



HAL
open science

Évaluation de l'intérêt des nouvelles technologies pour améliorer la gestion du pâturage avec un robot de traite

Jean Raynal

► **To cite this version:**

Jean Raynal. Évaluation de l'intérêt des nouvelles technologies pour améliorer la gestion du pâturage avec un robot de traite. Sciences agricoles. 2014. dumas-01092069

HAL Id: dumas-01092069

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01092069>

Submitted on 8 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS
OUEST

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2013-2014

Spécialité :

Ingénierie zootechnique

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Evaluation de l'intérêt des nouvelles technologies pour améliorer la gestion du pâturage avec un robot de traite

Par : Jean Raynal



Soutenu à Rennes le 11/09/2014

Devant le jury composé de :

Président : Yannick Le Cozler

Maître de stage : Clément Allain

Enseignant référent : Catherine Disenhaus

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

Jocelyne Flament, rapporteur

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité :

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible⁽¹⁾.
A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).

Date et signature du maître de stage⁽²⁾ :

Droits d'auteur :

L'auteur⁽³⁾ autorise la diffusion de son travail

Oui Non

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

- la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾
- la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé
- la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage Clément Allain pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce stage à l'Institut de l'élevage. Merci également pour sa disponibilité, ses conseils et sa confiance tout au long de ce stage.

Ensuite, je voudrais remercier les personnes qui ont rendu possible la réalisation de mes expérimentations, à savoir le personnel de la ferme expérimentale de Derval. Merci en particulier à Thomas pour son appui, et à Jérôme et Bruno pour leur aide dans mon travail et leurs réponses à toutes mes questions sur la gestion du troupeau.

Merci aux personnes avec j'ai travaillé dans le cadre du projet Autograssmilk : Catherine Entraygues, pour tout le travail réalisé en collaboration sur la ferme de Derval, Thomas Meignan, pour son hospitalité et sa collaboration sur la ferme de Trévarez, et Valérie Brocard, pour ses conseils et sa bonne humeur.

Je voudrais aussi remercier Catherine Disenhaus, ma tutrice au sein d'Agrocampus Ouest, pour le suivi du bon déroulement de mon stage.

Merci également à toutes les personnes qui ont participé à la journée d'observation du 17 Avril à la ferme expérimentale de Derval : Céline, Margaux, Thomas, Johan, Cécile, Leonardo et toutes les personnes citées précédemment qui y ont participé. Je voudrais adresser un remerciement tout particulier à Anne Brulé pour son aide à la mise en place de cette journée et pour la formation sur le comportement et les boiteries des vaches laitières.

Enfin, merci à toutes les personnes qui m'ont aidé, de près ou de loin, dans la réalisation de ce mémoire.

Table des matières

Remerciements	
Table des matières	
Liste de abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Introduction	1
Synthèse bibliographique	2
I. Les paramètres qui influencent le pâturage avec un robot de traite	2
1. Des fourrages complémentaires pour encourager la circulation	2
2. La distance pâture – bâtiment semble avoir un effet sur la fréquence de traite	3
3. Un effet significatif de la hauteur d’herbe disponible	4
II. Que peut-on mesurer sur les vaches pour améliorer le pâturage ?	5
1. L’étude de l’activité des vaches au pâturage présente un intérêt certain	5
2. Une diversité de mesures pour différents objectifs	5
A. La position de la vache et de sa tête permet de connaître son activité au pâturage	5
B. Le nombre de bouchées est nécessaire au calcul de la quantité ingérée	5
C. Le temps d’ingestion au pâturage : une information supplémentaire sur le comportement alimentaire	6
Matériels et méthodes	7
1. Animaux	7
2. Ferme expérimentale de Derval	7
3. Observation des vaches laitières	7
4. Enregistrement des données	8
A. Le Lifecorder : enregistrement du temps d’ingestion	8
B. Antennes d’identification	8
5. Données supplémentaires utilisées	9
6. Disponibilité des données	9
7. Analyse statistique	9
Résultats	10
I. Journée d’observation : un double objectif	10
1. Présentation du budget temps des vaches laitières	10
2. Validation du capteur : un outil fiable	10
II. Comportement alimentaire des vaches laitières : une grande variabilité individuelle et temporelle	11

1.	Comportement alimentaire des vaches au pâturage	11
A.	Un goût plus prononcé pour le pâturage chez certaines vaches.....	11
B.	Cette préférence est variable dans le temps	11
2.	Comportement alimentaire du troupeau	12
III.	La mise en classes pour rassembler les individus qui se ressemblent	12
1.	Les jours de pâturage diffèrent principalement par l'avancement de la parcelle.....	13
2.	Le comportement de pâturage des vaches dépend des jours	13
A.	Classes à partir du temps de pâturage	13
B.	Classes à partir du temps d'ingestion	14
C.	Les vaches gardent-elles le même comportement tout au long de la saison de pâturage ?	14
	Discussion.....	15
I.	Budget temps des vaches laitières	15
II.	Validation des capteurs	15
III.	Limites dues au travail sur des moyennes et au faible nombre d'individus.....	16
IV.	Difficultés techniques et répercussions sur le jeu de données.....	16
V.	Ecart par rapport au protocole	16
VI.	Implication d'une distribution non constante de maïs	17
VII.	Le pâturage tournant simplifié ne facilite pas la productivité des pâtures	17
VIII.	La distance pâture-bâtiment : un effet contrasté.....	18
IX.	Saturation du robot : implications possibles dans les résultats	18
X.	Intérêt de l'utilisation de capteurs d'ingestion pour la gestion du pâturage	18
	Conclusion	20
	Références bibliographiques	21
	Sitographie	22
	Annexes	

Liste des abréviations

ACP : analyse en composante principale

DI : durée d'ingestion

kg : kilogramme

Ha : hectare

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MS : matière sèche

RGA : ray-grass anglais

SHD : stock d'herbe disponible

TB : trèfle blanc

VL : vache laitière

Liste des figures

Figure 1: Plan du parcellaire de Derval

Figure 2 : Schéma du bâtiment de Derval et localisation des antennes

Figure 3 : Lifecorder plus (Photo : site www.suzuken-kenz.com)

Figure 4 : Photo d'un collier avec Lifecorder sur une vache (rose)

Figure 5 : Exemple de graphe obtenu après traitement des données du Lifecorder (vache 3546, 15/06/2014)

Figure 6: localisation des antennes d'identification en entrée et sortie de bâtiment (crédit photo: Clément Allain, IDELE)

Figure 7 : Temps d'ingestion obtenu avec le Lifecorder en fonction du temps d'ingestion + déplacement observé (pour des séquences de pâturage, au seuil de 0,5)

Figure 8 : Durées d'ingestion moyennes des vaches sur toute la période d'expérimentation (min)

Figure 9 : Variables continues actives de l'ACP caractérisant les jours de pâturage (DI=Durée d'ingestion)

Figure 10: Moyennes de la durée d'ingestion et du temps d'accès à la pâture des 25 vaches équipées de colliers, du 1^{er} Mai au 30 Juin

Figure 11 : Variables continues actives de l'ACP caractérisant les jours de pâturage (DI=Durée d'ingestion)

Figure 12 : Durée d'ingestion et quantité de maïs ensilage distribué à l'échelle d'une parcelle (T2, du 01/05 au 10/05)

Figure 13 : Hauteurs d'herbe et quantités d'ensilage de maïs distribuées à l'échelle d'une parcelle (T2, du 1^{er} au 10 Mai)

Figure 14 : Moyenne du nombre de vaches à la pâture heure par heure, pour les 3 classes de jours

Figure 15 : Variables nominales illustratives de l'ACP caractérisant les jours de pâturage, incluant les classes de jours

Figure 16 : Moyenne des valeurs de ratio en fonction du temps d'attente au robot pour chaque vache

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquence de traite, nombre de visites au bâtiment et production laitière de vaches avec un bas ou un haut niveau de complémentation en fourrages durant la saison de pâturage (d'après Spörndly et al., 2002)

Tableau 2 : Caractéristiques et performances des deux systèmes testés (d'après J. Jago et al., 2010)

Tableau 3 : Fréquence de traite et production laitière en fonction de la distance issues de deux expérimentations (d'après Ketelaar-de-Lauwere et al., 2000 et Spörndly et al., 2004)

Tableau 4 : Validation du capteur d'activité 3D (HOB0) avec ou sans les informations du IceTag (d'après Nielsen, 2013)

Tableau 5 : Temps d'accès à la pâture, d'ingestion d'herbe et de maïs, de rumination de déplacement et de repos pour les vaches laitières de Derval, pour une durée de 9h30 (min)

Tableau 6 : Coefficients de détermination des régressions linéaires simples et biais moyen (%) entre les données du Lifecorder et celles issues des observations

Tableau 7 : matrice des corrélations caractérisant les 25 vaches équipées de colliers

Tableau 8 : Moyennes et écart-types de la durée d'ingestion, du temps d'accès à la pâture et du ratio pour les 3 classes de jour

Tableau 9 : Caractéristiques des classes de vaches par classes de jour, à partir des données de temps d'accès à la pâture

Tableau 10 : Caractéristiques des classes de vaches par classes de jour, à partir des données de temps d'ingestion

Tableau 11 : Répartitions des vaches dans leurs classes réalisées à partir des temps de pâturage, selon les classes de jour

Tableau 12 : Pourcentage du temps d'ingestion observé pour différents niveaux d'intensité d'accélération enregistré par le Lifecorder (d'après Ueda et al., 2011)

Tableau 13 : périodes de non disponibilité des données d'antennes, avec parcelle et avancement correspondant

Tableau 14 : Hauteurs d'herbe d'entrée et sortie, et quantité de maïs distribué pour chaque premier jour dans une parcelle

Tableau 15 : Comparaison des moyennes de durée d'ingestion, temps d'accès à la pâture, fréquence de traite et production laitière entre les trois parcelles

Liste des annexes

Annexe I : *présentation du projet Autograssmilk*

Annexe II : *protocole de pâturage 2014 de la ferme expérimentale de Derval*

Annexe III : protocole pour l'observation des vaches laitières en période de pâturage en situation de traite robotisée

Annexe IV : présentation des fichiers de Rémy Delagarde (INRA, UMR1348 PEGASE – Agrocampus) pour traiter les données du Lifecorder

Annexe V : moyennes et écart-types de la durée d'ingestion, du temps d'accès à la pâture et du ratio entre ces deux dernières valeurs, pour chaque vache sur toute la durée de l'expérimentation

Annexe VI : diagrammes en boîte présentant les temps d'accès à la pâture des 25 vaches équipées de colliers

Annexe VII : moyennes et écart-types de la durée d'ingestion, du temps d'accès à la pâture et du ratio entre ces deux dernières valeurs, pour chaque jour d'expérimentation

Annexe VIII : évolution de la durée d'ingestion et de la quantité de maïs distribuée à l'échelle de la parcelle, et sur la période d'expérimentation

Annexe IX: matrices des corrélations de l'analyse en composantes principales caractérisant les jours de pâturage sur toute la période d'expérimentation

Annexe X : analyses en composantes principales caractérisant les classes de jour réalisées et matrices des corrélations correspondantes

Introduction

L'expansion des robots de traite en production bovine laitière en France et en Europe est une réalité. En France, l'évolution est exponentielle depuis les années 2000, avec 3800 exploitations équipées fin 2013 (IDELE, 2014). C'est quatre fois plus qu'en 2007, et presque deux fois plus qu'en 2010. Toutefois, cette augmentation s'accompagne souvent de la diminution de la part d'herbe pâturée dans la ration des vaches. L'intérêt économique et écologique démontré du pâturage est donc un atout qui va être perdu si on ne parvient pas à intégrer les robots dans des systèmes pâturants. Pour y parvenir, 6 pays européens se sont rassemblés autour d'un projet commun : Autograssmilk. Ce projet a pour objectif d'accroître la compétitivité de l'élevage laitier européen en réussissant la combinaison pâturage et traite robotisée, et ce dans différents contextes et systèmes de production régionaux. Le travail présenté ici s'inscrit dans un des axes de travail de ce projet : utilisation de nouvelles technologies de précision, à l'échelle de l'animal ou de la parcelle, pour optimiser la gestion du pâturage avec un robot de traite.

En effet, certains outils d'élevage de précision pourraient venir en aide aux éleveurs pour la gestion du pâturage, et ainsi les encourager à valoriser la ressource fourragère la moins chère, à savoir l'herbe pâturée. Dans cet objectif, l'Institut de l'élevage s'est muni de capteurs qui permettent d'enregistrer le temps d'ingestion d'herbe au pâturage. Ces capteurs ont été utilisés pour l'expérimentation sur les vaches de la ferme expérimentale de Derval, disposant également d'antennes d'identification permettant d'enregistrer les passages des vaches en entrée et sortie de bâtiment. Le travail effectué comprend la mise en place d'une expérimentation et son suivi, la récolte des données et leur interprétation.

La première partie de ce mémoire présentera quelques résultats de la littérature sur la combinaison entre robot de traite et pâturage, ainsi que différents paramètres mesurables sur les vaches grâce aux nouvelles technologies. La méthodologie et les résultats de l'expérimentation seront ensuite présentés, avec un premier temps sur la validation des capteurs permettant de mesurer le temps d'ingestion au pâturage, et un second temps sur l'évaluation de l'intérêt des données de comportement alimentaire des vaches laitières pour la gestion du pâturage. Ces résultats seront discutés afin de les expliquer par le contexte de la ferme expérimentale de Derval, de formuler des hypothèses sur la pertinence de l'utilisation de telles technologies pour le pilotage quotidien du pâturage et d'envisager les travaux complémentaires à mener.

Tableau 1 : Fréquence de traite, nombre de visites au bâtiment et production laitière de vaches avec un bas ou un haut niveau de complémentation en fourrages durant la saison de pâturage (d'après Spörndly et Wredle., 2002)

<i>Période 1(5 Juin-13 Juillet)</i>	« Low »	« High »	Seuil
Fréquence de traite (/vache/jour)	2,33	2,29	Non significatif
Nombre de visites au bâtiment (/vache/jour)	4,85	4,3	Non significatif
Lait (kg/jour)	26,1	26	Non significatif
<i>Période 2 (2 – 30 Août)</i>			
Fréquence de traite (/vache/jour)	2,44	2,10	P<0,01
Nombre de visites au bâtiment (/vache/jour)	4,61	3,93	Non significatif
Lait (kg/jour)	22,9	23,4	Non significatif

Synthèse bibliographique

I. Les paramètres qui influencent le pâturage avec un robot de traite

Plusieurs paramètres peuvent influencer la réussite de la combinaison entre robot de traite et pâturage. Les différentes gestions de ces paramètres ont pour but de favoriser une bonne circulation des vaches entre le robot et la pâture, afin de maintenir à la fois un bon niveau d'ingestion et une bonne productivité. Il y a deux principaux types de conduite dont les différentes gestions peuvent influencer la circulation et la production des vaches : la disponibilité de fourrages complémentaires au bâtiment et la quantité d'herbe disponible en pâture. La distance entre le bâtiment et la pâture sera aussi abordée car elle peut influencer la circulation des animaux.

1. Des fourrages complémentaires pour encourager la circulation

Les expérimentations réalisées sur le robot de traite en combinaison avec du pâturage ne comprenaient pas la modalité « 100% pâturage ». Il y avait toujours une quantité de fourrage plus ou moins importante disponible au bâtiment. Ces fourrages sont censés avoir un rôle incitatif afin de faire revenir les vaches volontairement au bâtiment, et donc à la traite lorsque celles-ci sont dans les pâtures.

Dans leur publication, Spörndly et Wredle (2002) font un point sur les motivations des vaches à revenir au robot, et notamment l'alimentation. Dans l'expérimentation, les vaches peuvent pâturer 24h/24. Elles sont divisées en deux groupes : le groupe « high » recevant un fourrage complémentaire *ad libitum*, et le groupe « low » recevant 3kg par jour de ce même fourrage (ensilage d'herbe + foin). L'eau n'est disponible que dans le bâtiment en période 1 et également dans la parcelle en période 2.

