 1.1.3, no significant effect of CS was observed. For subgroup 1.1.4, data were collected from Nieman et al., 2015 where high CS delivered to the Holstein breed was compared with low CS delivered to New Zealand Friesian cows. No significant effect ($P = 0.55$) was recorded. In subgroup 1.1.5, the effect of concentrate supply was studied in 2 groups of multiparous cows (high CS vs low CS). A significant decrease in MF was observed and estimated at -0.14 (CI [-0.22; -0.06]). Regarding the results of these pairwise comparisons, only HC combined with MMI $\geq 6h$ was effective to rise MF.

Section Expérimentale

We studied the effect of concentrate allocation in the different clusters defined in the PCA analysis (Figure 5): three subgroups were formed with 3 studies in Cluster 1, 5 studies in Cluster 2 and one study in Cluster 4. Milking frequency was significantly increased by 0.09 milkings/cow per day (CI [0.06, 0.13] - $P < 0.00001$) and by 0.08 milkings/cow per day (CI [0.01; 0.16]; $P = 0.03$) in Clusters 1 and 2 respectively. The effect of concentrate allocation in Cluster 4 was significant ($P < 0.0001$) and the estimated effect was more important than in other clusters (increase of 0.49; CI [0.25; 0.73]). Overall, the significant effect was lower than in the previous comparison: an increase of 0.10 milkings was linked to higher concentrate allocation (CI [0.04; 0.15], $P < 0.0001$). This estimation arose mainly from Clusters 1 and 2 as the relative weight of Cluster 4 was low (4.3%).

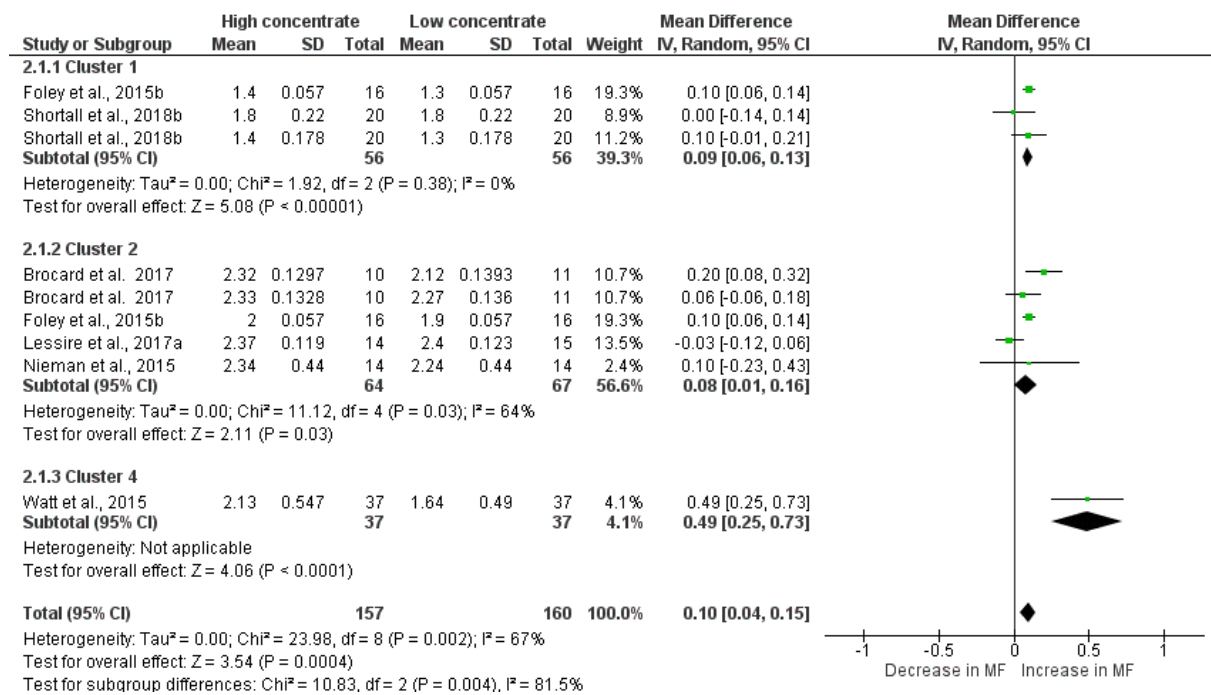


Figure 5. Effect of concentrate allocation on milking frequency following cluster allocation. Abbreviations: MF: milking frequency (milking/cow per day)

Effect of the Minimum Milking Interval on Milking Frequency. We analyzed the influence of this parameter, as it seems to interfere with the impact of concentrate allocation. The prerequisite was that giving more opportunities to cows to be milked (i.e short MMI that reduces the time necessary to be admitted for a new milking) would increase MF. Four studies specifically studying this impact were included in the pooled dataset. Milking frequencies related to short MMI were opposed to those with extended MMI (Figure 6). The mean of the difference was positive indicating a positive effect of the determinant: the short MMI increased the milking frequency by 0.37 milkings/cow per day; CI [0.20; 0.54], $P < 0.0001$.

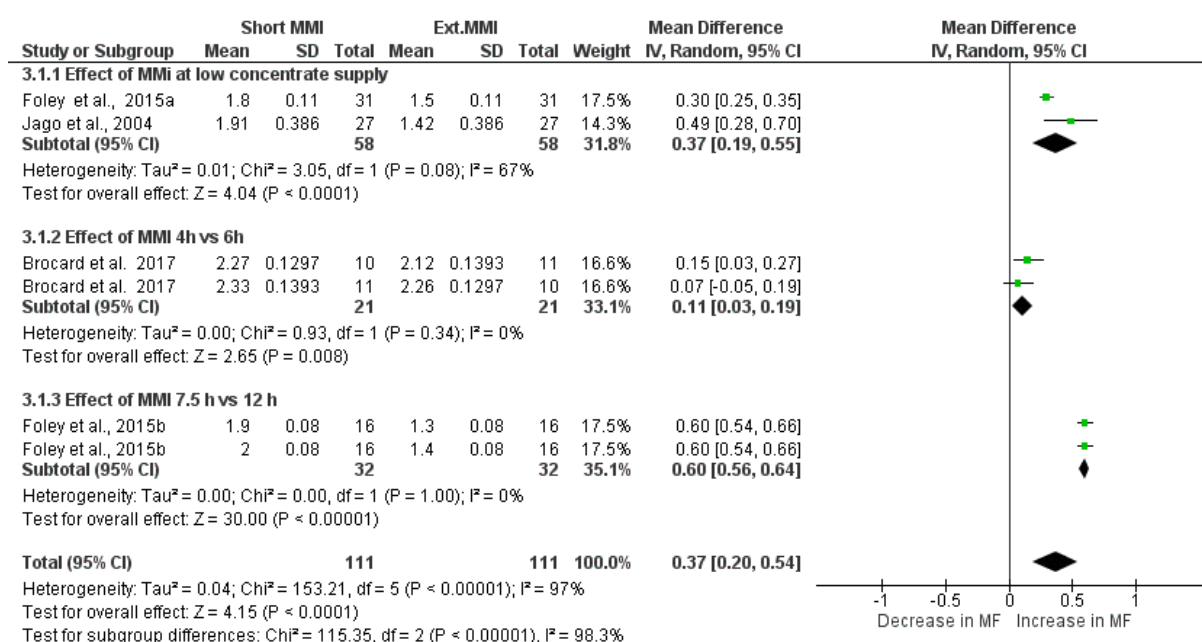


Figure 6. Effect of minimum milking interval on milking frequency. Abbreviations: MMI: minimum milking interval (h); ext: extended.

In the subgroup 3.1.1, MMI set at 8 h (Foley et al., 2015_b) or 6 h (Jago et al., 2004) was challenged to MMI of 12 h (in both studies) while low concentrate amount was supplied (≤ 1 kg/cow per day). A significant effect was highlighted with an increase in MF estimated at 0.37 (CI [0.19; 0.55]). In the subgroup 3.1.2, MMI 4 h was confronted to MMI of 6 h. The difference between the treatments of 0.11, (CI [0.03; 0.19], $P < 0.008$) was significant. In the subgroup 3.1.3, changing MMI from 7.5h to 12h induced a significant rise in MF estimated at 0.60; CI [0.56; 0.64]. To summarize these pairwise comparisons, short MMI induced rise in MF and this rise was more marked for MMI changing from 12h to 7.5h with or without low CS.

Effect of the Stage of Lactation on Milking Frequency. The effect of SOL was investigated (Figure 7). Two groups were considered: one with cows in early lactation, i.e less than 100 days in milk (DIM) opposed to those with DIM > 200 days. The global analysis of SOL showed a positive effect: early lactation cows were milked more frequently. The increase in MF was estimated at 0.34 milkings/cow per day in early lactating cows compared to late ones CI [0.16; 0.52], $P = 0.0003$. However, the observed heterogeneity lead us to form subgroups based on similar experimental designs. In the subgroup 4.1.1 (High delta), we noted that the cows in early lactation received on average 1.82 kg of concentrate/cow per day more than the late calved cows. In the subgroup 4.1.2 (Low delta), the cows with DIM < 100 received 5.29 kg of concentrate/cow per day and those with DIM > 200 d, 4.65 kg/cow per day. In this subgroup, the increase in MF in the early stage of lactation was not significant and estimated at 0.02 milkings/cow per day; CI [-0.07; 0.11] for early calved cows while in subgroup 4.1.1 (High delta CS), the increase in MF was significant and evaluated at 0.42; CI [0.31; 0.52]. In summary, an early lactation stage caused increase in MF but its magnitude depended on CS.

Section Expérimentale

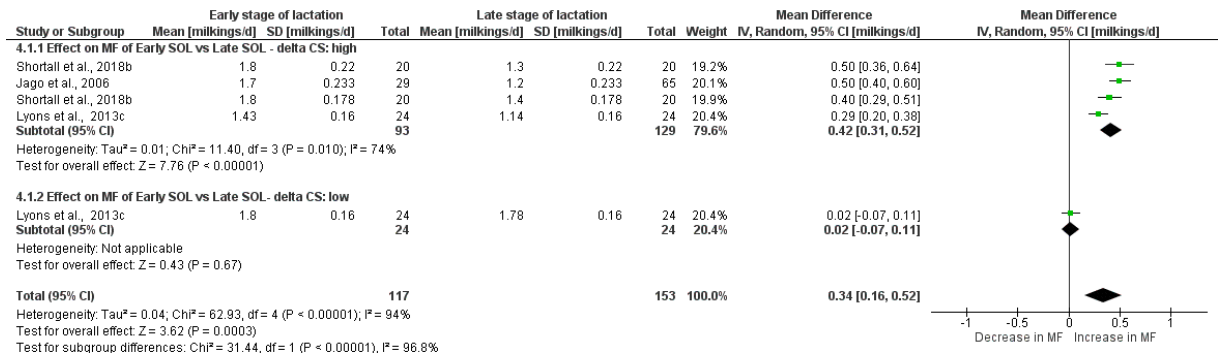


Figure 7. Effect of stage of lactation on milking frequency. Abbreviations: MF: milking frequency (milking/cow per day); SOL: stage of lactation (d); CS: concentrate supply (kg/cow per day).

Effect of Pasture Dry Matter Intake on Milking Frequency. Two studies were pooled to investigate the effect of PDMI on the MF (Figure 8). High PDMI caused a significant decrease in MF by 0.30 milkings/cow per day; CI [-0.49; -0.10].

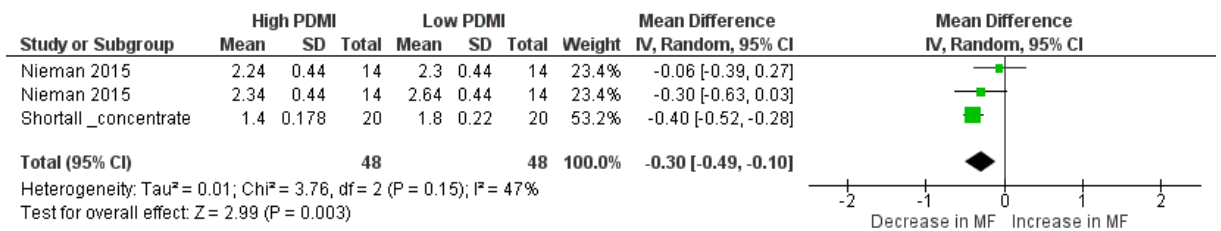


Figure 8. Effect of pasture dry matter intake on milking frequency. Abbreviations: PDMI: Pasture dry matter intake (kgDM).

Effect of Milking Frequency on Milk Yield. After these different analyses, we chose to confront the hypothesis that the higher the MF, the higher milk yield. We considered studies' results arising from comparison of large differences of MF i.e from 0.3 to 0.6 milking/cow per day (Figure 9). The effect range was a gain of 4.70 kg milk/cow per day; CI [2.44; 6.96] for an increase by about 0.3 of the milking frequencies. All the included studies showed an increase in MY when MF was higher.

To investigate the factors leading to heterogeneity, we formed 6 subgroups. The subgroup 6.1.1 - SOL at low CS (less than 1 kg/cow per day) showed a very marked outcome. In that group, the difference in MY observed between cows in early and late lactation reached 11.91 kg/cow per day, CI [9.66; 14.16], P<0.00001. Other subgroups leading to significant effects were the following: effect of rumination, of pasture allocation and of stocking rate. The subgroup "effect of rumination" (6.1.2) compared high ruminating cows vs low ruminating ones with an increase in MF of 14.02 kg/cow per

day, CI [9.36; 18.68], $P < 0.00001$ for high ruminating cows. The subgroup 6.1.3 investigated the effect of SOL X pasture allocation. The article coupled change in pasture design (ABC vs AB) with SOL (early, mid and late) (Lyons et al., 2013c). The effect reached 3.92 kg milk/cows per day CI [2.97; 4.87], $P < 0.00001$. The subgroup 6.1.4 studied the effect of stocking rate (Stocking rate of 3 cows/ha vs stocking rate = 2 cows/ha). The comparison demonstrated an increase in MY at rising MF estimated at 2.30 kg/cow per day, CI [0.51; 4.09], $P = 0.01$. The last 2 subgroups included comparisons of high dominant vs low dominant cows with or without limited access to water (6.1.5) and in subgroup 6.1.6, effect of short (6 or 7.5h) vs long milking permission (12h) and showed no significant effect. In summary, even if increase in MF induced a rise in MY, this effect was more marked in early lactation stage and in ABC pasture design.

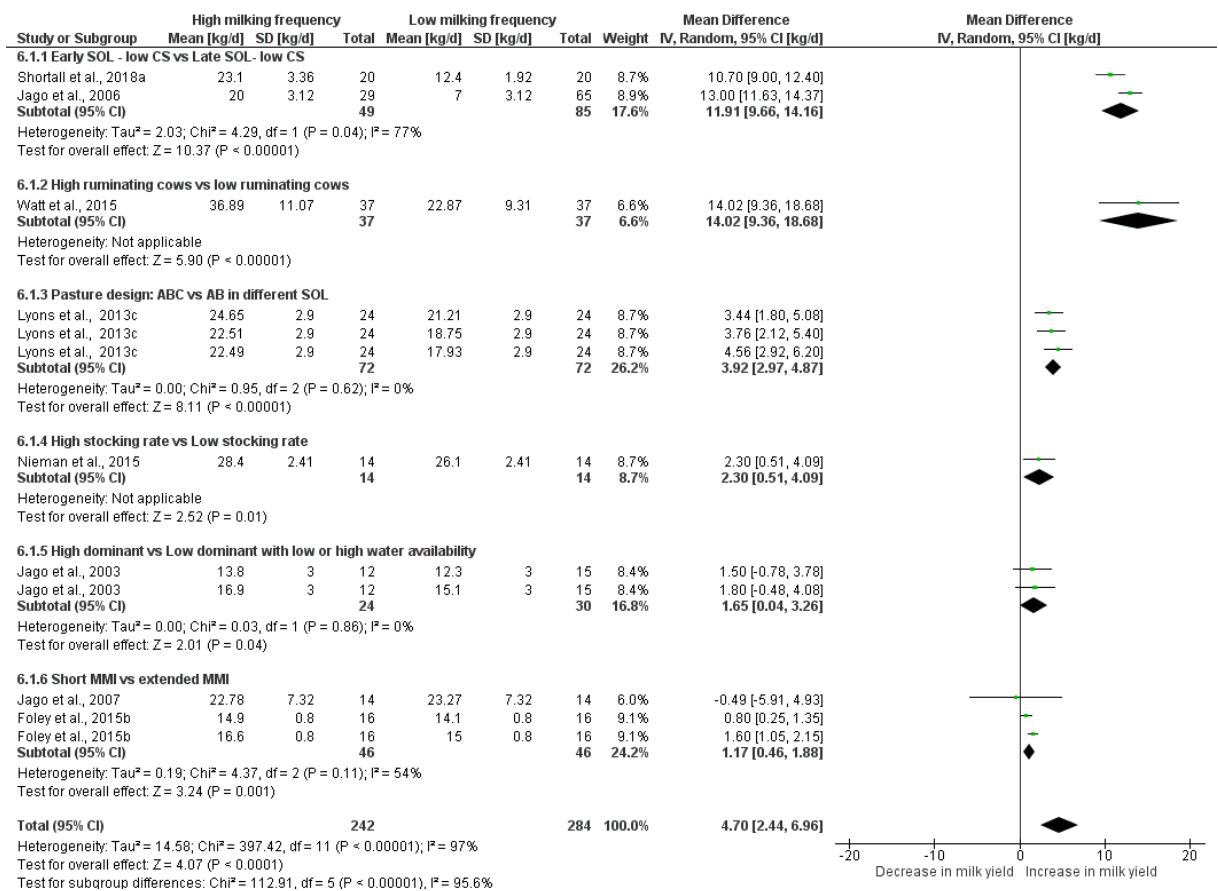


Figure 9. Effect of milking frequency on milk yield. Abbreviations: MF: milking frequency (milking/cow per day); SOL: stage of lactation (day); CS: concentrate supply (kg/cow per day).

DISCUSSION

The first objective of this study was to identify factors influencing milking frequency in pasture-based AMS. First, we compared the data provided by the selected studies to obtain a general overview of management systems described in the literature. The PCA was useful for discrimination of 4 different systems identified by clusters. Milking frequency increased from Cluster 1 to Cluster 4 and led to an increase in MY: from less than 2 milkings per day (Cluster 1) with MY < 20 kg/cow per day to 2.22 milkings per day with an average MY of 27 kg/cow per day (Cluster 3) and finally 2.63 milkings per day and an average MY of 28.9 kg/cow per day. Deeper evaluation showed that the increase in MY was correlated with increased concentrate supply in the feeding bin and PMR delivered at barn. Yet, in Cluster 4, MY of 28.9 ± 1.2 kg/cow per day was reached with a MF of 2.63 milkings/cow per day but also at CS of 6.56 ± 0.42 kg in the feeding bin of the AMS in addition to 8.4 ± 1.4 kg PMR. Grazed grass in cows' diet was thus restricted to about 50% of DMI in Cluster 3 and 30% in Cluster 4. Thus, the total ration (PMR + concentrate+ grass) given to cows seems more determinant than CS only to explain the increase in MF and MY.

Grazed grass was an essential component representing 90% of the cows' diet in Clusters 1 and 2 with no or little complement supplied. The lowest occupation rate of AMS from 75.1 cows per AMS in Cluster 1 to 51.3 cows per AMS in Cluster 2, the higher concentrate allowance (from 1.92 to 2.61 kg/cow per day) and the shortened minimum milking interval from 11.0 ± 0.6 h to 6.3 ± 0.6 differentiated these 2 clusters. We observed about 4 kg-rise in MY and an increase in MF of 0.6 units in Cluster 2 compared with Cluster 1 with these parameters.