Le *Tableau 1* montre qu'il y a très peu de différences entre les deux niveaux de complémentation en fourrage en ce qui concerne la fréquence de traite, le nombre de visites au bâtiment et la production laitière. La seule différence est la fréquence de traite plus élevée du groupe « low » en période 2. Lors de périodes d'observations de 10 vaches, les auteurs ont noté que le temps passé à pâturer ne diffère pas. Par contre, le comportement a changé au fil de la saison de pâturage : les vaches passent le même temps dehors mais se couchent parfois dans le chemin d'accès. Le temps d'ingestion au pâturage diminue également de 10%. Les auteurs ont supposé que les vaches du groupe « low » ont donc pu avoir faim, ce qui a motivé leur retour pour avoir accès aux concentrés du robot.

Dans une autre publication, Spörndly et Wredle (2004) ont étudié l'effet de la distance pâture-bâtiment et en même temps celui de la complémentation en fourrage au bâtiment. Nous présenterons donc ces résultats dans la partie B.

En 2002 et 2003, Spörndly et al. (2004) ont testé deux distances pâture-bâtiment (moins de 150m et plus de 500m) et deux niveaux de complémentations à l'auge (6 et 10 kg de MS d'ensilage de maïs). L'analyse statistique a montré qu'il n'y a pas d'effet significatif de la complémentation en fourrage sur la quantité de lait produite ou l'intervalle de traite. En ce qui concerne le temps de pâturage, il a été significativement supérieur pour les vaches à bas niveau de complémentation en 2003. Les auteurs nous mettent en garde avec ce résultat car ce temps était plus court en 2002 pour ce même groupe de vaches, même si cela n'était pas significatif.

Tableau 2 : Caractéristiques et performances des deux systèmes testés (d'après J. Jago et al., 2010)

	GRASS	GRASS+
Nombre de vaches	92	72
Extrait sec (matières grasses + protéines)/vache (kg)	365	418
Extrait sec/ha (kg)	1166	1504
Extrait sec/robot (kg)	33572	30073
Quantité de lait/vache (kg)	4420	5092
Fréquence de traite moyenne (traites/jour)	1,5	2
Utilisation du robot au pic de lactation (% du temps occupé/jour, Novembre)	81	74

Dans leur publication, Jago et al. (2010) ont testé la viabilité économique des robots de traite dans les systèmes néo-zélandais basés sur le pâturage. Ils ont donc testé deux moyens d'atteindre 140 traites par jour : avec plus de vaches, moins de traites par vache et peu d'intrants (système « GRASS »), ou moins de vaches, plus de traites par vache et plus d'intrants (système « GRASS+ »). Ce dernier système dispose donc de fourrages en bâtiment (ensilage d'herbe et concentré, 18% de la ration). Il y a 72 vaches pour ce système, avec un objectif de fréquence de traite de 2 par jour. Il y a 20 vaches de plus pour le système « GRASS », et un objectif de fréquence de traite de 1,5.

Les vaches du groupe « GRASS+ » produisent plus de lait par vache et par hectare que les autres, comme on pouvait s'y attendre. Par contre, le groupe « GRASS » produit plus de lait par robot, et a une meilleure utilisation du robot (temps de présence de vache au robot) (Tableau 2). En ce qui concerne la fréquence de traite, l'objectif de 1,5 est atteint pour le groupe « GRASS », mais il a été seulement de 1,8 pour le groupe « GRASS+ ».

2. La distance pâture – bâtiment semble avoir un effet sur la fréquence de traite

Le pâturage est possible avec un robot de traite si l'éleveur est motivé, mais ce n'est pas la seule chose qui entre en compte dans le choix de ce mode de conduite. Entre autre, la structure du parcellaire peut rendre possible ou non le pâturage. Pour que cela soit possible, il faut que les pâtures soient accessibles aux vaches sans avoir à traverser de route par exemple, mais sans avoir également à parcourir une distance trop longue pour rentrer au bâtiment pour la traite.

En 2000, Ketelaar-de-Lauwere et al. (2000) ont testé l'effet de la distance entre les pâtures et le bâtiment. L'expérimentation est divisée en 4 périodes de 5 jours, durant lesquelles 24 vaches pâturent deux fois « proches » du bâtiment, et deux fois « loin ». Au début de chaque période, une nouvelle parcelle est mise à disposition des vaches, une disponibilité en herbe constante car le pâturage se fait au fil avant. Les distances entre pâtures et bâtiment vont de 146 à 360m (mesuré à partir du centre des parcelles).

Les auteurs n'ont pas noté d'effet de la distance sur le nombre de traites par jour et par vache (2,8). En ce qui concerne les activités des vaches, ils ont remarqué que lors de la première fois en pâture « lointaine » (période 2), les vaches passent significativement moins de temps dans le bâtiment et plus de temps à la pâture (741 minutes dehors contre 700 environ pour les autres périodes). Mais cette tendance ne s'est pas confirmée lors de la 2^{ème} période dans le même type de pâture.

En 2002, Spörndly et Wredle (2002) ont également testé l'effet de la distance pâture-bâtiment. Les deux groupes avaient le même niveau de complémentation à l'auge. La seule différence était au niveau de l'eau : durant la première période de mesure (5 Juin – 13 Juillet), les vaches y avaient accès seulement au bâtiment, alors qu'en deuxième période (2 – 30 Août) elle était également disponible dans les pâtures.

En période 1, la fréquence de traite était supérieure pour les vaches près du bâtiment, mais il n'y avait pas de différences significatives en période 2. Par contre, les vaches pâturent près du bâtiment ont produit une quantité de lait plus importante (30,5 kg/jour contre 26,4) durant la période 1, et cette différence s'est maintenue lors de la période 2. En ce qui concerne le comportement, les vaches pâturent près du bâtiment passent plus de temps dehors durant toute la saison de pâturage. De plus, le groupe pâturent loin a un temps d'ingestion au pâturage qui diminue lors de la période 2. En effet, les vaches ne marchent plus jusqu'à la pâture mais préfèrent se coucher dans le chemin. Les auteurs ont supposé que les vaches

Tableau 3 : Fréquence de traite et production laitière en fonction de la distance issues de deux expérimentations (d'après Ketelaar-de-Lauwere et al., 2000 et Spörndly et al., 2004)

Référence	Distance (m)	Fourrages complémentaires (kg)	Fréquence de traite (/jour)	Production de lait (kg/VL/jour)
Ketelaar-de-Lauwere et al (2000)	Centre du paddock			
	146 – 168	18	2,8	-
	355 – 360	18	2,8	-
Spörndly et Wredle (2004)	Entrée – point éloigné			
	50 – 330	3	2,5 ^a	29,1 ^a
	260 - 850	3	2,3 ^b	26,4 ^b

a, b = significativement différents (p<0,05)

trouvaient la pâture attractive au début, donc elles revenaient moins se faire traire, puis plus la saison avance et moins elles ont envie de marcher pour avoir accès à l'herbe.

En 2004, Spörndly et Wredle ont à nouveau testé la combinaison distance pâture-bâtiment et quantités de fourrages supplémentaires. Les vaches étaient divisées en 3 groupes : pâture proche, pâture lointaine et pâture lointaine + ensilage d'herbe *ad libitum*. Les deux premiers groupes disposaient également de 3 kg d'ensilage. En ce qui concerne les résultats, les vaches du groupe « proche » ont produit plus de lait tout au long de la période de pâturage. Ce groupe a aussi une fréquence de traite plus élevée. Le groupe « loin + ensilage » a eu une fréquence plus faible que les autres groupes en période 2. Selon les auteurs, la différence de production n'est pas seulement due à l'énergie supplémentaire nécessaire au déplacement, mais pourrait venir de la différence d'ingestion d'herbe dans les premières semaines, avec des vaches qui se sont plus rapidement adaptées que les autres. De plus, la complémentation n'a pas un effet favorable sur la fréquence de traite et un effet léger sur la production. Selon cette publication, il n'est donc pas justifié de compléter à l'auge s'il y a suffisamment d'herbe disponible.

Les données présentées dans le *Tableau 3* apportent quelques informations complémentaires. Quand il y a beaucoup de fourrages complémentaires disponibles, la distance n'a pas d'effet sur la production laitière. Quand il y en a peu, une différence apparaît. Cette constatation n'est basée que sur deux publications, mais on peut supposer qu'une faible complémentation n'incite pas assez les vaches qui pâturent loin à revenir au bâtiment.

3. Un effet significatif de la hauteur d'herbe disponible

L'expérimentation de Ketelaar-de-Lauwere et al. (2000) a mis en évidence une influence de la hauteur d'herbe sur la fréquentation du robot. Dans le dispositif expérimental, les vaches disposaient d'un nouveau paddock tous les 4 jours, dans un système de pâturage tournant, avec un niveau constant de complémentation en fourrage (18 kg MS/VL/jour). Les pâtures sont toutes à la même distance du bâtiment. Lorsque la hauteur d'herbe diminue, le nombre de traites par jour passe de 2,6 à 3. De plus, le temps passé en pâture diminue également tout au long des 4 jours dans la même parcelle. Il y a également une distribution particulière des visites le premier jour dans une parcelle : très faible fréquentation entre 8h30 et 11h30 et entre 14h30 et 17h30.

Dans son expérimentation, Van Dooren (2004) a obtenu sensiblement les mêmes résultats. La hauteur d'herbe n'a pas été mesurée, mais c'est l'effet du nombre de jour passés sur une même parcelle qui a été étudié, donc indirectement de la hauteur d'herbe. Au fil des 4 jours passés sur une parcelle, le nombre de vaches à rentrer au bâtiment le soir a diminué, et le nombre de visites au robot a augmenté. De plus, l'intervalle de traite des jours 3 et 4 a été plus court que celui des jours 1 et 2. Dans le même temps, le temps de pâturage a diminué et l'ingestion de maïs ensilage a augmenté.

Cette partie a permis de mettre en évidence certains facteurs qui peuvent influencer la fréquence de traite et la production laitière. La complémentation en fourrage au bâtiment ne semble pas assez inciter les vaches à revenir se faire traire d'après les résultats que nous avons vus ici, sauf peut-être dans les cas où elles pâturent loin du bâtiment. Les résultats concernant l'influence de la hauteur d'herbe sont assez logiques : plus il y a d'herbe dans les parcelles, moins les vaches rentrent au bâtiment et donc la fréquence de traite diminue.

Tableau 4 : Validation du capteur d'activité 3D (HOB0) avec ou sans les informations du IceTag (d'après Nielsen, 2013)

	Sans IceTag 3D			Avec IceTag 3D		
	5 secondes	5 minutes	10 minutes	5 secondes	5 minutes	10 minutes
Sensibilité (%)	83,63	85,47	58,55	83,63	85,47	58,55
Spécificité (%)	79,89	82,08	92,17	90,20	90,50	93,24
Précision (%)	74,57	77,63	83,70	85,75	86,75	83,61

II. Que peut-on mesurer sur les vaches pour améliorer le pâturage ?

1. L'étude de l'activité des vaches au pâturage présente un intérêt certain

Grâce aux nouvelles technologies, plusieurs types de mesures concernant le comportement des vaches au pâturage sont possibles : le nombre de bouchées, la position de la vache ou de sa tête, le temps d'ingestion,.... En plus de ces informations sur le comportement, les moniteurs d'activité peuvent être utilisés pour la détection des maladies, des blessures et des chaleurs (Elischer et al.,2013). Pour Watanabe et al. (2008) aussi, le comportement des animaux peut être un bon indicateur du statut physiologique et physique des vaches. Manger, ruminer et se reposer étant leurs principales activités journalières, surveiller ces trois activités en pâture est important pour la gestion du pâturage. De telles informations pourraient permettre aux éleveurs d'avoir des informations complémentaires sur les conditions de vie des vaches à la pâture, et de prendre des décisions efficaces sur la complémentation à l'auge et la gestion du pâturage.

2. Une diversité de mesures pour différents objectifs

A. La position de la vache et de sa tête permet de connaître son activité au pâturage

Dans leurs publications, Blomberg (2011) et Nielsen (2013) ont testé deux accéléromètres : le HOB0® G Logger, placé au niveau du cou de la vache, et le IceTag 3D®, placé au niveau de la patte. Le premier permet détecter des activités de déplacement (marche), des positions (debout, couché) mais aussi des activités de pâturage (ingestion). C'est un accéléromètre triaxial, qui mesure l'accélération linéaire selon trois axes orthogonaux. Le deuxième accéléromètre donne le nombre de pas et permet de distinguer les positions debout et couché. La validation se fait par comparaison des données des capteurs aux observations humaines. Pour le HOB0®, l'utilisation de seulement deux axes a suffi pour enregistrer les activités de pâturage. Quand la vache broute, sa tête est dans une position basse, ce qui permet de différencier cette activité par rapport aux autres. En ce qui concerne les résultats, la précision des données des capteurs n'est pas la même suivant les différentes activités (déplacement, pâturage). Le comportement de pâturage est enregistré de manière plus précise quand on utilise les deux outils car le IceTag 3D® apporte une information supplémentaire à l'analyse (Tableau 4). A partir des données obtenues toutes les 5 secondes, Nielsen (2013) a créé deux autres jeux de données, avec des intervalles de 5 et de 10 minutes. Ces nouveaux jeux de données comprennent moins de données, qui sont les moyennes des données brutes sur des périodes de 5 ou 10 minutes. Ces intervalles ne doivent pas être trop grands car il y a une chute de sensibilité (capacité du capteur à bien identifier les comportements) entre 5 et 10 minutes.

En 2009, Moreau et al. (2009) ont également testés le HOB0® sur des chèvres. Après plusieurs tests, ils ont déterminé que les meilleurs résultats sont obtenus quand le capteur est placé sur un collier autour du cou de l'animal. Les résultats ont été sensiblement les mêmes que pour Nielsen (2013).

B. Le nombre de bouchées est nécessaire au calcul de la quantité ingérée

Dans ses deux publications, Umemura (2009) a testé un accéléromètre qui fonctionne avec un pendule permettant de compter le nombre de bouchées des vaches au pâturage, dans le but d'évaluer la quantité d'herbe ingérée. Quand la vache baisse la tête, le boîtier dans lequel se trouve l'accéléromètre entre en contact avec le bas de la mâchoire, et enregistre donc chaque mouvement de cette dernière, ce qui permet de compter le nombre de bouchées.

En comparant avec les observations humaines, on obtient une relation linéaire, mais avec une surestimation de 1,9 du nombre de bouchées. Selon l'auteur, ce serait dû au fait que chaque bouchée est accompagnée d'un mouvement de la tête de la part de la vache, qui est compté comme une bouchée par le capteur. Afin d'évaluer la quantité ingérée, l'auteur a mesuré les hauteurs d'herbe avant et après pâturage par les vaches. Ensuite, une régression entre cette quantité et le nombre de bouchées a été réalisée, et a donné deux courbes, une pour chaque hauteur d'herbe testée (21 et 28 cm). Les coefficients de régression R^2 supérieurs à 0,75 indiquent que la quantité ingérée peut être plutôt bien prédite en utilisant le nombre de bouchées, à condition de connaître la hauteur d'herbe en entrée de parcelle.

Dans une autre publication en 2013, Umemura (2013) a comparé 3 podomètres, utilisés pour compter le nombre de bouchées des vaches. Ils sont donc montés autour du cou des vaches, de manière lâche. Les coefficients de corrélation entre les podomètres et les observations humaines sont toutes supérieures à 0,9, ce qui signifie que cette méthode est fiable. Un des trois podomètres surestime un peu plus que les autres le nombre de bouchées, donc avant d'utiliser les données, il faudra calibrer le podomètre en fonction de la surestimation. Le capteur n'étant pas en contact avec la mâchoire de la vache lorsqu'elle rumine, cette activité n'affecte pas le nombre de bouchées. Par contre, le nombre de pas est enregistré par l'appareil lorsque la vache marche, mais il est négligeable par rapport au nombre de bouchées selon l'auteur.

C. Le temps d'ingestion au pâturage : une information supplémentaire sur le comportement alimentaire

Le Lifecorder est l'appareil qui a été utilisé dans l'étude présentée dans ce mémoire. C'est un accéléromètre qui donne des valeurs d'intensité de l'activité entre 0 et 9 toutes les 4 secondes. Il a déjà été validé plusieurs fois: Ueda et al. (2011), Yoshitoshi et al. (2011) et R. Delagarde (non publié).