These contrasted systems described in clusters were strongly correlated with geographical origins of papers. It is not surprising while considering environmental and agricultural constraints of the respective countries. Ireland and New Zealand belong to Cluster 1. Actually, the high percentage of grazed grass in these countries is related to the huge percentage of agricultural area dedicated to grassland and grazing. In fact, 81% of Irish *agricultural* area is devoted to pastures, hay and grass silage production (European [Commission, 2019](#)). In New Zealand, 2.6 million ha of grassland are used for dairy production (Davis, et al., 2006; Ministry of Environment NZ) and grazed grass constituted 82% of cows' diet (Wales and Kolver, 2017). Belgian studies are mainly represented in Cluster 2 as grazing allows for the exploitation of resources provided by large grassland areas (50% of agricultural area in the south of Belgium; [Direction générale de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement, 2019](#)). On the other hand, the inclusion of some of them in Clusters 3 and 4 is justified by the intensification of dairy production that induces a decline of grazing practices (Lessire et al., 2018). The management of large herds (On average 273 cows/herd following Dairy Australia coupled with climate issues are reflected in Australian studies (Clark et al., 2014_a; Wildridge et al., 2018_a; Wildridge et al., 2018_b; John et al., 2019_a; Wales and Kolver, 2017). Higher MY than in NZ is targeted (5,731

L/cow per year vs 4,235 L in NZ) requiring large feed supply. Grazed grass is thus complemented generally by cereals or concentrates and explains the inclusion of Australian studies in Cluster 3 (Auld et al., 2013). Grass availability in NZ and Ireland allows to develop grass-based systems. Lower production levels observed were compensated by a higher number of cows. The profitability is linked to the productivity of the system rather than on individual cow production. Lowered feeding costs at high levels of grazed grass comply with other studies (Dillon et al., 2005; Jago et al., 2009). However, their decrease is more pronounced in Cluster 2, because of higher MY/cow per day coupled with high grass consumption.

Different factors reported in the clusters' description and published in selected studies were analysed with regards to milking frequency. Heterogeneity of data was noted in some comparisons but distribution in subgroups allowed to understand variation factors and to draw a general trend. Following data analysis, several parameters could be modified to increase milking frequency. Increasing the concentrate supply tended to raise milking frequency but this effect was limited. Actually, augmented CS at enlarged milking permission (≥ 6 h) induced the only significant increase of this analysis. The analysis based on cluster allocation demonstrated results of similar size. Cluster 4 included only one study which aimed to compare high ruminating versus low rumination cows, leading to large individual variations so that results could be not representative of this cluster. The effect of CS was not investigated in other studies of Clusters 3 and 4. However, reviewed papers from these clusters showed that CS fluctuated from 3.3 (Clark et al., 2016) to 7.5 kg in association with milking frequency ranges from 1.8 (Clark et al., 2016) to 2.47 milkings/cow per day (John et al., 2019_a) as extreme values. It seems to indicate that the relationship between concentrates and MF is not linear.

Milking permission seems to play a determinant effect on milking frequency as Lyons et al. (2014) hypothesized. Short MMI allowed an increase in MF whatever the amount of supplied concentrate. This increase was less marked at MMI 4h. Moreover, short MMI was a discriminating factor between Clusters 1 and 2 (MMI Cluster 1= 11.0 ± 0.6 h and 6.3 ± 0.6 h in Cluster 2). In Clusters 3 and 4, MMI was usually set at 6 to 8 h and the effect of change in MMI was not investigated.

Early lactation increased milking frequency. This was confirmed by other studies not included in the dataset (Lyons et al., 2013_a; Clark et al., 2014_b). Only the results from Lyons et al., (2013_c) seem to indicate that lower MF in late lactation cows could be prevented by constant concentrate supply in ABC pasture allocation.

On the other hand, high pasture dry matter intake decreased the MF. This fact was also pointed out in studies conducted in full-grazing systems (Dufresne et al., 2012) and in systems combining grass and access to barn (Ketelaar-De Lauwere et al., 2000; Van Dooren et al., 2004). Some practices can be implemented to control PDMI, e.g pasturing at varying sward height or adapting the grazing

Section Expérimentale

management. For example, strip-grazing allows to match grass availability and cows' needs. Several authors (Jago et al., 2009; Lyons et al., 2013_c; John et al., 2013) evaluated in pastoral systems the division of pasture into 3 blocks (ABC system) and spread this practice to other countries like Ireland (Foley et al., 2015_{ab}; Shorthall et al., 2018_{ab}). This system was tested in France (Cloet et al., 2017). However, the effect on MF observed in this study was difficult to interpret, as the pasture allocation was adapted at the same time as the milking permission.

The results of this analysis confirm that higher milking frequency induces a rise in milk yield and increased the system's productivity. However, we observed effects of variable intensities between subgroups. The early stage of lactation at concentrate supply of less than 1 kg/cow per day led to the sharpest rise. Combination of SOL with relatively constant concentrate allocation and ABC pasture design showed lower impact so that milking frequencies and milk yield remained quite stable over the lactation length. Following the performed analysis, rising MF by 1 unit (for example from 1.5 to 2.5) might rise the MY by 14.1 kg. This value complies with results from comparison between clusters. In Cluster 1, low MF (<1.5 milkings/cow per day) are associated with MY estimated at 16.8 kg/cow per day – with the exception of the study of Jago et al. (2007) where MY of 23.27 ± 10.18 kg/cow per day was reached with MF 1.42 ± 0.54 milkings/cow per day. In Cluster 4, MF > 2.6 milkings/cow per day was associated with an average MY of 28.9 kg/cow per day. If increasing concentrate allocation appeared to affect moderately MF, the association of high CS – more than tripled (from an average of 1.92 to 6.56 kg/cow per day) with complements provided at barn is effective in rising MF and MY.

Following our results, the implementation of a system based on high PDMI should focus on the following parameters. In this system, the effect of concentrate allocation is moderate. A delta of 2 kg concentrate/cow per day leads to an increase of 0.12 milkings/cow per day and a rise of 1.88 kg milk /cow per day. The milk response (MR) can thus be estimated at 0.94 kg milk/kg concentrate, which is in the range of studies conducted that estimated it from 0.86 to 0.96 kg milk /kg concentrate respectively. This milk response was even lower in the study of Lessire et al. (2017_a) which reports a MR of 0.56 kg/kg concentrate over the whole grazing season. Actually, MR depends on grass availability and composition and increases at low grass allocation.

Concentrate supply has to be considered from the economic point of view and be targeted regarding the stage of lactation or lactation number as highlighted in Lessire et al. (2017_a). The MMI could be set at 6 -7.5 h as $MMI \leq 4h$ has no effect on milking frequency. High PDMI is linked to a decrease in MF and thus in MY. Grazing strategies thus have to restrict grass availability, e.g by dividing pastures into 3 blocks and privileging strip grazing. In Clusters 3 and 4, grazed grass was considered more as a complement to concentrate and PMR that enables MY to remain quite stable at barn and at grazing (Lessire et al., 2015_b). Economically, a slight decrease in feeding costs was observed in proportions depending on the composition of the complement. Rations mainly composed of forages allowed the

most marked decrease of feeding costs in these systems. The choice of one system or other of the systems depends on forage resources but it is also necessary to find a balance between high cows' productivity based on diet composed of grass, concentrate and PMR and system's productivity based on low feeding costs i.e based on grazed grass and high number of medium to low-producing cows. The first option could make farmers vulnerable to the volatility of milk price and of raw materials while the second option could lead to increased susceptibility toward climatic conditions.

CONCLUSION

The milking performances of pasture-based AMS vary following the management systems. This review describes four exploitation systems and identifies the factors to take into account to increase the productivity of each one. The belonging to the different models is correlated to geographical constraints e.g. broad grazeable areas or intensification of dairy production. Use of large amounts of grazed grass (90% grazed grass) causes a decrease in MF and MY but management based on low inputs seems profitable from an economical point of view. Nevertheless, it is not applicable in all contexts. If grass resources are not sufficient, higher feeding costs need to be compensated by higher milk yield/cow per day. The complementation of grazed grass by concentrate supplied at the AMS in addition to complement provided at barn is necessary to maintain high milking frequency and high milk yield.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the EU project AUTOGRASSMILK SME FP7 314879

REFERENCES

- Auldust, M.J., L.C. Marett, J.S. Greenwood, M. Hannah, J.L. Jacobs, and W.J. Wales. 2013. Effects of different strategies for feeding supplements on milk production responses in cows grazing a restricted pasture allowance. *J. Dairy Sci.* 96:1218–1231. doi:<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6079>.
- Bach, A., and V. Cabrera. 2017. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *J.Dairy Sci.* 100:7720–7728. doi:10.3168/jds.2016-11694.
- Bargo, F., L.D. Muller, J.E. Delahoy, and T.W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85:1777–1792.
- Barkema, H.W., M.A.G. von Keyserlingk, J.P. Kastelic, T.J.G.M. Lam, C. Luby, J.-P. Roy, S.J. LeBlanc, G.P. Keefe, and D.F. Kelton. 2015. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *J. Dairy Sci.* 98:7426–7445. doi:10.3168/JDS.2015-9377.
- Brocard, V., J.L. Poulet, T. Huneau, J.-C. Huchon, D. Follet, S. Guiocheau, and T. Hetreau. 2014. How to combine automatic milking system with grazing in dairy production? *Innovations Agronomiques.* 39:259-270.
- Brocard, V., F. Lessire, E. Cloet, T. Huneau, I. Dufrasne, and C. Déprés. 2017. Diverse ways to combine grazing and automatic milking systems [Pâturer avec un robot de traite: une diversité de stratégies...]. *Pâturages;* 229:17-24.

Section Expérimentale

- Charlton, G.L., and S.M. Rutter. 2017. The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 192:2–9. doi:10.1016/j.applanim.2017.05.015.
- Clark, C.E.F., A. Horadagoda, K.L. Kerrisk, V. Scott, M.R. Islam, R. Kaur, and S.C. Garcia. 2014a. Grazing soybean to increase voluntary cow traffic in a pasture-based automatic milking system. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:422–430. doi:10.5713/ajas.2013.13433.
- Clark, C.E.F., N.B.P. Kwinten, D.A.J.M. Van Gastel, K.L. Kerrisk, N.A. Lyons, and S.C. Garcia. 2014b. Differences in voluntary cow traffic between holstein and illawarra breeds of dairy cattle in a pasture-based automatic milking system. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:587–591. doi:10.5713/ajas.2013.13435.
- Clark, C. E.F., S.R. Farina, S.C Garcia, M. R. Islam, K.L. Kerrisk, and W.J. Fulkerson. 2016. A comparison of conventional and automatic milking system pasture utilization and pre-and post-grazing pasture mass [A comparison of conventional and automatic milking system pasture utilization and pre- and post-grazing pasture mass]. *Grass and Forage Science*;71(1):153-159.
- Cloet, E., V. Brocard, F. Lessire, and S. Guiocheau. 2017. Maximizing grazing with a mobile milking robot [Maximizing grazing with a mobile milking robot]. Pages 28-34 in: *Precision Livestock Farming '17*. Vol. 17, Berckmans D., Keita A., editor(s).
- Dairy Australia. Industry. Production and sales. Milk. Accessed Feb. 20, 2020 <https://www.dairyaustralia.com.au/dairyaustralia/industry/production-and-sales/milk>.
- Davis, K.L., J.G. Jago, R. Wieliczko, P.J.A. Copeman, K. Bright, and M.W. Woolford. 2005. Factors influencing milk harvesting efficiency in an automatic milking system [Factors influencing milk harvesting efficiency in an automatic milking system]. Pages 271-275 in *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. Vol. 65.
- Davis, K., J. Jago, K. MacDonald, J. McGowan, and M. Woolford. 2006. Pasture utilisation in a pastoral automated milking system. Pages 81–86 in *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*.
- Davis, K.L., W.J. Fulkerson, S.C. Garcia, D. Dickeson, and I.M. Barchia. 2008. Premilking teat preparation for Australian pasture-based cows milked by an automated milking system [Premilking Teat Preparation for Australian Pasture-Based Cows Milked by an Automated Milking System]. *J. Dairy Sci.* 91(7):2604-2609.
- de Olde, E.M., F.W. Oudshoorn, C.A.G. Sørensen, E.A.M. Bokkers, and I.J.M. de Boer. 2016. Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecol. Indic.* 66:391–404. doi:10.1016/J.ECOLIND.2016.01.047.
- Dillon P, J.R. Roche, L. Shalloo and B. Horan. 2005. Optimising financial return from grazing in temperate pastures. Pages 131-147 in *Proc. Satellite Workshop 20th Int. Grassl. Congr.* (ed. J.J. Murphy). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
- Direction générale de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement. L'agriculture wallonne en chiffres. Rapport 2019. Accessed on May 5 2019. <https://agriculture.wallonie.be/>.
- Dufresne I., V. Robaye, L. Istasse, J.L. Hornick. 2012. Effects of environmental factors on yield and milking number in dairy cows milked by an automatic system located in pasture [Effects of environmental factors on yield and milking number in dairy cows milked by an automatic system located in pasture]. Pages 231-233 in: *Grassland- An European Resource. Proceedings of the 24th European Grassland Federation*. Poznan: Organizing Committee of the 24 th General Meeting of the European Grassland Federation and Polish Grassland Society.

- Elischer, M.F, L.M, Sordillo, J.M. Siegford, and E.L. Karcher. 2015. Short communication: Characterizing metabolic and oxidant status of pastured dairy cows postpartum in an automatic milking system [Short communication: Characterizing metabolic and oxidant status of pastured dairy cows postpartum in an automatic milking system]. *J. Dairy Sci.* 98(10):7083-7089.
- European Commission. Representation in Ireland. Agriculture. Accessed Dec. 28, 2019 <https://ec.europa.eu/ireland/news/key-eu-policy-areas>
- Finneran, E., P. Crosson, P. O’Kiely, L. Shalloo, D. Forristal, and M. Wallace. 2010. Simulation modelling of the cost of producing and utilising feeds for ruminants on Irish farms. *J. farm Manag.* 14:95–116.
- Foley, C., J. Shortall, and B. O'Brien. 2015_a. Milk production, cow traffic and milking duration at different milking frequencies in an automated milking system integrated with grazing. Pages 40-47 in *Precision Livestock Farming '15*. Vol. 2015.
- Foley, C., J. Shortall, and B.O'Brien. 2015_b. Concentrate supplementation and milking frequency in automated milking with grazing. Pages 410-412 in *Grassland Science in Europe*. Vol. 20.
- Gillespie Jeffrey. Milk Cost of Production Estimates. Accessed Dec. 28, 2019. <https://www.ers.usda.gov/data-products/milk-cost-of-production-estimates/>
- Higgins JPT and S. Green (editors). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* Version 5.1.0 [updated March 2011]. The Cochrane Collaboration, 2011. Available from www.cochrane-handbook.org.
- Huedo-Medina, T.B., J. Sánchez-Meca, F. Marín-Martínez, and J. Botella. 2006. Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I² Index?. *Psychol. Methods* 11:193–206. doi:10.1037/1082-989X.11.2.193.
- Huneau T., M. Dehedin, J-C. Huchon and V. Brocard. 2013. Combining robotic milking and grazing [Concilier traite robotisée et pâturage]. Pages 277-280 in *Renc. Rech. Ruminants*. Vol. 20. Paris.
- International Federation of robotics. 2019 Professional service robots - Military systems and milking robots predominate. Accessed Dec. 28, 2019. <https://ifr.org/news/professional-service-robots-military-systems-and-milking-robots-predominate>.
- Jacobs, J.A. and J.M. Siegford. 2012. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare [Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare]. *J.Dairy Sci.* 95(5):2227-2247.
- Jago, J., A. Jackson, and M. Woolford. 2003. Dominance effects on the time budget and milking behaviour of cows managed on pasture and milked in an automated milking system. Pages 120–123 in *NZ Soc Anim Prod Proc*. Vol 63.
- Jago, J., P. Bright, K. Copeman, A. Jackson, I. Ohnstad and R.W.M. Wieliczko. 2004. Remote automatic selection of cows for milking in a pasture-based automatic system. Pages 241–245 in *NZ Soc Anim Prod Proc*. Vol 64.
- Jago, J.G., K.L. Davis, and M.W. Woolford. 2006. Stage of lactation affects the milking performance and behaviour of cows in a pasture-based automated milking system. Pages 258–262 in *NZ Soc Anim Prod Proc*. Vol 66.
- Jago, J.G., K.L. Davis, P.J. Copeman, I. Ohnstad, and M.M. Woolford. 2007. Supplementary feeding at milking and minimum milking interval effects on cow traffic and milking performance in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Res.* 74:492–499. doi:10.1017/S002202990700283X.

Section Expérimentale

- Jago, J.G., K. Bright, and B. Dela Rue. 2009. Development of a method for managing cow traffic in a pastoral automatic milking system. Pages 169–174 in Precision Livestock Farming 2009 - Papers Presented at the 4th European Conference on Precision Livestock Farming.
- Jago, J., and J. Burke. 2010. An evaluation of two pastoral dairy production systems using automatic milking technology. *Proc. New Zeal. Grassl. Assoc.* 72:109–116.
- John, A.J., C. Clarck, M. Freeman, K. Kerrisk, and R. Rawnsley. 2013. Pasture management in two high performing automatic milking systems. Pages 99–103 in Dairy Research Foundation Current Topics in Dairy Production.
- John, A.J., C.E.F. Clark, M.J. Freeman, K.L. Kerrisk, S.C. Garcia, and I. Halachmi. 2016. Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *animal* 10:1484–1492. doi:DOI: 10.1017/S1751731116000495.
- John, A.J., B.R. Cullen, K. Oluboyede, M.J. Freeman, K.L. Kerrisk, S.C. Garcia, and C.E.F. Clark. 2019_a. The effect of pasture quantity temporal variation on milking robot utilization. *J. Dairy Sci.* 102:2551–2559. doi:10.3168/jds.2018-14801.
- John, A.J., M.J. Freeman, K.F. Kerrisk, S.C. Garcia, and C.E.F. Clark. 2019_b. Robot utilisation of pasture-based dairy cows with varying levels of milking frequency. *animal* 13:1529–1535. doi:10.1017/S1751731118003117.
- Ketelaar-De Lauwere, C.C., A.H. Ipema, C. Lokhorst, J.H.M. Metz, J.P.T.M. Noordhuizen, W.G.P. Schouten, and A.C. Smits. 2000. Effect of sward height and distance between pasture and barn on cows' visits to an automatic milking system and other behaviour. *Livest. Prod. Sci.* 65:131–142. doi:10.1016/S0301-6226(99)00175-X.
- Kristensen, T., K. Sjøgaard, and I.S. Kristensen. 2005. Management of grasslands in intensive dairy livestock farming. *Livest. Prod. Sci.* 96:61–73. doi:10.1016/J.LIVPRODSCI.2005.05.024.
- Lessire, F., E. Knapp, and I. Dufrasne. 2013. Traite robotisée et pâturage sont-ils compatibles? TT - Is it possible to combine automatic milking system and grazing? *Point Vétérinaire* 341:54.
- Lessire, F., J.L. Hornick, and I. Dufrasne. 2015_a. Is it possible for large herds to graze while keeping a high milk yield level? The experience of two Belgian dairy farms. Pages 452–454 in Grassland Science in Europe. 20: Wageningen Academic Publishers.
- Lessire, F., J.L. Hornick, J. Minet, and I. Dufrasne. 2015_b. Rumination time, milk yield, milking frequency of grazing dairy cows milked by a mobile automatic system during mild heat stress. *Adv. Anim. Biosci.* 6:12–1 doi:10.1017/S2040470014000417.
- Lessire, F., E. Froidmont, J. Shortall, J.-L. Hornick, and I. Dufrasne. 2017_a. The effect of concentrate allocation on traffic and milk production of pasture based cows milked by an automatic milking system. *Animal* 11:1–9. doi:10.1017/S1751731117000659.
- Lessire, F., D. Knoden, and I. Dufrasne. 2017_b. Automatic milking of large grass-fed cow herds: Results from two farms in Belgium. *Fourrages* 2017-March: 25-28.
- Lessire, F., C. Scohier, and I. Dufrasne. 2017_c. Impact of grazing practices on farm self-sufficiency, milk and economic performances of three automatized farms. Pages 182–184 in 19th Symposium of the European Grassland Federation Wageningen Academic Publishers.