Ueda et al. (2011) ont comparé les données du Lifecorder à leurs observations pendant 21 jours sur 8 vaches Holstein, grâce à une analyse linéaire discriminante. L'objectif était de différencier l'ingestion d'herbe des autres comportements en définissant un seuil de discrimination. Ils ont obtenu respectivement 98,9, 96,8, et 99,2 % des comportements de rumination, repos debout et repos couché avec un niveau d'activité de 0. Ces comportements ne donnent donc pas de signal avec le capteur, donc ne pourront pas être distingués. En ce qui concerne la recherche d'herbe, l'action de boire ou de marcher, la grande majorité des valeurs des niveaux d'activité étaient de 0,5. L'activité d'ingestion compte 76,8 % de ses valeurs entre 1 et 3, et 94,4 % supérieures ou égales à 1. Le taux d'erreur de classification le plus bas (5,5 %) est obtenu pour un seuil discriminant de 1.

Ensuite, Yoshitoshi et al. (2011) ont essayé de valider le Lifecorder sur des terrains difficiles, comme les marais. Ils ont donc couplé à l'appareil un GPS afin de pouvoir localiser les vaches. L'étude a été conduite sur 4 vaches pendant 4 jours, et a considéré les activités d'ingestion, de rumination et de repos. Ils ont utilisé la même méthode d'analyse que Ueda et al. (2011). Cette analyse a montré une discrimination correcte de l'ingestion dans 90,6 à 94,6 % des cas selon les vaches. Là encore, on peut dire que l'appareil permet de bien évaluer le temps d'ingestion des vaches au pâturage.

Enfin, R. Delagarde (INRA, UMR1348 PEGASE) a également travaillé sur la validation du Lifecorder. Sur 247h d'observations réparties sur 12 jours, seulement 5% des comportements enregistrés n'ont pas été bien classés. Ce résultat non publié pour le moment montre encore la fiabilité de l'outil dans l'enregistrement du temps d'ingestion au pâturage.

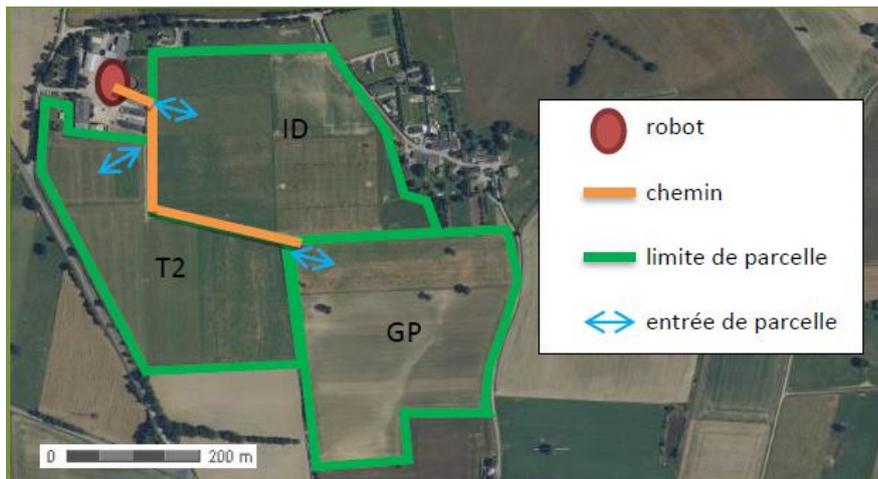


Figure 1: Plan du parcellaire de Derval

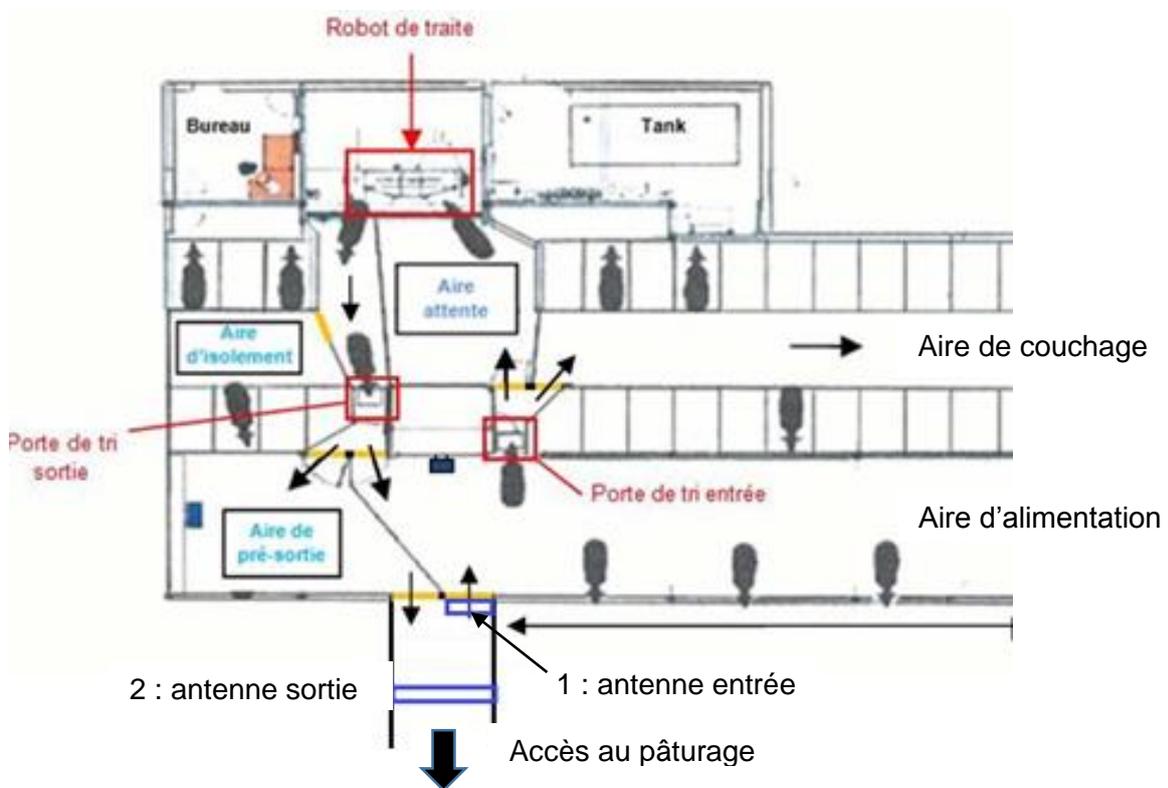


Figure 2 : Schéma du bâtiment de Derval et localisation des antennes

Il existe donc des appareils qui permettent d'enregistrer l'activité des vaches au pâturage de manière très fiable. Selon Ueda et al. (2011) et Oudshoorn et al. (2013), enregistrer le temps d'ingestion des vaches au pâturage est un enjeu majeur pour la recherche, car on peut à partir de cette donnée déduire l'herbe ingérée : produit du temps de pâturage (min/jour), du taux de « bouchées » (bouchées/min) et de la quantité d'herbe par bouchée (g/bouchée). Ce serait très utile afin d'améliorer la gestion de l'alimentation, notamment la complémentation en fourrage. Par contre, les publications étudiées portent toutes sur la validation des outils, mais aucune ne traite des données obtenues en terme zootechnique.

Matériels et méthodes

1. Animaux

Parmi les 75 vaches que compte la ferme expérimentale de Derval, 25 ont été sélectionnées pour conduire l'expérimentation. Elles ont été choisies de façon équilibrée selon 3 critères : parité, stade de lactation et niveau de production laitière. Une représentativité du troupeau a été conservée dans l'échantillon. Ce dernier compte 10 primipares. Au début de l'expérimentation, le stade moyen de lactation est de 221 jours (de 59 à 938), et la production moyenne journalière de 29,7 kg/lait/vache.

De plus, la totalité des vaches du troupeau a été équipée de podomètres permettant de les identifier en entrée et en sortie du bâtiment, excepté celles qui allaient être tariées dans les semaines suivantes.

2. Ferme expérimentale de Derval

La ferme est équipée d'un robot de traite DeLaval® VMS 2007. Au printemps et durant une partie de l'été, le pâturage est conduit en pâturage tournant simplifié sur trois parcelles de 10, 10 et 8 ha, composées de RGA-TB, âgées de 8 à 10 ans et plus ou moins éloignées du bâtiment (*Figure 1*). Il ne peut pas se prolonger durant tout l'été car la ferme est en zone séchante, avec une pluviométrie de 770 mm/an. Ce système a été choisi afin de simplifier le travail. Cette année, les vaches ont toujours eu de l'ensilage de maïs à l'auge. Il est distribué vers 8h le matin et repoussé à 18h le soir. Elles ont également entre 1 et 4 kg de blé au robot, et le tourteau de colza est ajusté selon la quantité de maïs.

La gestion du pâturage se fait selon un protocole mis en place avant le début de la saison (disponible en annexe II). Le changement de parcelle se fait selon deux règles de décision : quand la production journalière chute de 10% par rapport à la production maximale sur la parcelle (jours 3, 4 et 5) selon la méthode de Hoden et al. (1991) ou quand la hauteur d'herbe passe en dessous de 45% de la hauteur d'entrée dans la parcelle. L'objectif de hauteur de sortie est de 5,5 cm. Cette seconde règle de décision est plus difficile à mettre en place car les mesures à l'herbomètre sont réalisées seulement une fois par semaine pour calculer le stock d'herbe disponible (SHD), qui est la quantité d'herbe présente à un moment donné sur l'ensemble de la surface réservée au pâturage des vaches laitières.

Pour sortir pâturer, les vaches doivent passer par la porte de tri d'entrée (*Figure 2*). Si elles sont traitées depuis moins de 7h ou vont donner 10 kg de lait (calcul du logiciel robot), elles sont autorisées à accéder à l'aire d'attente. Elles passent ensuite au robot, puis par la porte de tri de sortie avant de sortir à la pâture. Au retour, elles passent la barrière anti-retour pour accéder à l'aire d'alimentation. Elles peuvent alors passer de nouveau par la porte de tri d'entrée pour accéder soit aux logettes, soit à l'aire d'attente.

3. Observation des vaches laitières

Une journée d'observation a été organisée le 17 Avril 2014 afin de répondre à deux objectifs : validation du matériel utilisé (Lifecorder et antennes d'identification) et observation de certains



Figure 3 : Lifecorder plus (Photo : site www.suzuken-kenz.com)



Figure 4 : Photo d'un collier avec Lifecorder sur une vache (rose)

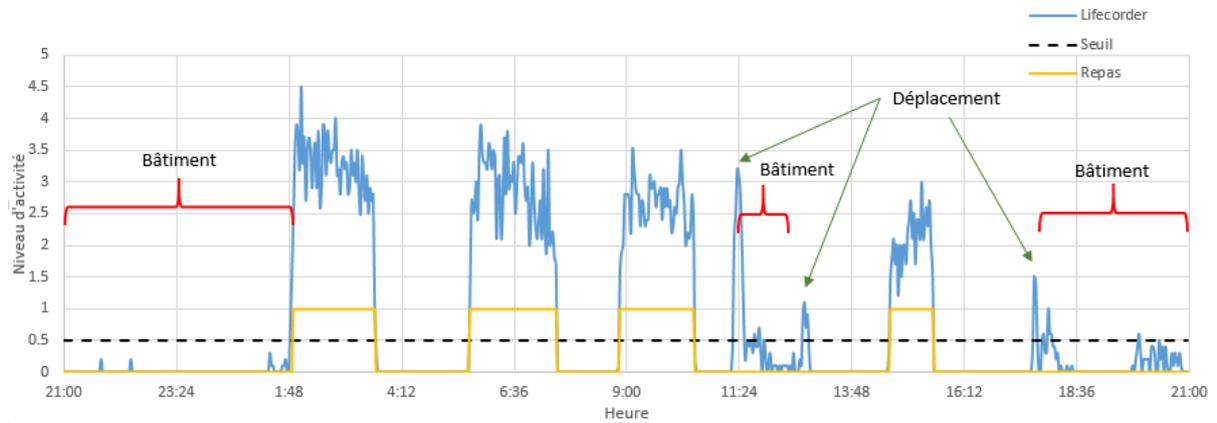


Figure 5 : Exemple de graphe obtenu après traitement des données du Lifecorder (vache 3546, 15/06/2014)

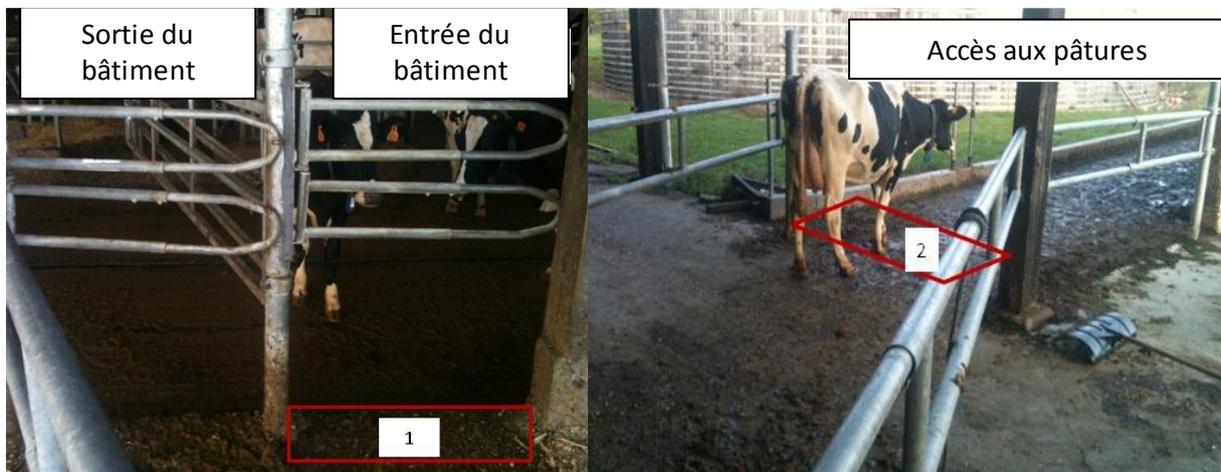


Figure 6 : localisation des antennes d'identification en entrée et sortie de bâtiment (crédit photo: Clément Allain, IDELE)

éléments de comportement des vaches (motivation à rentrer au bâtiment, activités au pâturage et au bâtiment). Le protocole de cette journée est disponible en annexe III. Pour cela, trois points d'observation ont été mis en place, un au bâtiment et deux à la pâture, et les 25 vaches faisant l'objet de l'observation (équipées de colliers) ont été identifiées à la peinture. L'observation s'est déroulée de 8h30 à 18h. Les personnes présentes au bâtiment avaient pour mission de noter l'activité (manger, boire, ruminer, se déplacer, dormir) et la position (debout, couchée) des vaches, leurs premières activités quand elles rentrent, ainsi que leurs heures d'entrée et de sortie. Au pâturage, les mêmes activités et positions ont été notées (sauf boire car il n'y a pas d'eau dans les parcelles) afin notamment de valider les capteurs. La notation consistait en un scanning toutes les 10 minutes.

4. Enregistrement des données

A. Le Lifecorder : enregistrement du temps d'ingestion

Pour cette expérience, un accéléromètre unidirectionnel développé pour le contrôle de l'activité physique chez les humains (Kenz Lifecorder Plus, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japon, *Figure 3*) a été utilisé. Le capteur enregistre toutes les quatre secondes une note d'intensité de l'activité comprise entre 0 (pas d'activité) et 9 (forte activité).

Le capteur est placé dans un boîtier en plastique lui-même attaché à un collier. Le boîtier est rempli avec de la mousse afin d'éviter que le Lifecorder bouge à l'intérieur. Le collier est ensuite placé autour du cou de la vache lorsqu'elle est bloquée aux cornadis. Afin que le boîtier puisse bouger lorsque la vache broute, il faut environ 5 cm entre celui-ci et le cou de la vache (*Figure 5*).

La récupération des données s'effectue grâce à un câble USB. Il faut donc récupérer les colliers sur les vaches afin d'avoir accès aux données. Ces dernières sont synthétisées par tranches horaires de 2 minutes et correspondent à la moyenne des notes d'intensité durant chaque tranche horaire.

Les données sont ensuite traitées par un fichier Excel réalisé par Rémy Delagarde (INRA, UMR1348 PEGASE - Agrocampus). Après importation des données dans le fichier, un feuillet « pâturage » est à remplir. Il permet d'identifier les périodes durant lesquelles la vache est à la pâture, périodes qui sont à traiter. Ensuite, le feuillet « seuils » est à remplir. Il détermine jour par jour quel est le seuil à partir duquel on considère que le signal correspond à de l'ingestion. Sur la *Figure 5*, le seuil est placé à 0,5. Quand le signal passe au-dessus de cette valeur et que la vache est dans la parcelle, le fichier va considérer que c'est de l'ingestion. Au final, le fichier nous donne un temps d'ingestion, un nombre de repas, et un temps d'accès à la pâture ainsi qu'un graphe, par jour et par vache. Les feuillets sont visibles en annexe IV.

B. Antennes d'identification

La ferme de Derval a fait installer un dispositif d'identification des vaches quand elles sortent et rentrent dans le bâtiment. Il est composé de deux antennes (une en entrée et une en sortie) qui notent l'heure de passage des vaches (*Figure 6*). Ce dispositif a permis de calculer les temps passés au bâtiment ou dans les pâtures pour chaque vache. Il a également servi à remplir le feuillet « pâturage » du fichier de traitement des données du Lifecorder. Une nouvelle variable a également pu être calculée grâce aux antennes : le ratio entre le temps d'ingestion et le temps d'accès à la pâture.

5. Données supplémentaires utilisées

Afin de compléter le jeu de données avec des informations sur les traites et les animaux, les données disponibles sur le logiciel du robot ont été utilisées. Cela a permis de connaître entre autres les niveaux de production et les fréquences de traite des vaches. La ferme de Derval a également fourni les données concernant la conduite du pâturage (hauteurs d'herbe, parcelles pâturées) et les quantités d'ensilage de maïs distribuées.

6. Disponibilité des données

En raison de difficultés techniques qui seront développées dans la discussion, les jeux de données obtenus comportent certaines périodes de trous sans données. En ce qui concerne les temps d'ingestion, les manques se situent principalement au mois de Mai, car les problèmes se sont réglés en Juin. Les temps de pâturage comportent également des plages sans données car l'ordinateur sur lequel est installé le logiciel s'est éteint plusieurs fois à cause des orages. En fin de compte, le jeu de données final est constitué de 40 jours de données pour 25 vaches (à l'exception d'une vache tarie le 12 Juin, qui présente 27 jours de données). Les données d'ingestion, d'accès à la pâture, d'alimentation et de production sont journalières, celles concernant l'herbe sont récoltées hebdomadairement et à chaque entrée et sortie de parcelle.

7. Analyse statistique

Pour analyser les données, trois méthodes ont été utilisées. Tout d'abord, les analyses en composantes principales (ACP) ont permis de connaître les corrélations entre les variables quantitatives et les ressemblances entre individus. Elles ont été réalisées avec le logiciel SPAD 7.4®.

Ensuite, ces individus ont été mis en classes avec au logiciel SAS® grâce à une succession de procédures FASTCLUS. Cette procédure calcule les différences entre individus, afin de rassembler ceux qui se ressemblent dans des classes dont le nombre est défini au préalable. Au vu du nombre d'individus disponible, les classifications seront réalisées en trois classes. Pour mettre en évidence les ressemblances et les différences entre classes, des comparaisons de moyennes ont été effectuées. Auparavant, la distribution normale des données et de l'égalité des variances ont été vérifiées par des tests de normalité (Khi 2) et d'égalité des variances (Fisher). Les comparaisons de moyennes ont été réalisées grâce à un test T de Student. Le seuil de signification utilisé pour tous les tests est de 0,05.

Tableau 5 : Temps d'accès à la pâture, d'ingestion d'herbe et de maïs, de rumination de déplacement et de repos pour les vaches laitières de Derval, pour une durée de 9h30 (min)

	Temps d'accès à la pâture	Ingestion d'herbe	Ingestion maïs	Rumination	Déplacement	Repos
Moyenne	392	203	38	98	38	162
Ecart-type	131	51	35	45	18	75
Pourcentage du temps d'observation (%)	69	36	7	17	7	28
Maximum	570	320	120	180	70	350
Minimum	140	50	0	20	10	0

Tableau 6 : Coefficients de détermination des régressions linéaires simples et biais moyen (%) entre les données du Lifecorder et celles issues des observations

Seuil		0.3		0.5		0.7		1	
		R ²	Biais						
Ingestion	Journée	0.81	22	0.75	15	0.67	9	0.64	-1
	Séquence	0.90	21	0.86	15	0.81	8	0.75	-1
Ingestion + déplacements	Journée	0.93	2	0.87	-4	0.78	-9	0.73	-17
	Séquence	0.95	1	0.88	-5	0.82	-10	0.76	-18

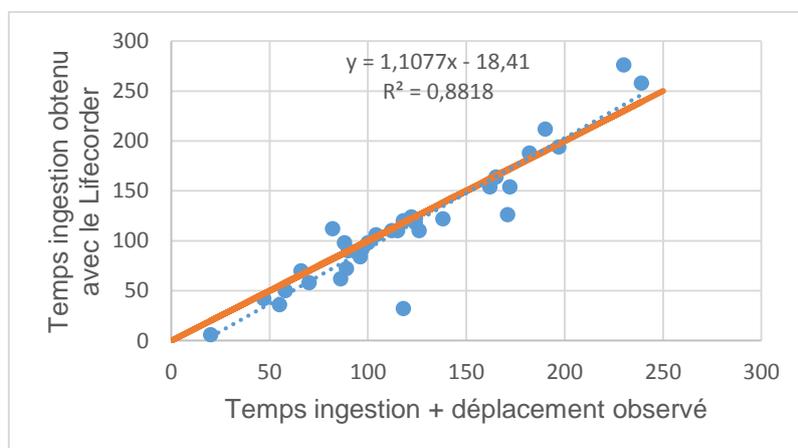


Figure 7 : Temps d'ingestion obtenu avec le Lifecorder en fonction du temps d'ingestion + déplacement observé (pour des séquences de pâturage, au seuil de 0,5)

Résultats

I. Journée d'observation : un double objectif

1. Présentation du budget temps des vaches laitières

Le budget temps compile pour une vache toutes les activités et leurs durées sur une journée. La journée d'observation a permis de faire des budgets temps pour les 25 vaches observées. Elles ont pâturé dans Grand Pré (5 ha, coupée en deux pour l'occasion), et c'était le second jour du 2^{ème} cycle de pâturage pour cette parcelle. Le *Tableau 5* présente quelques résultats de cette journée. En moyenne, les vaches ont passé 69 % de leur temps à la pâture, à savoir plus de 6h30. Leurs deux principales activités durant la journée sont l'ingestion d'herbe (36%) et le repos (28%). L'ingestion de maïs représente seulement 7% du temps de la journée, tout comme les déplacements, même si les vaches pâturaient dans la parcelle la plus éloignée. On peut également s'intéresser au ratio entre le temps d'ingestion d'herbe et le temps d'accès à la pâture. Il est de 0,52, ce qui veut dire qu'en moyenne, les vaches ont passé un peu plus de la moitié de leur temps dehors à ingérer de l'herbe.

La différence entre les valeurs maximales et minimales est très importante, ce qui se retranscrit au niveau des écart-types. Ceci laisse présager une grande variabilité inter individus dans les comportements.

2. Validation du capteur : un outil fiable

En ce qui concerne les données d'observation, deux temps différents ont été calculés : le temps d'ingestion brut et le temps d'ingestion auquel a été rajouté le temps de déplacement (qui est également enregistré par le Lifecorder). Ces temps supplémentaires comprennent principalement les déplacements lorsque les vaches cherchent de l'herbe pendant un repas, mais également ceux à l'intérieur de la parcelle et enfin ceux entre le bâtiment et les pâtures. Les régressions ont été réalisées d'une part sur la plage de temps complète de la journée d'observation (de 8h30 à 18h) et également sur des séquences de pâturage (qui commencent quand la vache sort du bâtiment et se terminent quand elle y rentre). Le *Tableau 6* présente les coefficients de détermination R^2 , qui permettent de juger de la qualité des régressions linéaires simples. Deux tendances se dégagent en regardant ce tableau : un seuil faible entraîne une meilleure corrélation, qui est également améliorée par le fait d'intégrer les temps de déplacements. Elle est également meilleure lorsque l'on travaille par séquences, ce qui est peut-être dû au fait qu'il y ait plus de points à traiter et que la plage de données comprend plus de valeurs extrêmes, ce qui va améliorer la régression. Le tableau présente aussi les biais entre les valeurs observées et celles obtenues avec les capteurs. Globalement, il y a une surestimation du temps d'ingestion par le Lifecorder quand on ne compte que les temps d'ingestion observés. Lorsque les temps de déplacements sont ajoutés aux temps d'ingestion, le capteur a plutôt tendance à sous-estimer le temps d'ingestion.

Ces résultats confirment qu'il y a au moins une partie des déplacements qui sont enregistrés par l'appareil. Il faudra considérer cette donnée dans les futures analyses. Après discussion autour de ces résultats et échanges avec Rémy Delagarde, le seuil retenu pour les analyses est de 0,5, qui est le seuil le plus adapté selon les expérimentations de l'INRA. La *Figure 7* présente les temps obtenus avec le Lifecorder en fonction des temps observés, en considérant le temps d'ingestion et de déplacement, pour le seuil choisi. Cependant, certaines vaches ou journées d'enregistrement ont donné des valeurs assez faibles, pour lesquelles il a été choisi le seuil de 0,3, afin de ne pas perdre de données de temps d'ingestion.

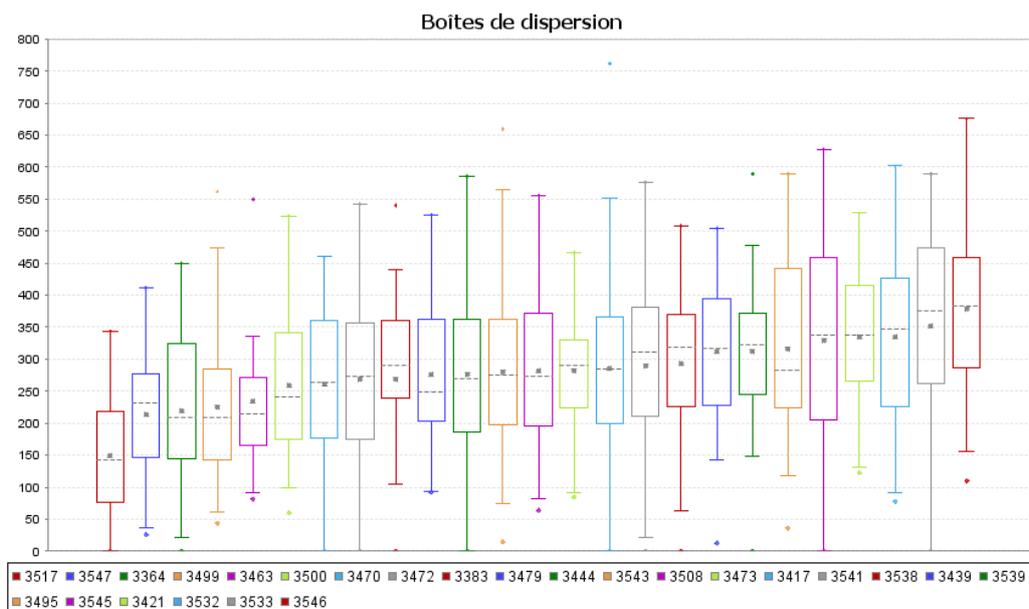


Figure 8 : Durées d'ingestion moyennes des vaches sur toute la période d'expérimentation (min)

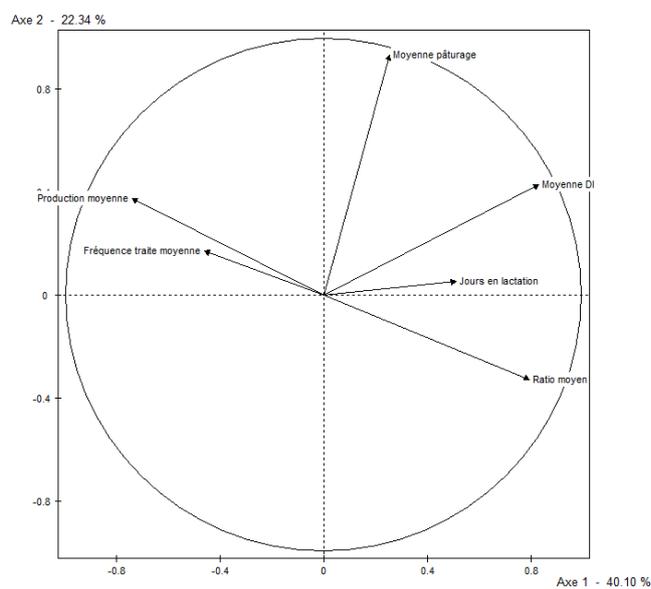


Figure 9 : Variables continues actives de l'ACP caractérisant les jours de pâturage (DI=Durée d'ingestion)

Tableau 7 : matrice des corrélations caractérisant les 25 vaches équipées de colliers

	Moyenne DI	Moyenne pâturage	Ratio	Production moyenne	Fréquence traite	Jours en lactation
Moyenne DI	1.00					
Moyenne pâturage	0.56	1.00				
Ratio	0.67	-0.18	1.00			
Production moyenne	-0.39	0.08	-0.54	1.00		
Fréquence traite	-0.13	-0.09	-0.21	0.36	1.00	
Jours en lactation	0.28	0.11	0.22	-0.28	-0.16	1.00

II. Comportement alimentaire des vaches laitières : une grande variabilité individuelle et temporelle

Cette partie sera consacrée à l'étude des différences de comportement entre les vaches au pâturage, et des différences entre les jours de pâturage, afin d'éventuellement cibler des conditions favorables à l'ingestion d'herbe.

1. Comportement alimentaire des vaches au pâturage

A. Un goût plus prononcé pour le pâturage chez certaines vaches

En s'intéressant aux moyennes et écart-types des durées d'ingestion, la première chose à remarquer est la forte variabilité entre vaches (*Figure 8* et annexe V). La même chose s'observe pour les temps d'accès à la pâture (annexe V et VI). Les moyennes de durées d'ingestion vont de 149 à 379 minutes par jour, avec une différence de près de 4h entre les deux extrêmes. Cela montre la très grande variabilité inter-animale dans ces données. Les moyennes de temps d'accès à la pâture sont comprises entre 294 et 514 minutes. Là encore, il y a près de 4h de différence entre les 2 extrêmes. Cependant, certaines vaches ont des moyennes proches, ce qui tendrait à montrer l'existence de comportements similaires.

La *Figure 9* présente le cercle des corrélations d'une analyse en composantes principales (ACP) pour laquelle les individus sont les 25 vaches de l'étude. Les variables sont des moyennes sur toute la période d'expérimentation. Plus la flèche représentant une variable est proche du bord du cercle et proche d'un axe, plus cette variable est représentée sur l'axe et a de l'importance. La proximité entre deux variables sur un axe donne, si les deux variables sont bien représentées sur l'axe, une approximation de leur corrélation. Le temps d'ingestion et d'accès à la pâture sont corrélés (0,56, *Tableau 7*), de même que le temps d'ingestion et le ratio (0,67). Cela montre que globalement, le temps d'ingestion n'est pas constant, mais dépend en partie du temps passé dans la pâture. Concernant le ratio, le résultat est plutôt logique, car le ratio dépend du temps d'ingestion. Par contre, la durée d'ingestion et la production moyenne ont tendance à être corrélées négativement (-0,39), alors que le temps d'accès à la pâture et la production ne le sont pas, de même que ce temps et la fréquence de traite. Les temps d'ingestion ou d'accès à la pâture ne s'expliquent pas non plus par les paramètres zootechniques dans ces données, comme les jours en lactation ou la parité (en variable nominale illustrative). En effet, le nombre de jours en lactation est très peu corrélé aux autres variables, et l'étude de la parité sur le graphe des individus n'a rien révélé.