- Lessire, F., C. Scohier, T. Kristensen, R. Reding, R. Lioy, W. Reuter, E. Elias, and I. Dufrasne. 2018. Grazing practices in three European countries: results of a survey in dairy farms. Pages 619–621 in 27th General meeting of the European Grassland Federation - Teagasc Ireland. Wageningen Academic Publishers.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, N.K. Dhand, and S.C. Garcia. 2013_a. Factors associated with extended milking intervals in a pasture-based automatic milking system. *Livest. Sci.* 158:179–188. doi:10.1016/j.livsci.2013.10.010.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, and S.C. Garcia. 2013_b. Effect of pre- versus post-milking supplementation on traffic and performance of cows milked in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 96:4397–4405. doi:10.3168/jds.2012-6431.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, and S.C. Garcia. 2013_c. Comparison of 2 systems of pasture allocation on milking intervals and total daily milk yield of dairy cows in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 96:4494–4504. doi:10.3168/jds.2013-6716.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, and S.C. Garcia. 2014. Milking frequency management in pasture - based automatic milking systems: A review. *Livest. Sci.* 159:102–116. doi:10.1016/j.livsci.2013.11.011.
- Ministry for the Environment. Stats NZ. New Zealand’s environmental reporting series. Our land 2018. Accessed March 12, 2020. <https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/media/RMA/Our-land-201-final.pdf>
- Moher, D., A. Liberati, J. Tetzlaff, and D.G. Altman 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7) <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Munksgaard L., and M. Sondergaard. 2004. Two cases studies on farms combining automatic milking with grazing - time budgets, synchronisation of behaviour and visits to the robot. Pages 286–291 in A better understanding of automatic milking system. Wageningen Academic Publishers.
- Nieman, C.C., K.M. Steensma, J.E. Rowntree, D.K. Beede, and S.A. Utsumi. 2015. Differential response to stocking rates and feeding by two genotypes of Holstein-Friesian cows in a pasture-based automatic milking system. *animal* 9:2039–2049. doi:10.1017/S1751731115001901.
- NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle.: Seventh Revised Edition, 2001.
- Oudshoorn, F.W., T. Kristensen, A.J. van der Zijpp, and I.J.M. de Boer. 2012. Sustainability evaluation of automatic and conventional milking systems on organic dairy farms in Denmark. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 59:25–33. doi:10.1016/J.NJAS.2011.05.003.
- Petitti, D.B. 2001. Approaches to heterogeneity in meta-analysis. *Stat. Med.* 20:3625–3633. doi:10.1002/sim.1091.
- Reis, R.B., and D.K. Combs. 2000. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.* 83:2888–2898. doi:http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75189-7.
- Ruelle, E., L. Delaby, M. Wallace, and L. Shalloo. 2018. Using models to establish the financially optimum strategy for Irish dairy farms. *J. Dairy Sci.* 101:614–623. doi:10.3168/jds.2017-12948.
- Saint Pierre, N. Take time to know your feed costs. Accessed Dec. 28, 2019. <https://www.farmanddairy.com/top-stories/take-time-know-feed-costs/224137.html>
- Shortall, J., C. Foley, R.D. Sleator, and B. O’Brien. 2018_a. The effect of dairy cow breed on milk production, cow traffic and milking characteristics in a pasture-based automatic milking system. *Livest. Sci.* 209:1–7.

Section Expérimentale

doi:10.1016/j.livsci.2018.01.002.

- Shortall, J., C. Foley, R.D. Sleator, and B. O'Brien. 2018_b. The effect of dairy cow breed on milk production, cow traffic and milking characteristics in a pasture-based automatic milking system. *Livest. Sci.* 209:1–7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.01.002>.
- Spörndly, E., and E. Wredle. 2004. Automatic milking and grazing—Effects of distance to pasture and level of supplements on milk yield and cow behavior. *J. Dairy Sci.* 87:1702–1712. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73323-8.
- Spörndly, E., and E. Wredle. 2005. Automatic milking and grazing—Effects of location of drinking water on water intake, milk yield, and cow behavior. *J. Dairy Sci.* 88:1711–1722. doi:10.3168/JDS.S0022-0302(05)72844-7.
- Utsumi, S. 2011. Strategies to increase the efficiency of automatic milking and milk production from high producing dairy cows. *Proc. Dairy Res. Found. Symp.* 18:34–43.
- Wildridge, A.M., P.C. Thomson, S.C. Garcia, A.J. John, E.C. Jongman, C.E.F. Clark, and K.L. Kerrisk. 2018_a. Short communication: The effect of temperature-humidity index on milk yield and milking frequency of dairy cows in pasture-based automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 101:1–4. doi:10.3168/jds.2017-13867.
- Wildridge, A.M., P.C. Thomson, S.C. Garcia, E.C. Jongman, C.E.F. Clark, and K.L. Kerrisk. 2018_b. The impact of fetching at night on milking parlour visitation for pasture-based dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 201:25–30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.12.014>.

Discussion - Perspectives

Discussion et perspectives

Cette thèse a été commencée dans le cadre du projet AUTOGRASSMILK qui s'est déroulé de 2013 à 2015. L'Université de Liège et particulièrement le service de Nutrition (Faculté de Médecine Vétérinaire) était partenaire du projet dont une partie des essais ont eu lieu à la ferme expérimentale de la Faculté (Sart Tilman, Liège). Grâce à un subside accordé au Service de Nutrition, il a été possible d'installer en 2010 un robot de traite mobile, pour permettre d'assurer la traite des vaches à l'étable et à partir d'un parcellaire situé de l'autre côté du boulevard de Colonster. L'expérience de quelques années de l'utilisation d'un robot de traite, mobile au pâturage, nous a confronté(e)s à différents challenges évoqués dans cette thèse: le découpage du parcellaire, la gestion de celui-ci, la distance maximum des parcelles par rapport au robot, la disponibilité en eau, la distribution des concentrés, avec de surcroît le défi d'aménager une UT déplaçable. En effet, les vaches sont traitées à l'étable pendant l'hiver alors qu'une « transhumance » déplace animaux et robot vers les prairies vers la mi-avril.

Les sujets abordés dans cette thèse ont donc été inspirés par les solutions proposées pour résoudre les difficultés rencontrées lors de la gestion de ce robot durant les années qu'a duré le projet auquel nous participions. Pendant cette période, nous avons également suivi les pratiques de pâturage de plusieurs fermes pilotes afin d'optimiser la valorisation de l'herbe dans ce contexte.

Nous avons beaucoup discuté avec les éleveurs, nous avons constaté leur anxiété liée à l'incertitude que générait le pâturage au niveau des quantités d'herbe disponible ou ingérées et surtout au niveau de la FT.

Cette interrogation nous a conduits à nous intéresser plus particulièrement à cet indicateur et aux facteurs susceptibles de l'influencer.

A la ferme expérimentale, la FT moyenne sur la saison de pâturage était proche des valeurs obtenues en traite conventionnelle avec une production laitière moyenne sur l'ensemble de la saison qui pouvait sembler relativement faible. Ce résultat peut être expliqué par le système de regroupement des vêlages, qui fait que la moyenne en jours en lait du troupeau est élevée en fin de période de pâturage. De plus, ce système est basé sur une ration composée de presque 100% d'herbe. Par ce moyen, les coûts alimentaires de production par 100 L de lait ont été quasiment divisés par 2 (de 19,7 € à 10,5 €) en été par comparaison à l'hiver. La marge de bénéfice en été est donc passée de 17,2 (hiver) à 26,4 € par 100 L produits.

L'analyse des données économiques sur plusieurs années a donc permis de relativiser la diminution de la FT et de la production laitière, eu égard à l'important gain économique lié au pâturage.

Ce résultat a été confirmé par ceux enregistrés à la ferme expérimentale de Trévarez en France (Brocard et al., 2015)

Bien entendu le système a ses limites avec notamment la grande vulnérabilité vis-à-vis des conditions climatiques. La pluie rend les déplacements des vaches plus difficiles et peut impacter leur bien-être si la salle d'attente n'est pas entretenue. Les épisodes de sécheresse de plus en plus marqués ces dernières années qui restreignent la croissance de l'herbe ont marqué les contraintes d'un système basé uniquement sur le pâturage.

Les systèmes mixtes combinant pâturage et distribution d'une ration complémentaire à l'étable ont fait l'objet d'un suivi mis en place lors du projet. Ce suivi organisé en fermes pilotes a permis de décrire des systèmes de fonctionnement performants menant à des productions laitières non statistiquement différentes de celles observées à l'étable malgré une FT diminuée. Dans ces exploitations, les animaux avaient un accès en journée à la prairie. Dans la majorité des cas, elles sortaient en prairie vers le matin à partir de 7 heures. La sortie en prairie se faisait sur base d'un tri, seules les vaches traites ayant accès au pâturage. Elles rentraient à l'étable en fin d'après-midi, recevaient une ration partielle mélangée et restaient à l'étable la nuit. La quantité de concentrés était diminuée pendant la saison de pâturage. La gestion du parcellaire était basée sur les systèmes de pâturage en rotation ou en « strip grazing » et contrôlée par des mesures de hauteur d'herbe. Elle a permis d'inclure en moyenne 30% d'herbe dans la ration.

Les résultats obtenus dans ces 2 systèmes nous ont conduits à nous interroger quant à l'importance de la FT sur les performances économiques et zootechniques. La dernière étude intégrée dans cette thèse a étudié via l'outil méta-analytique les différents facteurs impactant ce paramètre et finalement de quantifier la relation liant la FT à la production laitière. Après un classement des études reprises dans la revue bibliographique par analyse en composante principale, différents paramètres susceptibles d'influencer ce paramètre ont été identifiés et étudiés par des analyses par paires. Cette méthode nous a permis d'identifier les facteurs de variation conduisant aux résultats contrastés constatés dans les différentes études, tels que la distribution de concentrés dans différentes conditions (par exemple, en début de lactation, avec différents paramétrages de permission de traite, etc...), la permission de traite, le stade de lactation et l'allocation en herbe. Le passage d'une FT basse, soit 1,5 traites par vache et par jour (systèmes irlandais et néo-zélandais) à haute, soit 2,6 traites par vache et par jour (systèmes américains et d'Europe du Nord), s'accompagne d'une augmentation de la production laitière de près de 14 kg par vache et par jour, soit d'une production de 16,8 kg/vache et par jour en Irlande et Nouvelle Zélande à 28,9 kg/vache et par jour aux Etats-Unis. L'importance de cet indicateur a donc été confirmée.

Cette augmentation de production laitière a un coût puisqu'elle s'accompagne d'une distribution d'une ration partielle mélangée à l'étable et d'une augmentation de la consommation moyenne de concentrés, presque triplée par rapport aux systèmes full-pâturage. En période de prix de vente élevé du lait, cette option permet d'augmenter le revenu de l'agriculteur malgré les coûts de production plus élevés de 30% par 100 kg de lait. Par contre, lorsque le prix du lait est bas, le bénéfice lié à cette augmentation ne permet pas de compenser la hausse des coûts alimentaires.

En conclusion, la combinaison du robot et du pâturage est possible suivant différents systèmes qui ont été décrits dans le cadre de cette thèse. Chacun est adapté à différentes contraintes, telles que les étendues disponibles pour le pâturage, les aléas climatiques, ... Privilégier l'un ou l'autre de ces systèmes doit être réfléchi en fonction également des contraintes économiques.

Les perspectives

Le sujet de cette thèse est large et m'a permis d'aborder des domaines diversifiés : tant l'aspect technique du développement du robot de traite, que ses limites, la combinaison des connaissances touchant les productions et la santé animale, l'informatique, les mathématiques, que la gestion du pâturage, l'observation du comportement des animaux, l'intégration des techniques de précision dans la gestion du pâturage. Chacun de ces domaines donne lieu à des recherches et est en développement continu. Les perspectives sont dès lors très larges.

Pour en revenir au sujet développé dans la thèse, l'observation des conséquences du réchauffement climatique nous conduit à nous interroger sur la gestion du pâturage dans les années à venir. En effet, l'analyse des données climatiques récoltées dans différentes stations météorologiques proches des fermes pilotes nous a montré que l'augmentation des périodes de fortes chaleurs impactait la croissance de l'herbe et le bien-être des animaux. Le suivi de la croissance de l'herbe qui s'est poursuivi dans les fermes pilotes et expérimentale après la fin de ce projet nous a montré que les quantités d'herbe disponibles au printemps dépassaient souvent largement les besoins des animaux, une deuxième période de grande disponibilité de l'herbe avait tendance à se généraliser en automne, alors que le pâturage durant les mois de juin et de juillet était de plus en plus difficile à gérer par manque de ressources. Ces observations appellent à davantage de recherches quant au développement d'un pâturage de précision. Comme mentionné précédemment, les agriculteurs sont dans l'incertitude par rapport aux quantités d'herbe disponibles. Cette incertitude pourrait à terme les conduire à abandonner le pâturage. Or, que ce soit pour des questions économiques, écologiques ou sociétales, le pâturage se doit de rester un élément-clé de la gestion des fermes wallonnes.

L'incertitude liée à la disponibilité de l'herbe pourrait être atténuée par la généralisation des mesures de hauteur d'herbe, que ce soit dans certaines stations réparties suivant les régions agricoles ou idéalement dans chaque ferme. Il faut préciser que les techniques de mesure d'herbe ont, elles aussi, évolué avec l'apparition d'herbomètres connectés et de plateformes permettant une gestion motivée et comparée du pâturage. Les données collectées via ces techniques pourraient intégrer également celles disponibles via les images satellites – libres d'accès et générées actuellement plusieurs fois par semaine – et l'utilisation de drones. L'implémentation de ces informations permettrait une meilleure estimation de la densité du couvert herbager – point essentiel pour l'estimation des stocks disponibles. Une quantification précise de ces stocks permettrait aux agriculteurs d'envisager plus sereinement le pâturage. Dans des pays tels que la France ou l'Irlande, ces informations sont données aux agriculteurs avec également une prévision de la croissance de l'herbe basée sur les prédictions météorologiques, ce qui permet une projection hebdomadaire des stocks dont l'agriculteur peut disposer.

L'observation des courbes de croissance de l'herbe interroge sur la possibilité de mettre les animaux plus précocement en prairie - mi-mars, par exemple - et de les laisser plus tardivement en automne. La durée classique de pâturage pourrait dès lors être portée à 7 voire 8 mois. Par contraste, les périodes de sécheresse qui se généralisent ces dernières années laissent penser que les systèmes 100% pâturage doivent être reconsidérés avec une distribution prévue de complément en été et une gestion proche du système français avec des temps de fermeture des silos au moment de la forte croissance de l'herbe suivis de réouverture en période de carences. L'intégration du robot au pâturage, possible d'après les différentes études présentées dans ce travail devra donc suivre cette évolution.

L'intensification des fermes se poursuit en Wallonie comme ailleurs dans le monde. Le suivi des grands troupeaux en prairie – au-delà du problème de la disponibilité des prairies à proximité de l'étable – sera également un point clé à assurer et à améliorer. L'identification des animaux se différenciant du troupeau, par exemple isolés, à déplacement restreint ou ingérant moins, devra donc être améliorée. Les rapports générés par le robot étant liés au passage lors de la traite, il est également nécessaire de tenir compte de cette limite, par exemple en intégrant des stations de collecte de données alternatives placées en prairie.

Par contraste, le développement de l'agriculture biologique engendre d'autres besoins en termes d'autonomie alimentaire, qui pourraient faire appel à des développements ultérieurs du système de robot mobile.

La traite robotisée par la génération des données et des rapports, peut également apporter un suivi intéressant au niveau du bien-être animal. Certains capteurs présents sur le collier d'identification permettent déjà l'accès aux données d'activité et de rumination tandis que le poids et la production laitière sont enregistrés lors du passage au robot. D'autres indicateurs liés par exemple à la détection du stress thermique pourraient (devraient) être implémentés pour améliorer le bien-être des animaux en prairie. Une détection améliorée des boiteries, toujours en développement, permettrait également de

répondre aux contraintes particulières liées au robot et pâturage avec des animaux devant parfois parcourir des distances appréciables pour revenir au robot de traite.

En conclusion, le nombre de publications qui paraissent dans ce domaine démontrent l'intérêt global porté à cette problématique auquel s'ajoute un intérêt plus régional porté par des articles sur des sujets très locaux tels que l'utilisation du robot sur des races moins représentées, comme par exemple, le Buffalo (Sannino et al., 2018). Le robot de traite a été un des jalons marquant de la mutation du monde agricole vers plus de technologies. Il consacre l'avènement du « Big data » avec l'apparition du problème d'appartenance et de la valorisation des données récoltées au sein de l'exploitation par des firmes privées. Malgré les faiblesses dénoncées par ses détracteurs, il accompagnera sans nul doute le secteur agricole dans les profondes mutations auxquelles il devra faire face et sera un partenaire fiable vers plus de durabilité tant au niveau social, en améliorant le bien-être des exploitants comme de leurs animaux, au niveau économique, en améliorant la gestion globale du troupeau et donc ses performances, qu'au niveau environnemental par son assistance face aux défis climatiques.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

- Akhloufi, M.A. 2014. 3D vision system for intelligent milking robot automation. Page in Proc.SPIE.Vol:9025 <https://doi.org/10.1117/12.2046072>
- Bach, A., and V. Cabrera. 2017. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *J. Dairy Sci.* 100:7720–7728. doi:10.3168/jds.2016-11694.
- Bach, A., M. Devant, C. Igleasias, and A. Ferrer. 2009. Forced traffic in automatic milking systems effectively reduces the need to get cows, but alters eating behavior and does not improve milk yield of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 92: 1272-1280. doi:10.3168/jds.2008-1443.
- Bargo, F., L.D. Muller, J.E. Delahoy, and T.W. Cassidy. 2002. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J. Dairy Sci.* 85:1777–1792.
- Barkema, H.W., M.A.G. von Keyserlingk, J.P. Kastelic, T.J.G.M. Lam, C. Luby, J.-P. Roy, S.J. LeBlanc, G.P. Keefe, and D.F. Kelton. 2015. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *J. Dairy Sci.* 98:7426–7445. doi:10.3168/JDS.2015-9377.
- Bergsten, C. 2003. Causes, risk factors, and prevention of laminitis and related claw lesions. *Acta Vet. Scand. Suppl.* 98:157–166.
- Bos, K. 2004. Energy consumption on farms with an AM-system. Page 75 in *A better understanding of robotic milking*. Wageningen Academic Publishers.
- Brocard, V., Poulet J.L., Huneau T., Huchon J.-C., Follet D., Guiocheau S., H.T. 2014. Comment concilier la traite robotisée des vaches laitières avec un système de production pâturant?. *Innov. Agron.* 34:271–282.
- Brocard, V., I. Dufrasne, F. Lessire, and J. François. 2015. Challenging land fragmentation thanks a mobile milking robot: Statement of 2 cases of implementation: Liège and Trevarez experimental farms Page 330 in *66th Annual meeting of the European Federation of Animal Science*. Wageningen Academic Publishers.
- Brocard, V., F. Lessire, E. Cloet, T. Huneau, I. Dufrasne, and C. Déprés. 2017. Pâture avec un robot de traite: une diversité de stratégies... TT - Diverse ways to combine grazing and automatic milking systems. *Fourrages.* 229:17–24.
- Burow, E., P.T. Thomsen, J.T. Sørensen, and T. Rousing. 2011. The effect of grazing on cow mortality in Danish dairy herds. *Prev. Vet. Med.* 100:237–241. doi:10.1016/J.PREVETMED.2011.04.001.
- Castro, A., J.M. Pereira, C. Amiama, and J. Bueno. 2012. Estimating efficiency in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 95:929–936. doi:10.3168/JDS.2010-3912.
- Chanvallon, A., S. Coyral-Castel, J. Gatien, J.M. Lamy, D. Ribaud, C. Allain, P. Clément, and P. Salvetti. 2014. Comparison of three devices for the automated detection of estrus in dairy cows. *Theriogenology.* 82:734–741. doi:10.1016/j.theriogenology.2014.06.010.
- Clark, C.E.F., A. Horadagoda, K.L. Kerrisk, V. Scott, M.R. Islam, R. Kaur, and S.C. Garcia. 2014_a. Grazing soybean to increase voluntary cow traffic in a pasture-based automatic milking system. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:422–430. doi:10.5713/ajas.2013.13433.