B. Cette préférence est variable dans le temps

Les écart-types associés aux moyennes sur toute la période traduisent la variabilité dans les données. Ils sont relativement importants par rapport aux valeurs moyennes (*Figure 8*). Cela indique que les valeurs journalières de durées d'ingestion et de temps d'accès à la pâture varient beaucoup autour des moyennes. Les vaches n'ont pas eu le même comportement tous les jours. Cependant, certaines vaches ont un comportement plus régulier que d'autres. Par exemple, les vaches 3421, 3463 ou 3473 sont un peu plus régulières que les autres, contrairement aux vaches 3444, 3533 ou 3545.

Dans la suite de l'étude, l'objectif sera de voir si les différences sont liées à d'autres paramètres que les caractéristiques zootechniques des animaux, comme des paramètres extérieurs (hauteur d'herbe, temps de présence dans la parcelle, nombre de jours dans la parcelle,...).

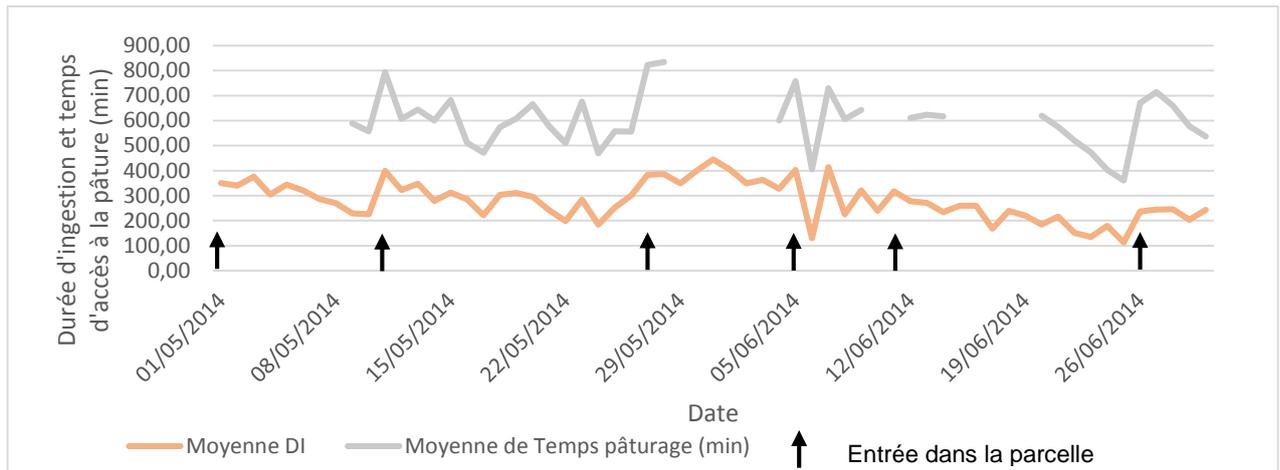


Figure 10: Moyennes de la durée d'ingestion et du temps d'accès à la pâture des 25 vaches équipées de colliers, du 1^{er} Mai au 30 Juin

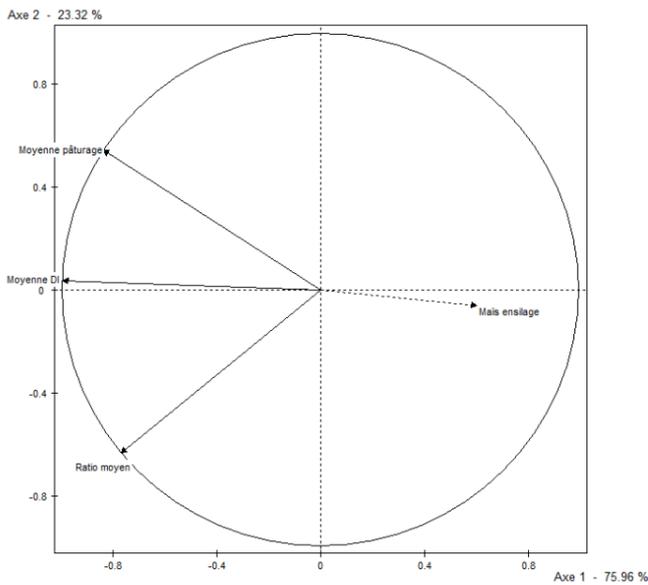


Figure 11 : Variables continues actives de l'ACP caractérisant les jours de pâturage (DI=Durée d'ingestion)

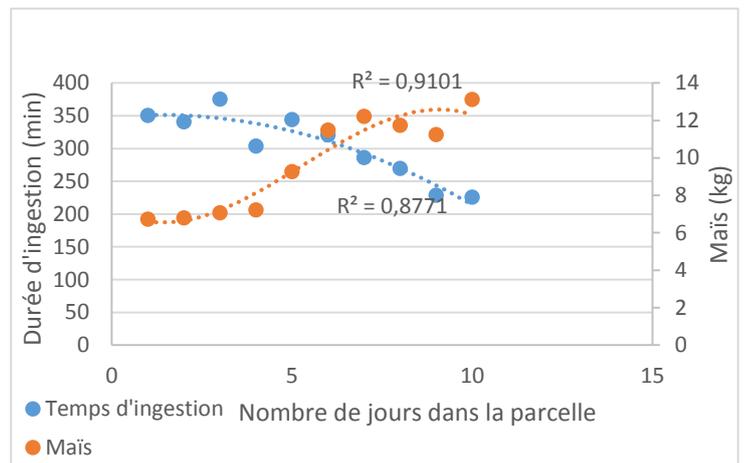


Figure 12 : Durée d'ingestion et quantité de maïs ensilage distribué à l'échelle d'une parcelle (T2, du 01/05 au 10/05)

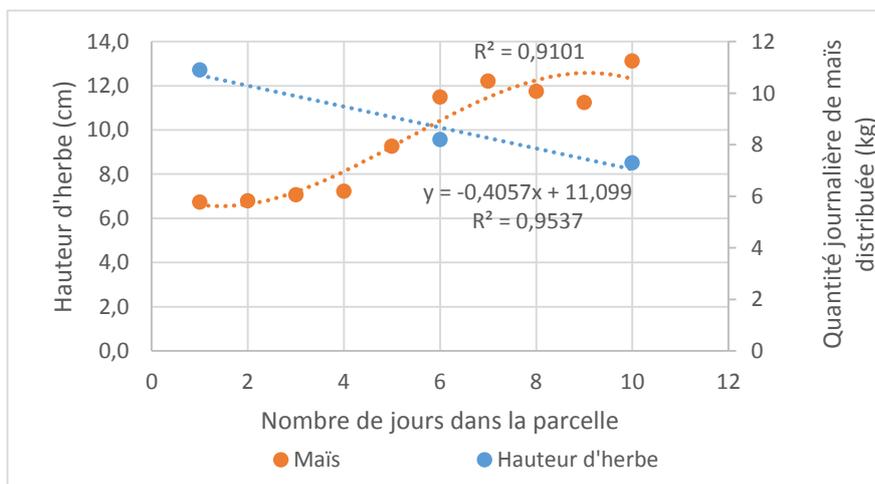


Figure 13 : Hauteurs d'herbe et quantités d'ensilage de maïs distribuées à l'échelle d'une parcelle (T2, du 1^{er} au 10 Mai)

2. Comportement alimentaire du troupeau

La distribution des données de temps d'ingestion et d'accès à la pâture au fil des jours présente des variations importantes (*Figure 10*). Lors de l'entrée dans une parcelle (flèches noires), il y a une augmentation des durées étudiées, qui vont diminuer au fur et à mesure de l'avancement de la parcelle. Cette évolution est encore plus visible sur la *Figure 12* qui présente entre autres la durée d'ingestion en fonction de l'avancement. Globalement, les vaches ont un temps d'ingestion de plus en plus faible quand le temps de séjour dans la parcelle augmente. Ceci a été vérifié sur toutes les parcelles (annexe VIII). Malgré la diversité de comportements entre vaches évoquée précédemment, le graphique montre que durant certains jours, les vaches ont un temps d'ingestion et d'accès à la parcelle plus long. Ce serait donc un comportement commun à l'ensemble des 25 vaches.

L'ACP présentée en *Figure 11* caractérise les jours de pâturage en fonction de la durée d'ingestion moyenne, du temps d'accès moyen à la pâture, du ratio entre ces deux valeurs, la quantité de maïs distribuée étant une variable illustrative. Les variables nominales illustratives sont le nom de la parcelle (GP = Grand Pré, ID et T2) et l'avancement de la parcelle, c'est-à-dire le nombre de jours passés dans la parcelle (début : inférieur à 5 jours, milieu : entre 5 et 10 jours, fin : supérieur à 10 jours). Les deux premiers axes représentent 99% de la variabilité dans les données. Il apparaît clairement sur le cercle des corrélations que la durée d'ingestion et le temps d'accès à la pâture sont corrélés. La valeur du coefficient de corrélation est de 0,84. L'axe 1 représente donc des temps d'ingestion et d'accès à la pâture plus longs lorsqu'on va vers la gauche. Sur la *Figure 15*, les variables « Début » et « GP » sont sur la gauche par rapport à l'axe 1, donc correspondent à des temps plus longs. Cela confirme que les vaches passent plus de temps en pâture et ingèrent plus longtemps en début de parcelle, et cela diminue quand le nombre de jours passés dans la parcelle augmente. Par contre, la quantité de maïs distribuée est inversement corrélée aux deux autres variables. Quand l'avancement augmente, la hauteur d'herbe diminue, et la quantité de maïs distribuée augmente (*Figure 12 et Figure 13*). Donc une diminution de la hauteur d'herbe au fil de l'avancement, associée à une augmentation de la quantité de maïs ensilage distribuée conduit à une diminution du temps d'ingestion et d'accès à la pâture.

Malgré cet effet journalier du troupeau, il y a encore une variabilité importante au sein d'une même journée. Le tableau disponible en annexe VII présente entre autres les moyennes journalières de durées d'ingestion et d'accès à la pâture pour les 25 vaches équipées de colliers. Là encore, les écart-types sont importants par rapport aux moyennes, ce qui confirme la variabilité des comportements individuels au sein d'une même journée.

Des tendances ont été dégagées dans cette partie, notamment grâce aux ACP. Cependant, il y a une grande variabilité dans les données, tant au niveau des vaches que des jours de pâturage. La prochaine partie sera donc consacrée à essayer de rassembler les jours qui se ressemblent, afin de tenter d'expliquer les variations dans le comportement alimentaire et de pâturage des vaches laitières.

III. La mise en classes pour rassembler les individus qui se ressemblent

Les antennes ont permis d'avoir une répartition des vaches entre le bâtiment et la pâture, heure par heure et jour par jour. Cela a permis de faire des classes de jours qui se ressemblent, en fonction du comportement au pâturage des 25 vaches équipées de colliers. Le fait de classer ensuite les vaches dans les différentes classes de jours permettra d'affiner l'étude de leur comportement.

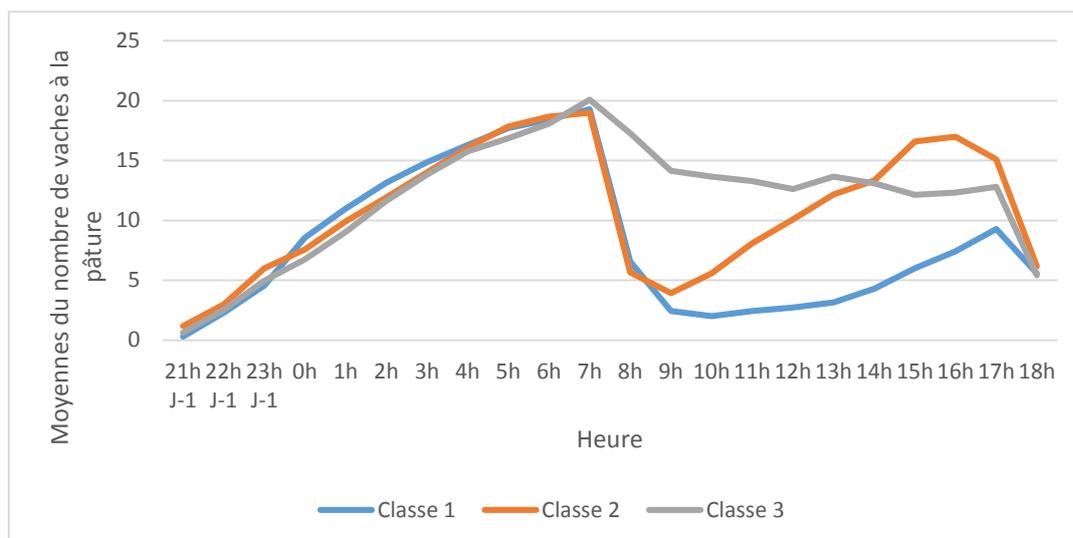


Figure 14 : Moyenne du nombre de vaches à la pâture heure par heure, pour les 3 classes de jours

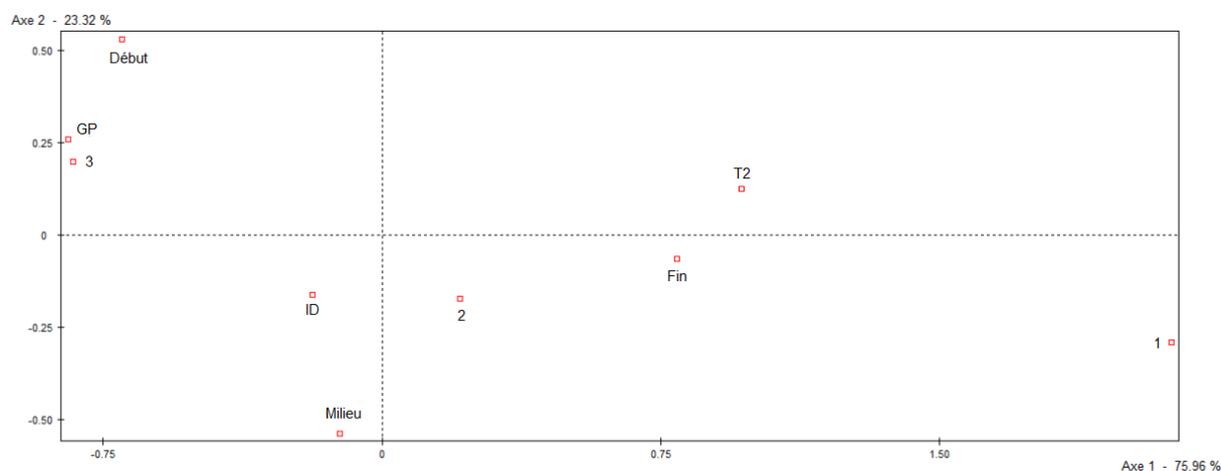


Figure 15 : Variables nominales illustratives de l'ACP caractérisant les jours de pâturage, incluant les classes de jours

Tableau 8 : Moyennes et écart-types de la durée d'ingestion, du temps d'accès à la pâture et du ratio pour les 3 classes de jour

Classe de jour	Effectif	Durée d'ingestion (min)		Temps d'accès à la pâture (min)		Ratio	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	7	162	92	463	244	0.40	0.20
2	12	254	107	585	254	0.46	0.19
3	22	309	129	668	250	0.48	0.16

Tableau 9 : Caractéristiques des classes de vaches par classes de jour, à partir des données de temps d'accès à la pâture

Type de jour	Groupe de VL	Effectif	Durée d'ingestion (min)		Temps d'accès à la pâture (min)		Ratio		Fréquence de traite (/jour)		Production laitière (L/jour)	
			Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
J1	2	15	163	49	525	84	0.35	0.09	2.02	0.30	27.6	6.2
	1	5	172	28	440	45	0.43	0.08	2.26	0.29	28.2	7.4
	3	5	134	47	356	83	0.48	0.13	2.11	0.12	25.1	3.8
J2	3	8	293	51	724	59	0.42	0.08	2.29	0.24	29.7	5.9
	1	10	261	49	572	53	0.50	0.07	2.13	0.12	24.6	4.1
	2	7	220	41	522	99	0.48	0.13	2.08	0.15	25.6	3.5
J3	3	13	343	53	739	41	0.49	0.07	2.01	0.24	25.8	5.2
	2	3	304	55	658	26	0.48	0.07	2.13	0.26	29.1	6.2
	1	9	266	43	588	73	0.47	0.06	2.18	0.35	29.3	4.6

1. Les jours de pâturage diffèrent principalement par l'avancement de la parcelle

Les 41 jours de données disponibles grâce aux antennes ont été classés grâce à la procédure FASTCLUS selon la répartition des 25 vaches entre le bâtiment et la pâture. La *Figure 14* présente les moyennes du nombre de vaches présentes à la pâture, heure par heure pour les trois classes de jours. De 21h à 7h, la distribution varie très peu entre les classes. En effet, les vaches ne peuvent pas rentrer pendant la nuit car l'accès au bâtiment est fermé. Les vachers ouvrent la barrière en arrivant le matin. Ensuite, ils distribuent l'ensilage de maïs, ce qui explique en partie l'entrée de nombreuses vaches au bâtiment. La différence entre les classes se fait donc dans l'après-midi, avec des jours où les vaches ressortent moins (classe 1), des jours où elles rentrent moins le matin et tout au long de la journée (classe 3) et des jours où elles ressortent de manière étalée tout au long de l'après-midi (classes 2).