Bibliographie

- Clark, C.E.F., N.B.P. Kwinten, D.A.J.M. Van Gastel, K.L. Kerrisk, N.A. Lyons, and S.C. Garcia. 2014b. Differences in voluntary cow traffic between Holstein and Illawarra breeds of dairy cattle in a pasture-based automatic milking system. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:587–591. doi:10.5713/ajas.2013.13435.
- Cloet, E., V. Brocard, F. Lessire, and S. Guiocheau. 2017. Maximizing grazing with a mobile milking robot. Pages 28–34 in *Precision Livestock Farming '17*.
- Davis, K.L., J.G. Jago, R. Wieliczko, P.J.A. Copeman, K. Bright, and M.W. Woolford. 2005. Factors influencing milk harvesting efficiency in an automatic milking system. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 65:271–275.
- Davis, K., J. Jago, K. MacDonald, J. McGowan, and M. Woolford. 2006. Pasture utilisation in a pastoral automated milking system. Pages 81–86 in *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*.
- Dillon, P., J.R. Roche, L. Shalloo, and B. Oran. 2005. Optimising financial return from grazing in temperate pastures. Utilisation of grazed grass in temperate animal systems. *Proceedings of a satellite workshop*. Pages :131–147. XXth Int. Grassl. Congr. Cork, Ireland, July 2005.
- DufRASne, I., Robaye V., Istasse L., H.J.L. 2012. Effects of environmental factors on yield and milking number in dairy cows milked by an automatic system located in pasture. Pages 231–233 in *Grassland - An European Resource*. *Proceedings of the 24th European grassland Federation*. Organizing Committee of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation and Polish Grassland Society, Poznań.
- Foley, C., J. Shortall, and B. O'Brien. 2015. Concentrate supplementation and milking frequency in automated milking with grazing. Pages 410–412 in *Grassland Science in Europe*. Vol. 20. Wageningen Academic Publishers.
- Gygax, L., I. Neuffer, C. Kaufmann, R. Hauser, and B. Wechsler. 2007. Comparison of functional aspects in two automatic milking systems and auto-tandem milking parlors. *J. Dairy Sci.* 9:4265–4274. doi:10.3168/jds.2007-0126.
- Halachmi, I., A. Dzidic, J.H. Metz, L. Speelman, A. Dijkhuizen, and J.P. Kleijnen. 2001. Validation of simulation model for robotic milking barn design. *Eur. J. Oper. Res.* 134:677–688. doi:10.1016/S0377-2217(00)00283-6.
- Hart, K.D., B.W. McBride, T.F. Duffield, and T.J. DeVries. 2013. Effect of milking frequency on the behavior and productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96:6973–6985. doi:10.3168/jds.2013-6764.
- Hogeveen, H., W. Ouweltjes, C.J.A. de Koning, and K. Stelwagen. 2001. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livest. Prod. Sci.* 72:157–167. doi:10.1016/S0301-6226(01)00276-7.
- Hovinen, M., and S. Pyörälä. 2011. Invited review: Udder health of dairy cows in automatic milking. *J. Dairy Sci.* 94:547–562. doi:10.3168/jds.2010-3556.
- Islam, M.R., C.E.F. Clark, S.C. Garcia, and K.L. Kerrisk. 2015. Modelling pasture-based automatic milking system herds: The impact of large herd on milk yield and economics. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 28:1044–1052. doi:10.5713/ajas.14.0387.
- Jacobs, J.A., and J.M. Siegford. 2012. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy

- cow management, behavior, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 95:2227–2247. doi:<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4943>.
- Jago, J.G., K.L. Davis, and M.W. Woolford. 2006. Stage of lactation affects the milking performance and behaviour of cows in a pasture-based automated milking system. Pages 258–262 in *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 66th Conference*, Wanaka, New Zealand.
- Jago, J.G., K.L. Davis, P.J. Copeman, I. Ohnstad, and M.M. Woolford. 2007. Supplementary feeding at milking and minimum milking interval effects on cow traffic and milking performance in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Res.* 74:492–499. doi:[10.1017/S002202990700283X](https://doi.org/10.1017/S002202990700283X).
- Jensen, T. 2004. Expectations of automatic milking and the realized socio-economic effects. Pages 78–79 in *A better understanding of robotic milking*. Wageningen Academic Publishers.
- Jiang, H., W. Wang, C. Li, W. Wang. Innovation, practical benefits and prospects for the future development of automatic milking systems. *Front. Agric. Sci. Eng.* 4:37–47.
- Kaihilahti, J., A. Suokannas, and S. Raussi. 2007. Observation of cow behaviour in an automatic milking system using web-based video recording technology. *Biosyst. Eng.* 96:91–97. doi:[10.1016/j.biosystemseng.2006.10.001](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.10.001).
- Ketelaar-de Lauwere, C.C., M.M.W.B. Hendriks, J. Zondag, A.H. Ipema, J.H.M. Metz, and J.P.T.M. Noordhuizen. 2000_a. Influence of routing treatments on cows' visits to an automatic milking system, their time budget and other behaviour. *Acta Agric. Scand. Sect. A — Anim. Sci.* 50:174–183. doi:[10.1080/090647000750014304](https://doi.org/10.1080/090647000750014304).
- Ketelaar-de Lauwere, C.C., A.H. Ipema, C. Lokhorst, J.H.M. Metz, J.P.T.M. Noordhuizen, W.G.P. Schouten, and A.C. Smits. 2000_b. Effect of sward height and distance between pasture and barn on cows' visits to an automatic milking system and other behaviour. *Livest. Prod. Sci.* 65:131–142. doi:[10.1016/S0301-6226\(99\)00175-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00175-X).
- Khatun, M., R.M. Bruckmaier, P.C. Thomson, J. House, and S.C. García. 2019. Suitability of somatic cell count, electrical conductivity, and lactate dehydrogenase activity in foremilk before versus after alveolar milk ejection for mastitis detection. *J. Dairy Sci.* 102:9200–9211. doi:[10.3168/jds.2018-15752](https://doi.org/10.3168/jds.2018-15752).
- King, M.T.M., E.A. Pajor, S.J. LeBlanc, and T.J. DeVries. 2016. Associations of herd-level housing, management, and lameness prevalence with productivity and cow behavior in herds with automated milking systems. *J. Dairy Sci.* 99:9069–9079. doi:[10.3168/jds.2016-11329](https://doi.org/10.3168/jds.2016-11329).
- Kismul, H., E. Spörndly, M. Höglind, G. Næss, and T. Eriksson. 2018. Morning and evening pasture access – comparing the effect of production pasture and exercise pasture on milk production and cow behaviour in an automatic milking system. *Livest. Sci.* 217:44–54. doi:[10.1016/j.livsci.2018.09.013](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.013).
- Kolbach, R., K.L. Kerrisk, S.C. Garcia, and N.K. Dhand. 2013. Effects of bail activation sequence and feed availability on cow traffic and milk harvesting capacity in a robotic rotary dairy. *J. Dairy Sci.* 96:2137–2146. doi:[10.3168/jds.2012-5332](https://doi.org/10.3168/jds.2012-5332).
- de Koning, K., and J. Rodenburg. 2004_a. Automatic milking: State of the art in Europe and North America. Pages 27–37 in *Automatic milking: A better understanding*. Wageningen Academic Publishers, Den Haag.

Bibliographie

- de Koning, K., B. Slaghuis, and Y. van der Vorst. 2004_b. Milk quality on farms with an automatic milking system. Pages 311–320 in *Automatic milking: A better understanding*. Wageningen Academic Publishers, Den Haag.
- de Koning, C.J. 2011. Automatic milking: Common practice on over 10,000 dairy farms worldwide. *Dairy Res. Found. Symp.* 2011, 16, Univ. Sydney, Camden, Aust. 14–31.
- Krawczel, P., S. Ferneborg, L. Wiking, T.K. Dalsgaard, S. Gregersen, R. Black, T. Larsen, S. Agenäs, K. Svennersten-Sjaunja, and E. Ternman. 2017. Milking time and risk of over-milking can be decreased with early teat cup removal based on udder quarter milk flow without loss in milk yield. *J. Dairy Sci.* 100:6640–6647. doi:10.3168/jds.2016-12312.
- Lessire, F., E. Knapp, and I. Dufrasne. 2013_a. Mise en route d'un robot mobile: réponses aux contraintes techniques. *Point Vétérinaire* 341:52.
- Lessire, F., E. Knapp, and I. Dufrasne. 2013_b. Retour d'expérience sur le robot de traite mobile. *Point Vétérinaire* 341:60.
- Lessire, F., C. Scohier, and I. Dufrasne. 2017. Impact of grazing practices on farm self-sufficiency, milk and economic performances of three automatized farms. Pages 182–184 in 19th Symposium of the European Grassland Federation. Wageningen Academic Publishers.
- Lessire, F., S. Jacquet, D. Veselko, E. Piraux, and I. Dufrasne. 2019. Evolution of Grazing Practices in Belgian Dairy Farms : Results of Two Surveys. *Sustainability* 11:1–15.
- Lind, O., A.H. Ipema, C. de Koning, T.T. Mottram, and H. H-J. 2000. Automatic milking: Reality, challenges and opportunities. Pages 19–31 in *Robotic milking*. Wageningen Pers. Den Haag.
- Luther, H., E. Stamer, W. Junge, and E. Kalm. 2004. Analysis of teat cup attachment under practical conditions. Pages 500–501 in *A better understanding of robotic milking*. Wageningen Academic Publishers.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, N.K. Dhand, and S.C. Garcia. 2013_a. Factors associated with extended milking intervals in a pasture-based automatic milking system. *Livest. Sci.* 158:179–188. doi:10.1016/j.livsci.2013.10.010.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, and S.C. Garcia. 2013_b. Comparison of 2 systems of pasture allocation on milking intervals and total daily milk yield of dairy cows in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 96:4494–4504. doi:10.3168/jds.2013-6716.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, and S.C. Garcia. 2013_c. Effect of pre- versus postmilking supplementation on traffic and performance of cows milked in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 96:4397–4405. doi:10.3168/jds.2012-6431.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, N.K. Dhand, V.E. Scott, and S.C. Garcia. 2014_a. Animal behavior and pasture depletion in a pasture-based automatic milking system. *animal* 8:1506–1515. doi:10.1017/S1751731114001190.
- Lyons, N.A., K.L. Kerrisk, and S.C. Garcia. 2014_b. Milking frequency management in pasture-based automatic milking systems: A review. *Livest. Sci.* 159:102–116. doi:https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.011.
- Mahmoud, F., B. Christopher, A. Maher, H. Jürg, S. Alexander, S. Adrian, and H. Gaby. 2017. Prediction of calving time in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 187:37–46.

doi:10.1016/j.anireprosci.2017.10.003.