Le but est maintenant de caractériser ces classes de jours, afin de connaître les raisons pour lesquelles trois classes sont obtenues. Elles sont donc incluses dans l'ACP réalisée précédemment afin d'essayer de les caractériser (*Figure 15*). Elles sont réparties le long de l'axe 1. Donc la classe 1 est celle des jours où les vaches n'ont pas beaucoup pâturé ni ingéré, et la classe 3 est celle des jours où elles sont restées dehors et ont plus ingéré. Cette tendance est confirmée par le *Tableau 8* qui montre que les moyennes de durées d'ingestion et de temps d'accès à la pâture sont plus élevées pour la classe 3, et plus faibles pour la classe 1. Les comparaisons de moyennes confirment que ces différences sont significatives. L'axe 1 est également lié à l'avancement de la parcelle. Le fait que les classes soient réparties le long de cet axe montre que les classes correspondent globalement à cet avancement. La classe 1 comprend plutôt les jours de fin de parcelle, tandis que la classe 3 comprend les jours de début de parcelle. La classe 2 est celle des jours intermédiaires, de milieu de parcelle. De plus, il n'y a pas de différence significative de la fréquence de traite ou de la production laitière entre J1, J2 et J3.

2. Le comportement de pâturage des vaches dépend des jours

L'objectif est maintenant de voir si le comportement des vaches est le même quelle que soit la classe de jour. Elles vont donc être rassemblées en classes, d'une part à partir de leurs temps de pâturage, d'autre part à partir de leurs temps d'ingestion.

A. Classes à partir du temps de pâturage

Les caractéristiques des classes réalisées à partir des données de temps d'accès à la pâture sont présentées dans le *Tableau 9*. Les valeurs sont repérées par couleur, le vert étant la valeur la plus grande et le rouge la plus petite (pour les groupes de vaches, l'ordre est celui des temps d'accès à la pâture). Pour les jours durant lesquels les vaches sortent le moins (J1), la classe de vaches qui a le temps d'accès à la pâture le plus long n'a pas le temps d'ingestion le plus long. Ces jours-là, les vaches qui sortent le moins passent près de trois heures de moins dehors mais ingèrent seulement 30 minutes de moins en moyenne. Le test de comparaison de moyennes a montré que cette différence n'est pas significative. Cela se retranscrit au niveau du ratio, qui est plus important pour les vaches qui sortent le moins. Pour les jours durant lesquels les vaches sortent plus (J3), la classe de vaches qui a le temps d'accès au pâturage le plus long a également le temps d'ingestion le plus long. Par contre, il y a très peu de différences au niveau du ratio (différence non significative). Ces résultats se retrouvent au niveau des corrélations entre temps d'ingestion et temps de pâturage, qui est pour J1 de 0,36, puis de 0,61 pour J2 et 0,73 pour J3 (annexe X). En ce qui concerne les fréquences de traite, la corrélation avec le temps d'accès à la pâture est faible, quel que soit le type de jour. Elle est de -0,21 pour la classe J1, 0,25 pour la classe J2 et -0,32 pour la classe

Tableau 10 : Caractéristiques des classes de vaches par classes de jour, à partir des données de temps d'ingestion

Type de jour	Groupe de VL	Effectif	Durée d'ingestion (min)		Temps d'accès à la pâture (min)		Ratio		Fréquence de traite (/jour)		Production laitière (L/jour)	
			Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
J1	3	2	222	20	513	95	0.51	0.04	2.00	0.20	22.8	1.5
	1	7	196	32	496	81	0.41	0.09	2.06	0.23	24.8	3.4
	2	16	135	34	460	113	0.37	0.12	2.11	0.32	28.8	6.6
J3	3	13	354	40	731	49	0.51	0.07	2.01	0.24	25.5	5.2
	1	6	284	29	631	49	0.47	0.06	2.14	0.35	31.0	4.6
	2	6	244	40	597	106	0.43	0.07	2.18	0.26	28.3	6.2

Tableau 11 : Répartitions des vaches dans leurs classes réalisées à partir des temps de pâturage, selon les classes de jour

	Jour 1		Jour 2		Jour 3	
Classe avec le temps d'accès à la pâture le plus faible	3495		3417	3517	3383	3500
	3517		3444	3538	3417	3508
	3533		3470	3541	3463	3517
	3538		3472		3470	3543
	3547				3499	
Classe avec un temps d'accès à la pâture intermédiaire	3383		3383	3532	3364	
	3470		3421	3533	3495	
	3508		3463	3543	3538	
	3539		3499	3546		
	3545		3508	3547		
Classe avec le temps d'accès à la pâture le plus élevé	3364	3479	3364		3421	3532
	3417	3499	3439		3439	3522
	3421	3500	3473		3444	3539
	3439	3532	3479		3472	3545
	3444	3541	3495		3473	3456
	3463	3543	3500		3479	3547
	3472	3546	3539			
	3473		3545			

J3. La corrélation négative est un résultat attendu, mais la valeur positive pour J2 est plus surprenante.

Les résultats précédents montrent que lors des jours avec peu de pâturage, associés à une faible hauteur d'herbe et une grande quantité de maïs, il y a peu de différences entre les temps d'ingestion des vaches au pâturage. Pour les jours favorables au pâturage, avec une plus grande hauteur d'herbe, il y a une proportionnalité entre le temps d'ingestion et le temps d'accès à la pâture, quel que soit le temps passé dehors par les vaches.

B. Classes à partir du temps d'ingestion

Dans un second temps, des classes de vaches ont été réalisées à partir des temps d'ingestion. Elles ont seulement été réalisées pour les classes de jour 1 et 3, car il y avait trop de données manquantes pour la classe 2. Les caractéristiques de ces classes sont présentées dans le *Tableau 10*. Pour la classe de jour J1, il y a seulement 2 vaches dans la classe qui ingère et pâture le plus. Ce groupe a en moyenne le ratio le plus important. La classe qui compte le plus de vaches est celle pour lesquelles les vaches ingèrent et pâturent le moins. Elles ont également le ratio le plus faible. Pour cette classe de jours, la différence entre les classes se fait seulement au niveau du temps d'ingestion, car les tests de comparaison de moyennes n'ont montré aucune différence significative concernant les temps d'accès à la pâture ou le ratio. Pour la classe J3, le groupe de vaches qui compte le plus d'individus est celui pour lequel elles ingèrent le plus. Elles ont également le temps d'accès à la pâture le plus long. Les vaches qui ingèrent le moins sont celles qui ont le temps d'accès à la pâture le plus faible. Ce sont également celles qui ont le ratio le plus faible (la différence de ratio est significative entre ces vaches-là et celles de la classe qui ingèrent le plus).

Le déséquilibre d'effectif entre ces classes traduit les caractéristiques des jours, avec beaucoup de vaches dans la classe qui ingère le moins pour J1, et plus de vaches dans la classe qui ingère le plus pour J3. Avec ces classes-là, il n'y a plus proportionnalité entre temps d'ingestion et temps d'accès à la pâture pour la classe J3. Les vaches qui passent le plus de temps à la pâture sont également celles qui passent la plus grande partie de leur temps à ingérer de l'herbe.

C. Les vaches gardent-elles le même comportement tout au long de la saison de pâturage ?

L'objectif ici est de déterminer si les vaches gardent le même comportement quel que soit le type de jours, favorable ou non au pâturage. Pour cela, il faut regarder s'il existe des vaches qui sont tout le temps dans la classe qui pâture ou ingère le plus ou le moins. Pour les classes basées sur le temps de pâturage, il y a 4 vaches sur les 25 qui sont dans ce cas. Les vaches 3439, 3473 et 3479 sont tout le temps parmi la classe de vaches qui ont le temps de pâturage le plus élevé (*Tableau 11*). Il y a trois autres vaches avec une moyenne de temps d'accès à la pâture élevé quelle que soit la classe de jour : 3421, 3545 et 3546. Elles sont deux fois dans les classes « hautes », et une fois dans la classe moyenne. La 3517 est dans la classe qui pâture le moins pour les 3 classes de jour. Cette vache-là est également une de celles qui est dans les classes qui ingèrent le moins pour les classes de jour 1 et 3. C'est la vache qui est toujours parmi les moyennes de temps d'ingestion et d'accès à la pâture les plus faibles, quelle que soit la classe de jour.

En ce qui concerne les classes réalisées à partir des temps d'ingestion, il y a seulement deux vaches qui sont dans la classe des vaches qui ingèrent le plus. Ce sont les deux vaches de la classe « haute » pour la classe J1 : 3533 et 3541. La 3533 est bien classée quand on regarde les moyennes générales sur toute la période, mais la 3541 est seulement en dixième position. Elle n'a pas eu une durée d'ingestion élevée lors des jours intermédiaires. Il y a plus de vaches qui sont dans la classe « basse » pour les deux classes de jour : 3463, 3473, 3499, 3517 et

Tableau 12 : Pourcentage du temps d'ingestion observé pour différents niveaux d'intensité d'accélération enregistré par le Lifecorder (d'après Ueda et al., 2011)

	Ueda et al. (2011)	Journée d'observation Derval
Entre 0,5 et 3 (%)		72,7
Entre 1 et 3 (%)	76,8	55
Supérieur à 0,5 (%)		91
Supérieur à 1 (%)	94,4	64

3547. Il est intéressant de remarquer ici que la vache 3473 a en moyenne un temps d'accès à la pâture élevé mais un temps d'ingestion parmi les plus faibles. Elle doit se situer parmi les vaches qui ont des faibles ratios.

Le ratio entre temps d'ingestion et temps d'accès à la pâture donne une indication sur l'utilisation du temps fait par les vaches au pâturage. Il est significativement plus faible pour la classe de jour 1, mais il n'y a pas de différence de moyennes entre les classes de jour 2 et 3. En ce qui concerne l'évolution de ce ratio suivant les classes de jours, on peut remarquer une augmentation chez la moitié des vaches (12 sur 25), et la plupart des autres présentent une augmentation entre la classe J1 et J2, puis une valeur J3 égale ou légèrement supérieure à celle de J2. Ces individus suivent la tendance du troupeau. Les trois vaches dont le ratio diminue avaient un ratio très élevé pour les jours défavorables au pâturage, et il a diminué tout restant élevé (au même niveau que les autres vaches pour la classe de jours favorables au pâturage).

Cette partie a permis de mettre une nouvelle fois en évidence la variabilité inter individus. Très peu de vaches ont un comportement constant tout au long de la période d'étude. Cette variabilité va peut-être compliquer la valorisation des données de temps d'ingestion au pâturage. Cependant, l'impact de la hauteur d'herbe et de la quantité de fourrage complémentaire a déjà été mis en évidence, ce qui montre une influence sur le comportement du troupeau, malgré la différence de comportements individuels.

Discussion

I. Budget temps des vaches laitières

Il y a peu de références concernant les temps d'ingestion au pâturage. Kaufmann et al. (2009) ont obtenu, pour des périodes d'enregistrement de 6h, 169 minutes d'ingestion. Cela représente un ratio de 0,47. Ce ratio est cohérent avec les données que nous avons obtenues. Par contre, pour des mesures sur 24 heures, ils obtiennent une durée d'ingestion d'herbe de 485 minutes. Cette valeur est supérieure à celles des vaches de Derval, ce qui montre probablement l'effet de la complémentation en maïs. Les temps de rumination et de repos sont inférieurs à ce qu'on peut trouver dans la littérature. Pour la rumination, cela peut s'expliquer par le fait qu'il était parfois difficile si une vache était juste immobile ou en train de ruminer. Le temps de repos représente normalement la moitié du temps de la journée pour une vache. Ici, il ne représente que 28% du temps, mais il est sûrement plus important la nuit, et occupe une plus grande partie du budget temps. Il n'est pas possible de s'en assurer car les observations n'ont pas été réalisées de nuit.

II. Validation des capteurs

Le protocole mis en place lors de la journée d'observation n'avait pas pour but la seule validation des capteurs. Il n'était donc pas totalement adapté à cet objectif, notamment le pas de temps utilisé pour les observations (10 minutes). En effet, si la vache broute au moment de la notation, mais arrête 30 secondes après, l'activité sera notée comme ayant duré 10 minutes. Cependant, ces erreurs peuvent se compenser sur toute une journée d'observation, car les résultats obtenus sont satisfaisants. Pour valider le Lifecorder, Ueda et al. (2011) ont essayé d'associer chaque activité à une intensité (ou un intervalle d'intensités) d'accélération. Parmi les résultats qu'ils ont obtenus, 76,8% des intensités comprises entre 1 et 3 correspondent à de l'ingestion (par rapport aux observations). Le *Tableau 12* compare les données qu'ils ont obtenues à celles de la journée d'observation. Il confirme deux choses : les résultats de Derval sont relativement bons même si le pas de temps utilisé par Ueda et al. (2011) est beaucoup

Tableau 13 : périodes de non disponibilité des données d'antennes, avec parcelle et avancement correspondant

Période	Raison	Parcelle	Avancement
01/05-08/05	Installation et modifications logiciel	T2	1-8
29/05-01/06	Orage	GP	3-6
03/06	?	GP	8
10/06-11/06	?	GP/T2	14/1
15/06-19/06	Orage	T2	11-15

plus faible (4 secondes), et les meilleurs résultats sont obtenus avec un seuil de 0,5, seuil utilisé dans l'analyse réalisée.

III. Limites dues au travail sur des moyennes et au faible nombre d'individus

Les moyennes sont un très bon moyen de traiter des données, mais celles traitées dans ce mémoire présentent de grands écart-types, synonymes d'une grande variabilité. En faisant des moyennes, on perd donc un peu de cette variabilité. Pour pallier cela, des classes d'individus qui se ressemblent ont été créées. La question du travail avec des médianes s'est posée, mais les valeurs n'étaient pas vraiment différentes des moyennes. Elles n'apportaient pas d'informations supplémentaires. De plus, le faible nombre d'individus a limité l'usage de tests statistiques car toutes les combinaisons de modalités ne sont pas disponibles. Enfin, l'absence de plan expérimental a été un facteur limitant. Les conditions offertes à Derval ne permettent pas de faire de comparaisons de deux lots de vaches car il est impossible de les séparer physiquement. Une comparaison de deux lots avec différentes quantités de fourrage complémentaire offertes aurait pu être intéressante, de même que des comparaisons de lots de vaches de parités et de stades de lactation différents.

IV. Difficultés techniques et répercussions sur le jeu de données

Comme évoqué dans la partie Matériels et méthodes, des difficultés dues au matériel ont compliqué la collecte des données. Lors des essais réalisés avec les Lifecorder, certains appareils s'éteignaient sans prévenir, toujours à minuit. D'après différents tests, il s'avère que les ondes servant à l'identification des animaux à la porte de tri et au robot sont responsables du déchargement prématuré des piles. Le problème s'est atténué, mais il y a toujours eu quelques cas de capteurs éteints durant le mois de Mai, ce qui a engendré un jeu de données à trous. Malgré tout, 10 vaches sur les 25 présentent un jeu de données complet (la 3417 a été tarie le 12 Juin mais son jeu de données est complet), et 7 autres ont 55 jours ou plus de données disponibles. Malgré tout, il y a toujours eu plus de 18 valeurs disponibles pour un même jour. Par contre, les moyennes de certaines vaches ont pu être affectées si les jours de données manquantes correspondent à des jours favorables ou défavorables à l'ingestion ou à l'accès à la pâture.

En ce qui concerne les antennes d'identification, nous avons eu quelques problèmes avec des vaches non identifiées lors de leurs passages, notamment aux heures de retour privilégiées par le troupeau. Cela induit des erreurs dans le calcul des temps de pâturage. Une grande partie de ces erreurs ont été corrigées à la main, mais il se peut qu'il en reste certaines. De plus, le logiciel nécessite un ordinateur toujours allumé afin d'enregistrer les données. Mais à cause des orages, il y a certaines périodes durant lesquelles il s'est éteint, ce qui là encore induit des jours manquant dans le jeu de données. Sur les 61 jours d'expérimentations, les temps de pâturage ont pu être calculés pour 40 jours. Les périodes manquantes sont présentées dans le *Tableau 13*. Il ne manque aucune données pour la parcelle ID. Au final, il y a 21 jours de données pour la parcelle ID, 11 pour T2 et 8 pour Grand Pré.

V. Ecart par rapport au protocole

Comme évoqué dans la partie 0, il existe deux règles de décision concernant le changement de parcelle. Dans la pratique, la règle basée sur la production laitière est utilisée, car les hauteurs d'herbe ne sont pas réalisées assez souvent. Cela entraîne une sortie de parcelle à une hauteur supérieure à celle prévue par le protocole, qui est de 5,5 au troisième cycle de

Tableau 14 : Hauteurs d'herbe d'entrée et sortie, et quantité de maïs distribué pour chaque premier jour dans une parcelle

	Date d'entrée	Hauteur d'entrée (cm)	Hauteur de sortie (cm)	Quantité de maïs (kg MS/VL)
T2, cycle 2	01/05	10,9	7,3	6,7
ID, cycle 2	11/05	10	7,3	5,6
GP, cycle 3	27/05	12,2	11	7,3
T2, cycle 3	11/06	10,5	8	9,9
ID, cycle 3	26/06	8,4	7	10,3

pâturage. Durant l'expérimentation, la hauteur de sortie la plus faible a été de 7,3 cm (*Tableau 14*). Les vaches ne rasant pas les parcelles, probablement à cause du fait que la quantité de maïs distribué à l'auge augmente avec l'avancement de la parcelle, comme montré précédemment. Le tableau montre également les quantités de maïs distribuées en début de parcelle, qui sont comprises entre 5,6 et 10,3 kg MS/VL. Le dernier point concernant le protocole porte sur la distribution des fourrages complémentaires. Elle doit avoir lieu le soir au moment auquel les vaches rentrent au bâtiment. Cela permettrait aux vaches de ressortir le matin le ventre vide, ce qui favoriserait l'ingestion d'herbe. En pratique, la distribution avait lieu le matin, ce qui avait pour conséquence une entrée massive des vaches au bâtiment à cette heure-là, et qui ne ressortent pas par la suite, même après la traite. Une distribution le soir aurait certainement engendré des temps d'ingestion plus importants, et peut-être des temps d'accès à la pâture plus importants également car les vaches ne seraient pas forcément rentrées le matin.

VI. Implication d'une distribution non constante de maïs

Elle peut expliquer les résultats obtenus, à savoir une grande variation des temps enregistrés entre le début et la fin d'une parcelle. En début de parcelle, l'ingestion d'herbe et le temps d'accès à la pâture sont généralement les plus élevés. Puis ils diminuent au fur et à mesure que le nombre de jours dans la parcelle augmente, en même temps que la quantité de maïs distribuée. Le maïs est un paramètre qui pourrait inciter les vaches à réduire leur temps d'accès à la pâture et d'ingestion. De plus, le temps de présence en bâtiment plus important laisse penser que les vaches ingèrent plus de maïs (les refus à l'auge ne sont pas plus importants en fin de parcelle).

Pour pallier cela, il serait intéressant de réaliser le même travail avec une complémentation en fourrages basée sur le SHD. Cela consiste à réaliser des mesures à l'herbomètre une fois par semaine afin d'évaluer la quantité d'herbe disponible, et à partir de là ajuster la quantité d'ensilage de maïs à distribuer à l'auge pour garantir à tout moment 10 jours d'avance d'herbe. Cette quantité de maïs reste constante tout au long de la semaine, ce qui permettrait de mieux appréhender le paramètre temps d'ingestion d'herbe en fonction du stock, à maïs constant.

VII. Le pâturage tournant simplifié ne facilite pas la productivité des pâtures

La hauteur d'herbe est un autre paramètre qui pourrait inciter les vaches à passer moins de temps à ingérer de l'herbe. En effet, la quantité d'herbe disponible va diminuer quand la durée de séjour dans la parcelle va augmenter. Pourtant, les hauteurs de sortie disponibles dans le *Tableau 13* laissent penser qu'il reste de l'herbe dans la parcelle. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces observations. Tout d'abord, deux des trois parcelles sont vieilles (presque 10 ans), ce qui peut rendre l'herbe peu appétente ou d'une qualité faible. L'épiaison des graminées peut cependant influencer les mesures de hauteurs d'herbe (cas de la parcelle Grand Pré au cycle 3). La technique à l'herbomètre donne alors une hauteur importante, alors qu'il ne reste que des tiges dans la parcelle et que le stock d'herbe est faible. Enfin, une autre raison peut être la grande taille des parcelles (de 8 à 10 ha) voulue par le pâturage tournant simplifié. Dans de telles parcelles, les vaches peuvent avoir du mal à aller chercher l'herbe, comme l'ont montré Delaby et al. (2011). Ils rappellent que selon la méthode développée par Hoden et al. (1991), la hauteur d'herbe résiduelle n'est pas le critère de décision de sortie de parcelle. Les résultats obtenus au Pin au Haras ont montré qu'une augmentation de la hauteur de sortie au cycle précédent de 5 à 6 cm entraîne lors du cycle suivant une augmentation de la hauteur de sortie de 0,5 cm pour une hauteur d'entrée de 12 cm. Ils traduisent la difficulté d'une bonne valorisation de l'herbe offerte sans pénaliser la

Tableau 15 : Comparaison des moyennes de durée d'ingestion, temps d'accès à la pâture, fréquence de traite et production laitière entre les trois parcelles

	GP		ID		T2	
	Effectif	Valeur	Effectif	Valeur	Effectif	Valeur
Durée d'ingestion (min)	14	338 ^a	21	272 ^b	26	257 ^b
Temps d'accès au pâturage (min)	8	666 ^a	21	610 ^a	12	562 ^a
Fréquence de traite (VL/jour)	14	2,03 ^a	21	2,16 ^b	26	2,11 ^{a, b}
Production laitière (kg/VL/jour)	14	28,7 ^a	21	26,7 ^b	26	27,8 ^a

a, b = significativement différents (p<0,05)

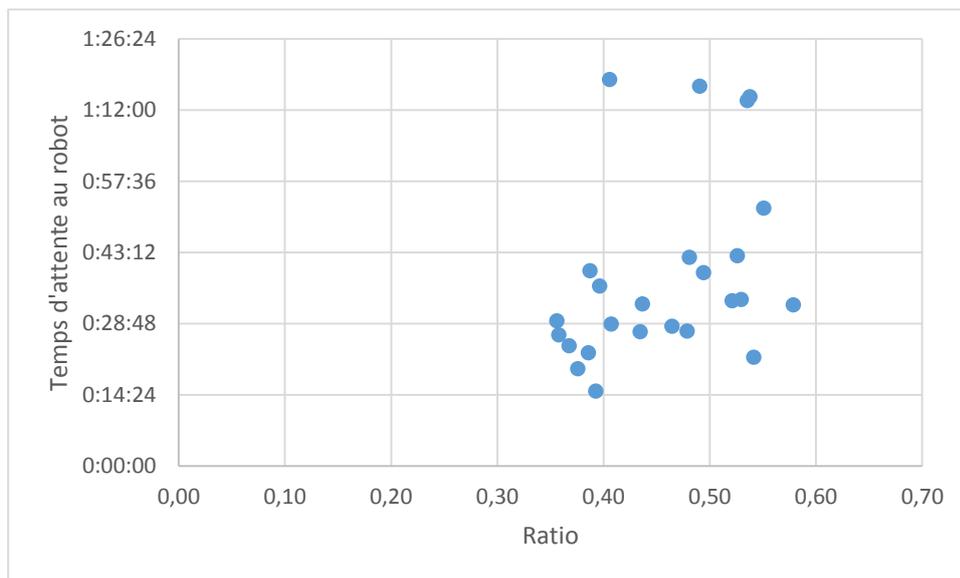


Figure 16 : Moyenne des valeurs de ratio en fonction du temps d'attente au robot pour chaque vache

production laitière. Le pâturage tournant simplifié semble relativement simple à gérer, avec seulement 3 parcelles, mais il est plus difficile qu'il n'y paraît. Il est difficile de bien valoriser l'herbe, comme en témoignent les hauteurs de sortie de parcelle.

VIII. La distance pâture-bâtiment : un effet contrasté

Certaines publications étudiées dans la bibliographie ont montré que la distance entre la pâture et le bâtiment pouvait avoir un effet sur la fréquence de traite et parfois sur la production laitière. Cela a été vérifié pour la ferme de Derval, qui possède deux parcelles accessibles directement en sortie de bâtiment, et une autre dont l'entrée est distante d'environ 400 mètres. Pour cette analyse, toutes les journées de données disponibles ont été utilisées (1^{er} Mai au 31 Juin, sauf pour les temps de pâturage). Les comparaisons de moyenne entre cette parcelle et les deux autres ont montré quelques différences. La fréquence de traite des 25 vaches concernées par l'étude est plus faible pour Grand Pré, mais cette différence n'est significative qu'entre cette parcelle et ID (*Tableau 15*). La distance n'a donc pas un effet clair sur la fréquence de traite. La production laitière est significativement plus faible pour la parcelle ID. Là encore, la distance n'est pas le facteur expliquant la différence. Le temps d'ingestion est significativement plus important pour la parcelle la plus éloignée. Cependant, il est difficile de considérer un effet de la distance, car le temps d'accès à la pâture n'est pas significativement plus élevé. De plus, cet effet est sûrement combiné avec des effets semaine, météo ou qualité d'herbe offerte.

IX. Saturation du robot : implications possibles dans les résultats

Avec 72 vaches en moyenne dans le troupeau, le robot est saturé. Il fonctionne 20h sur 24, ce qui laisse peu de marges aux vaches pour se faire traire deux fois par jour. Il peut alors se poser le problème de la dominance entre vaches. Les plus dominées vont avoir moins de temps pour accéder au robot. Cette difficulté pour accéder au robot peut engendrer des temps plus importants dans l'aire d'attente. Le passage au robot étant le moyen d'accéder à la pâture, il est possible que les vaches dominées aient un temps d'accès plus faible à la pâture. Et comme elles sont censées avoir la même capacité d'ingestion que les autres vaches, cela se traduirait par un ratio plus important. Selon Wiktorsson et Sørensen (2004), les vaches dominées attendent plus que les dominantes avant de passer au robot. C'est donc le paramètre choisi pour tester les hypothèses. Ces valeurs sont représentées en fonction du ratio sur la *Figure 16*. Visiblement, il n'y a pas de liaison entre les deux variables. On obtient le même genre de graphe pour la représentation du temps d'accès moyen à la pâture en fonction du ratio moyen, c'est-à-dire que les vaches qui ont le ratio le plus important ne sont pas forcément celles qui ont le temps d'accès à la pâture le plus faible. On ne peut donc rien conclure concernant le fait que les vaches dominées seraient pénalisées pour l'accès à la pâture.

X. Intérêt de l'utilisation de capteurs d'ingestion pour la gestion du pâturage

Une étude pour laquelle la gestion des fourrages complémentaires serait basée sur le SHD permettrait de suivre l'évolution du temps d'ingestion sur des périodes durant lesquelles les vaches ingèrent la même quantité de maïs. Plusieurs hypothèses sont alors envisageables. La capacité d'ingestion des vaches étant constante, le temps d'ingestion restera constant afin de garder un niveau d'ingestion constant. La hauteur d'herbe diminuant logiquement au fil de la semaine, le temps d'ingestion pourrait diminuer car l'offre disponible est moins importante. Enfin, le temps d'ingestion pourrait augmenter car l'herbe se faisant plus rare, les vaches

ingèreraient moins à chaque bouchée, et devraient ingérer plus longtemps pour satisfaire leurs besoins. Une publication de Rook et al. (1994) apporte en partie des réponses à ces hypothèses. Ils ont étudié l'effet de la hauteur d'herbe (4, 6 ou 8 cm) et de la complémentation en concentré (0 ou 4 kg/VL/jour) sur le comportement alimentaire au pâturage des vaches laitières. A la hauteur de 4 cm sans complémentation, le temps d'ingestion est plus long qu'à 6 ou 8 cm, avec un taux de bouchées plus important, et des bouchées moins grandes. Par contre, avec 4 kg de concentré offert, les vaches pâturant à une hauteur de 4 cm « abandonnent » plus facilement l'herbe, et le temps d'ingestion d'herbe devient plus faible. Ces résultats pourraient être vérifiés avec des quantités de maïs constantes, et également pour une période de 100 % pâturage comme cela a déjà été réalisé à Derval en 2011, 2012 ou 2013.

Les travaux réalisés cette année à Derval n'ont pas mis en évidence une relation entre temps d'ingestion des vaches au pâturage et avancement dans la parcelle. Toutefois, il n'est pas possible de savoir si l'évolution du temps d'ingestion est due à la diminution de la hauteur d'herbe ou l'augmentation de la quantité de maïs. Pour être utilisé par un éleveur, un éventuel outil de gestion devrait être un outil de décision, afin de savoir quand changer les vaches de parcelle ou d'ajuster la complémentation en fourrage. Pour cela, des relations claires et des règles de décision fiables devraient être établies. Oudshoorn et al. (2013) ont publié des travaux dont les objectifs sont de quantifier l'ingestion d'herbe des vaches laitières afin d'optimiser la ration du troupeau et la productivité des parcelles. Pour cela, ils ont utilisé un accéléromètre pour obtenir le temps d'ingestion, et ont manuellement mesuré la fréquence de bouchées. Ils ont également calculé la quantité théorique d'herbe ingérée à partir du bilan énergétique. En comparant la valeur obtenue à celle de leur modèle, ils obtiennent un intervalle de prédiction de $\pm 1,2$ à $\pm 1,4$ kg MS/VL/jour. Ces données de temps d'ingestion ou de quantités d'herbe ingérée viendraient enrichir les méthodes déjà existantes en matière de mesures sur les animaux pour la gestion du pâturage, comme la méthode utilisée à Derval, basée sur la production laitière (d'après la méthode de Hoden et al., 1991). En combinant les mesures sur les animaux et celles sur l'herbe (hauteurs d'herbe et SHD), les éleveurs disposeraient de solutions supplémentaires pour la gestion de l'herbe parfois jugée difficile. Cependant, les résultats obtenus ont montré une grande variabilité individuelle, qui n'est pas expliquée par les caractéristiques zootechniques (parité ou stade de lactation). Ils montrent aussi un comportement des vaches qui n'est pas constant au fil des jours, ce qui va peut-être compliquer la recherche de lois de réponses.

Conclusion

Les contextes économiques et réglementaires incitent aujourd'hui les éleveurs laitiers à aller vers une plus grande autonomie alimentaire, notamment en valorisant le pâturage dont l'intérêt économique n'est plus à démontrer. Les robots de traite sont de plus en plus présents dans les élevages laitiers mais la part de pâturage dans ces exploitations est souvent bien moins importante par rapport à des exploitations avec des systèmes de traite plus classiques.