- Nieman, C.C., K.M. Steensma, J.E. Rowntree, D.K. Beede, and S.A. Utsumi. 2015. Differential response to stocking rates and feeding by two genotypes of Holstein-Friesian cows in a pasture-based automatic milking system. *Animal* 9:2039–2049. doi:10.1017/S1751731115001901.
- Nørstebø, H., A. Rachah, G. Dalen, O. Østerås, A.C. Whist, A. Nødtvedt, and O. Reksen. 2019. Large-scale cross-sectional study of relationships between somatic cell count and milking-time test results in different milking systems. *Prev. Vet. Med.* 165:44–51. doi:10.1016/J.PREVETMED.2019.02.007.
- O'Brien, B., C. Foley, S. Danilo, T. Huneau, J. François, E. Cloët, S. Bertrand, F. Lessire, I. Dufrasne, F.W. Oudshoorn, and E. Spördnly. 2015. Optimizing pasture proportion in cow diet in association with Automatic Milking – Guidelines for different countries and production systems. November 2015.
- O'Grady, M.J., and G.M.P. O'Hare. 2017. Modelling the smart farm. *Inf. Process. Agric.* 4:179–187. doi:10.1016/j.inpa.2017.05.001.
- de Olde, E.M., F.W. Oudshoorn, C.A.G. Sørensen, E.A.M. Bokkers, and I.J.M. de Boer. 2016. Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecol. Indic.* 66:391–404. doi:10.1016/J.ECOLIND.2016.01.047.
- Penry, J.F. 2018. Mastitis Control in Automatic Milking Systems. *Vet. Clin. North Am. - Food Anim. Pract.* 34:439–456. doi:10.1016/j.cvfa.2018.06.004.
- Persson Waller, K., T. Westermark, T. Ekman, and K. Svennersten-Sjaunja. 2003. Milk leakage - An increased risk in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 86:3488–3497. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73953-8.
- Pettersson G., K. Svennersten-Sjaunja and C.H Knight. 2011. Relationship between milking frequency, lactation persistency and milk yield in Swedish Red heifers and cows milked in a voluntary attendance automatic milking system. *J. Dairy Res.* 78:379–384. doi:101017/S00220991000471.
- Pomies, D. 2000. Comparison of hygienic quality of milk collected with a milking robot vs. with a conventional milking parlour. Pages 122–123 in *Robotic milking*. Wageningen Academic Publishers, Lelystad.
- Pomies, P.-G., S. Marnet, S. Cournut, F. Barillet, J. Guinard-Flament, and B. Rémond. 2008. Les conduites de traite simplifiées en élevage laitier : vers la levée de l'astreinte biquotidienne. *Prod. Anim.* 21:59–70.
- Rasmussen, J.B., and M.D. Rasmussen. 2002. The power consumption rises with AMS, the water consumption remains the same. Pages VI–63 in *The First North American Conference on Precision Dairy Management 2002*. Wageningen Academic Publishers, Toronto.
- Rasmussen, M.D., M. Bjerring, P. Justesen, and L. Jepsen. 2002. Milk Quality on Danish Farms with Automatic Milking Systems. *J. Dairy Sci.* 85:2869–2878. doi:10.3168/JDS.S0022-0302(02)74374-9.
- Rastogi, A., A. Pal, and B.S. Ryuh. 2018. Real-time teat detection using haar cascade classifier in smart automatic milking system. *Proc. - 7th IEEE Int. Conf. Control Syst. Comput. Eng. ICCSCE 2017* 2017-November:74–79. doi:10.1109/ICCSCE.2017.8284383.

Bibliographie

- Rodenburg, J. 2017. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *J. Dairy Sci.* 100:7729–7738. doi:10.3168/jds.2016-11715.
- Rossing, W., and P.H. Hogewerf. 1997. State of the art of automatic milking systems. *Comput. Electron. Agric.* 17:1–17. doi:10.1016/s0168-1699(96)01229-x.
- Rotz, C.A., C.U. Coiner, and K.J. Soder. 2003. Automatic Milking Systems, Farm Size, and Milk Production. *J. Dairy Sci.* 86:4167–4177. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)74032-6.
- Sannino, M., S. Faugno, M. Crimaldi, A. Di Francia, L. Ardito, F. Serrapica, and F. Masucci. 2018. Effects of an automatic milking system on milk yield and quality of Mediterranean buffaloes. *J. Dairy Sci.* 101:8308–8312. doi:10.3168/jds.2017-14157.
- Scott, V.E., K.L. Kerrisk, P.C. Thomson, N.A. Lyons, and S.C. Garcia. 2015. Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livest. Sci.* 171:52–63. doi:https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.11.002.
- Shortall, J., C. Foley, R.D. Sleator, and B. O'Brien. 2018_a. The effect of concentrate supplementation on milk production and cow traffic in early and late lactation in a pasture-based automatic milking system. *Animal* 12:853–863. doi:10.1017/S1751731117002221.
- Shortall, J., C. Foley, R.D. Sleator, and B. O'Brien. 2018_b. The effect of dairy cow breed on milk production, cow traffic and milking characteristics in a pasture-based automatic milking system. *Livest. Sci.* 209:1–7. doi:https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.01.002.
- Siewert, J.M., J.A. Salfer, and M.I. Endres. 2018. Factors associated with productivity on automatic milking system dairy farms in the Upper Midwest United States. *J. Dairy Sci.* 101:8327-8334. doi:10.3168/jds.2017-14297.
- Simon, J., M. Prikryl, and A. Machalek. 2013. Influence of audiostreamulation on milking interval on dairy farms equipped by automatic milking system. Pages 595–598 in Conference Proceeding - 5th International Conference, TAE 2013: Trends in Agricultural Engineering.
- Sloth, K.H.M.N., N.C. Friggens, P. Løvendahl, P.H. Andersen, J. Jensen, and K.L. Ingvarsten. 2003. Potential for improving description of bovine udder health status by combined analysis of milk parameters. *J. Dairy Sci.* 86:1221–1232. doi:10.3168/JDS.S0022-0302(03)73706-0.
- Spahr, S.L., and E. Maltz. 2002. Herd management for robot milking. *Comput. Electron. Agric.* 17:53–62. doi:10.1016/s0168-1699(96)01225-2.
- Spörndly, E., and E. Wredle. 2004. Automatic Milking and Grazing—Effects of distance to pasture and level of supplements on milk yield and cow behavior. *J. Dairy Sci.* 87:1702–1712. doi:10.3168/JDS.S0022-0302(04)73323-8.
- Spörndly, E., and E. Wredle. 2005. Automatic milking and grazing - Effects of location of drinking water on water intake, milk yield, and cow behavior. *J. Dairy Sci.* 88:1711–1722.
- Steenefeld, W., L.C. van der Gaag, W. Ouweltjes, H. Mollenhorst, and H. Hogeveen. 2010. Discriminating between true-positive and false-positive clinical mastitis alerts from automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 93:2559–2568. doi:10.3168/jds.2009-3020.
- Svennersten-Sjaunja, K.M., and G. Pettersson. 2008. Pros and cons of automatic milking in Europe.. *J. Anim. Sci.* 86:37–46. doi:10.2527/jas.2007-0527.

- Talukder, S., P.C. Thomson, K.L. Kerrisk, C.E.F. Clark, and P. Celi. 2015. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. *Theriogenology* 83:739–748. doi:10.1016/j.theriogenology.2014.11.005.
- Tremblay, M., J.P. Hess, B.M. Christenson, K.K. McIntyre, B. Smink, A.J. van der Kamp, L.G. de Jong, and D. Döpfer. 2016. Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 99:3824–3837. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2015-10152.
- Utsumi, S. 2011. Strategies to increase the efficiency of automatic milking and milk production from high producing dairy cows. *Proc. Dairy Res. Found. Symp.* 18:34–43.
- Van Dooren, H, Heutinck, L, Biewenga, G and Zonderland, J. 2004. The influence of three grazing systems on AMS performance. Pages 292–297 in *Automatic milking: A better understanding*. Wageningen Academic Publishers.
- Veysset, P., P. Wallet, and E. Prugnard. 2001. Le robot de traite : Pour qui ? pourquoi ? Caractérisation des exploitations équipées, simulations économiques et éléments de réflexion avant investissement. *Prod. Anim.* 14:51–61.
- Watt, L.J., C.E.F. Clark, G.L. Krebs, C.E. Petzel, S. Nielsen, and S.A. Utsumi. 2015. Differential rumination, intake, and enteric methane production of dairy cows in a pasture-based automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 98:7248–7263. doi:10.3168/jds.2015-9463.
- Wildridge, A.M., P.C. Thomson, S.C. Garcia, E.C. Jongman, C.E.F. Clark, and K.L. Kerrisk. 2018b. The impact of fetching at night on milking parlour visitation for pasture-based dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 201:25–30. doi:https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.12.014.
- Wredle, E., L., Munksgaard, and E. Spörndly. 2006. Training cows to approach the milking unit in response to acoustic signals in an automatic milking system during the grazing season. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 101:27–39. doi:10.1016/J.APPLANIM.2006.01.004.
- Zehner, N., J.J. Niederhauser, M. Schick, and C. Umstatter. 2019. Development and validation of a predictive model for calving time based on sensor measurements of ingestive behavior in dairy cows. *Comput. Electron. Agric.* 161:62–71. doi:10.1016/j.compag.2018.08.037.

Bibliographie

Articles consultés en ligne

Fedagrim (2019) Analyse du secteur de l'équipement pour le secteur agricole et des parcs et jardins en 2018. Consulté en ligne le 19/2/2020. <https://www.fedagrim.be/fr>

Schubnel M. Six robots de traite en détail. Matériel agricole.16/9/2015. Consulté en ligne le 5/11/2019. <https://www.materielagricole.info/afimilk/article/718410/6-robots-de-traite-en-detail>

Serai, R. Robots de traite. Cinq marques en lice. 24/8/2007. Article consulté en ligne le 5/2/2020. <http://www.lafranceagricole.fr/article/robots-de-traite-cinq-marques-en-lice-1,0,15816496.html>

Vergonjeanne R. Quelles performances attendre du Herd Navigator? 30/12/2014. Consulté en ligne le 5/11/2019. <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/sante-animale/article/qu-elles-performances-zootecniques-attendre-du-herd-navigator-1184-106661.html>

Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège

4000 Liège (Belgique)

D/2020/0480/8

ISBN 978-2-87543-155-4