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'intérêt des nouvelles technologies pour améliorer la gestion du pâturage avec un robot de traite, afin d'éventuellement offrir de nouveaux outils aux éleveurs pour les inciter à davantage faire pâturer leurs vaches. Les travaux ont permis de mettre en évidence que certains animaux ont une préférence pour le pâturage par rapport à d'autres. Il existe cependant une grande variabilité inter individus et inter jours dans les temps d'ingestion et d'accès à la pâture. Cela a compliqué l'étude du comportement individuel, d'autant plus qu'elle ne s'explique pas par les caractéristiques zootechniques des vaches. De plus, la majorité des vaches n'a pas gardé un comportement constant tout au long de la période d'expérimentation. Le premier enseignement de ce travail est donc que l'utilisation de ces données pour un pilotage individuel des animaux s'avère difficile, voire inutile. En revanche, il s'est dégagé des tendances intéressantes au niveau du troupeau. Les outils utilisés ont ainsi permis d'objectiver l'existence de jours plus favorables au pâturage que les autres (temps accès au pâturage plus long et moins de retours volontaires au bâtiment). Ils correspondent aux premiers jours dans une nouvelle parcelle couplée à une quantité faible d'ensilage de maïs distribuée. Les travaux ont également confirmé la diminution du temps d'ingestion d'herbe moyen du troupeau au fur et à mesure de l'avancement de la parcelle. Malheureusement, en raison de la météo, l'absence de période en 100% pâturage cette année, conjugué avec une distribution variable de maïs à l'auge n'a pas permis de dégager de lois de réponse et a compliqué l'analyse des données. En conséquence, il n'a donc pas été possible de savoir si les vaches ont eu des temps d'ingestion et d'accès à la pâture plus faibles à cause de la diminution de la hauteur d'herbe (qui restait cependant élevée, même en fin de parcelle), ou de l'augmentation de la quantité de maïs distribuée.

Le temps d'ingestion, voir même la quantité d'herbe ingérée par les vaches au pâturage pourrait être un élément très intéressant pour les éleveurs qui pâturent déjà ou qui voudraient développer le pâturage sur leurs exploitations. Des expérimentations menées à quantités constantes de maïs tout au long d'une parcelle permettraient peut-être de trouver une relation entre temps d'ingestion et hauteur d'herbe (ou stock d'herbe disponible), d'où pourraient être déduite des lois de réponse afin de connaître les quantités de fourrages complémentaires à distribuer ou le moment auquel il faudrait changer les vaches de parcelle. Pour cela, la valorisation des données récoltées aux mois de Juin, Juillet et Août sur le troupeau biologique de la ferme expérimentale de Trévarez pourrait être intéressante.

Références bibliographiques

- Blomberg K. 2011. Automatic registration of dairy cows grazing behaviour on pasture. Mémoire de master Swedish University of Agricultural Sciences. 21p.
- Delaby L., Leurent S., Carbonnier Y., Leloup L. 2011. Au pâturage, des indicateurs pour faciliter les décisions de sortie de parcelles des vaches laitières. Renc. Rech. Ruminants, 2011, 18.
- Elischer M. F., Arceo M. E., Karcher E. L., Siegford J. M. 2013. Validating the accuracy of activity and rumination monitor data from dairy cows housed in a pasture-based automatic milking system. Journal of Dairy Science, 96:6412–6422.
- Hoden, A., Muller, A., Peyraud, J.-L., Delaby, L., Faverdin, P. 1991. Pâturage pour vaches laitières. Effets du chargement et de la complémentation en pâturage tournant simplifié. Productions Animales, 4 (3), 229-239.
- Jago J., Burke J. 2010. An evaluation of two pastoral dairy production systems using automatic milking technology. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 72: 109-116.
- Kaufmann L.D., Muenger A., Rerat M., Junghans P., Goers S., Metges C.C., Dohme F. 2009. Dépense énergétique, activité physique et comportement alimentaire de vaches laitières au pâturage ou consommant la même herbe à la crèche. Renc. Rech. Ruminants, 2009, 16.
- Ketelaar-de Lauwere C. C., Ipema A. H., Lokhorst C., Metz J. H. M., Noordhuizen J. P. T. M., W. G. P. Schouten, Smits A. C. 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. 65:131–142.
- Meuret M., Tichit M., Hostiou N. 2013. Elevage et pâturage « de précision » : l'animal sous surveillance électronique. Courrier de l'environnement de l'INRA n°63, p. 13-24.
- Moreau M., Siebert S., Buerkert A., Schlecht E. 2009. Use of atri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. Applied Animal Behaviour Science, 119,158-170.
- Nielsen P. P. 2013. Automatic registration of grazing behaviour in dairy cows using 3D activity loggers. Applied Animal Behaviour Science, 148, 179-184.
- Rook A.J., Huckle C.A., Penning P.D. 1994. Effects of sward height and concentrate supplementation on the ingestive behaviour of spring-calving dairy cows grazing grass-clover swards. Applied Animal Behaviour Science, Volume 40, Issue 2, p. 101–112.
- Spörndly E., Krohn C., Van Dooren H.J., Wiktorsson H. 2004. Automatic milking and grazing. In : Proceedings of Automatic milking: a better understanding, Lelystad, Netherlands, pp.263–272.
- Spörndly E., Wredle E. 2002. Automatic milking and grazing – Motivation of cows to visit the milking robot. Deliverable D26 within the EU-project, Implications 11 of the introduction of automatic milking on dairy farms (QLK5 – 2000 – 31006). November 2002, 30 pp.
- Spörndly E., Wredle E. 2004. Automatic milking and grazing – Effects of distance to pasture and level of supplements on milk yield and cow behavior. Journal of Dairy Science, 87:1702–1712.

- Ueda Y., Akiyama F., Asakuma S., N. Watanabe. 2011. The use of a physical activity monitor to estimate the eating time of cows in pasture. *Journal of Dairy Science*, 94:3498–3503.
- Umemura K., Wanaka T., Ueno T. 2009. Technical note: estimation of feed intake while grazing using a wireless system requiring no halter. *Journal of Dairy Science*, 92, 996–1000.
- Umemura K. 2013. Technical note: Monitoring grazing bites and walking activity with pedometers. *Journal of Dairy Science*, 96 :1090–1093.
- Van Dooren H.J.C. 2004. Results of partner 1 in: Automatic milking and grazing, Final report. Deliverable D27 within the EU-project Implications of the introduction of automatic milking on dairy farms (QLK5 – 2000 – 31006).
- Watanabe N., S. Sakanoue, K. Kawamura, T. Kozakai. 2008. Development of an automatic classification system for eating, ruminating and resting behavior of cattle using an accelerometer. *Japanese Society of Grassland Science* ISSN1744-6961.
- Wiktorsson H., Sørensen J.T. 2004. Implications of automatic milking on animal welfare. In: A. Meijering, H. Hogeveen, C.J.A.M. de Koning (Eds.) *Automatic Milking. A Better Understanding*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands; 2004: 371–381.
- Yoshitoshi R., N. Watanabe, K. Kawamura, S. Sakanoue, R. Mizoguchi, H-J. Lee, Y. Kurokawa. 2013. Distinguishing Cattle Foraging Activities Using an Accelerometry-Based Activity Monitor. *Rangeland Ecology & Management* : Vol. 66, Issue 3, p. 382-386.

Sitographie

- IDELE (2014). Robots de traite : état des lieux en 2013.
<http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/robots-de-traite-le-deploiement-continue.html> (consulté le 28/08/2014).

Annexes

Annexe I : présentation du projet Autograssmilk



Le projet Autograssmilk : concilier traite robotisée et pâturage

*Systèmes de production innovants et durables
combinant traite automatisée et pâturage de précision*

La tendance d'expansion des robots de traite en production bovine à travers l'UE est clairement identifiable. Toutefois, le recours accru aux robots est associé à une diminution de la part de pâturage : cette évolution est problématique compte tenu des intérêts économiques et écologiques démontrés de l'herbe pâturée, atouts qui vont donc être perdus si on ne parvient pas à combiner robots de traite et systèmes de production pâturants.

■ LES OBJECTIFS DU PROJET AUTOGRASSMILK

Autograssmilk a pour objectif d'accroître la compétitivité de l'élevage laitier européen en réussissant la combinaison pâturage/traites robotisées, et ce dans différents contextes et systèmes de production régionaux. Les objectifs du projet seront atteints :

- en développant des stratégies d'alimentation alliant pâturage et robot pour différents systèmes de production,
- en utilisant de nouvelles technologies de précision, à l'échelle de l'animal ou de la parcelle, pour optimiser la combinaison pâturage/robot,
- en accroissant la durabilité des élevages combinant pâturage et robot,
- en développant un outil d'optimisation économique pour les élevages laitiers combinant robot et pâturage,
- et en communiquant au fur et à mesure les connaissances ainsi acquises auprès des producteurs et de leurs conseillers, d'une manière aisément accessible et adaptée aux contextes locaux, afin d'améliorer l'efficacité des exploitations laitières.

■ LES PARTENAIRES

Les partenaires engagés dans ce projet sont :

- des associations européennes représentant les éleveurs laitiers et les transformateurs (associations de PME) de 6 pays différents : Irlande, Danemark, Suède, Pays-Bas, Belgique et France ;
- 2 élevages, l'un en Irlande et l'autre au Danemark, ainsi que 4 à 6 fermes pilotes dans chaque pays participant au projet ;
- des organismes de recherche en lien avec des fermes expérimentales en Irlande, Danemark, Suède, Pays-Bas, Belgique et France.

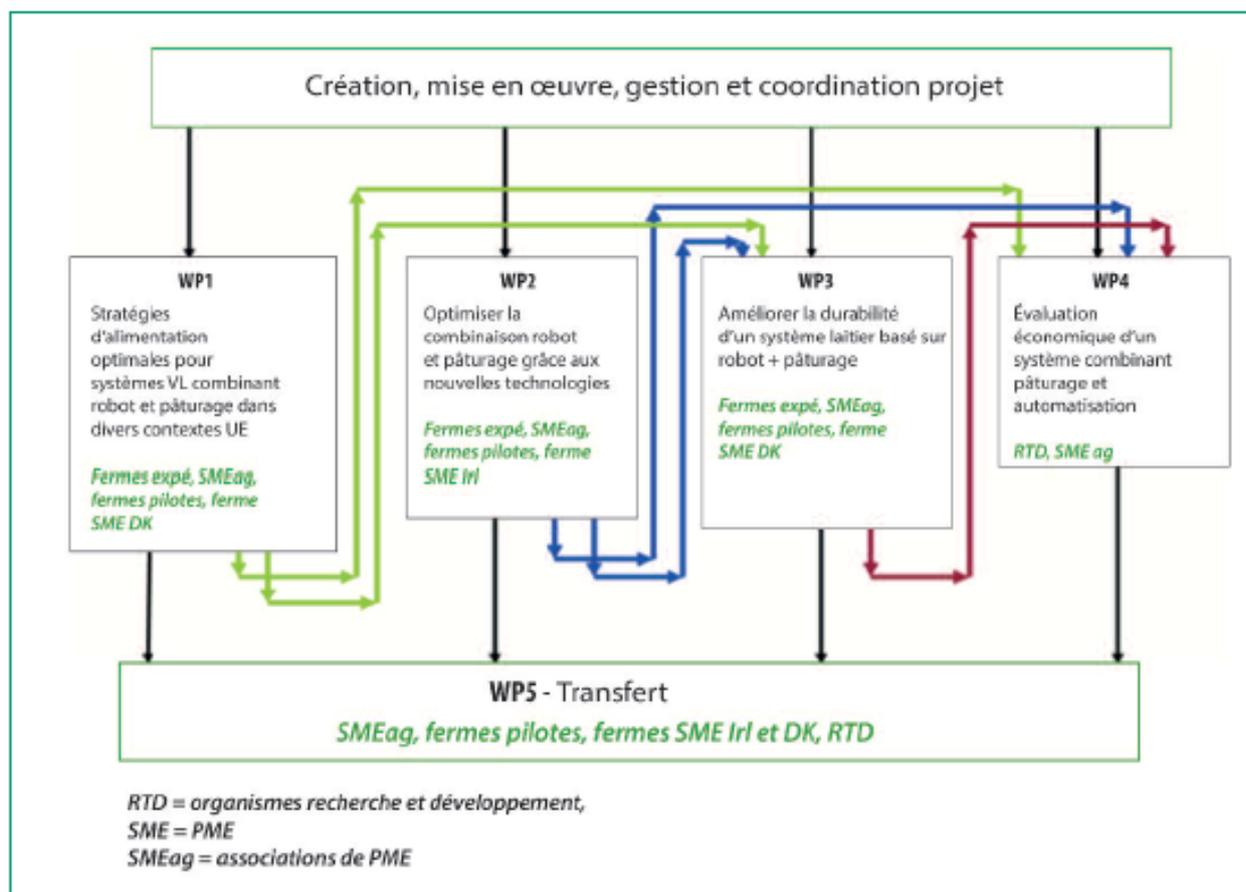
Pour la France, les partenaires engagés dans le programme sont le CNIEL (Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière), représentant des producteurs et transformateurs de lait, ainsi que l'Institut de l'Élevage, pour le volet recherche. Les actions de recherche seront réalisées en partenariat avec le Pôle Herbivores des Chambres d'Agriculture de Bretagne (station de Trévarez) et la Chambre d'Agriculture de Loire Atlantique (Derval).

Le projet Autograssmilk : concilier traite robotisée et pâturage

Systèmes de production innovants et durables combinant traite automatisée et pâturage de précision

■ L'ORGANISATION DU PROJET

Il comprend 5 sous-projets ou " WP = Work Packages " en plus du volet coordination :



Ce projet innovant de 3 ans (début : 1/1/2013) est financé par l'Union Européenne dans le cadre d'un programme de recherche au profit des associations de PME (UE FP7 SMEags). Le budget global du projet est de 3,1 millions d'euros.

CONTACTS

Valérie BROCARD
Institut de l'Élevage - BP 85225 - 35652 Le Rheu cedex
Tél. 02 99 14 77 27
Mél. valerie.brocard@idele.fr
www.idele.fr

Nadine BALLOT
CNIEL - 42 rue de Châteaudun - 75314 Paris cedex 09
Tél. 01 49 70 71 11
Mél. nballot@cniel.com
www.infos.cniel.com

Pour en savoir plus : www.autograssmilk.eu



Annexe II : protocole de pâturage 2014 de la ferme expérimentale de Derval

Principes généraux de l'essai « robot et pâturage » – volet pâturage

L'essai de Derval 2014 se déroule dans un contexte de robot saturé (72 VL) pour lequel l'optimisation de la circulation et du temps d'utilisation du robot est fondamentale. L'objectif est donc de pâturer le plus possible dans ces conditions, en essayant de valoriser au mieux l'herbe de printemps et d'automne.

Un second objectif sera de fermer le silo de maïs et de réussir à le maintenir fermé le plus longtemps possible avant redistribution de fourrages complémentaires, et ce selon le stock d'herbe disponible pour le pâturage et les conditions de pousse.

Objectif de valorisation annuelle : > 1 t MS herbe pâturée/VL

En 2014 les vaches seront conduites en 1 seul lot physique.

1- Fourrages

Le principe d'alimentation en fourrages retenu est celui d'un calendrier fourrager avec des dates repères et des règles de décision pour la gestion du pâturage. Les fourrages complémentaires sont ajustés au SHD et aux prévisions de pousse : ils interviennent en complément pour maintenir un stock d'herbe d'environ 10 jours à tout moment.

11- Pâturage :

Mode de pâturage :

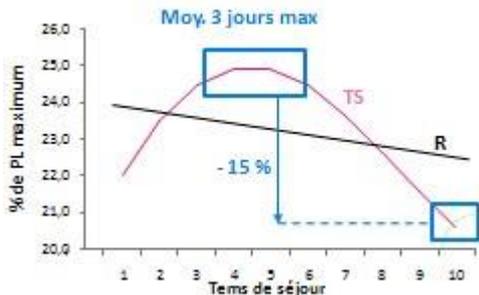
Le pâturage sera conduit en 3 parcelles de RGA-TB de 6, 10 et 10 ha en pâturage tournant simplifié (TS).

Surface totale à disposition des vaches : 26 ha / 72 VL soit 36 ares/vl en moyenne. Pas d'objectif de récolte d'excédent.



Règles de décision pour le changement de parcelle : pilotage du TS sur ses variations de production et les hauteurs herbomètre.

Changement de parcelle quand chute de 10 % (-15%) de lait / PL maximum (J3-4-5) sur la parcelle (cf annexe 4) ou quand $H_s = 45\% H_e$ (mais cette règle est plus complexe d'application car elle suppose la réalisation préalable de mesures herbomètre sur la parcelle, alors que l'herbomètre général pour le SHD n'est fait qu'une fois par semaine)

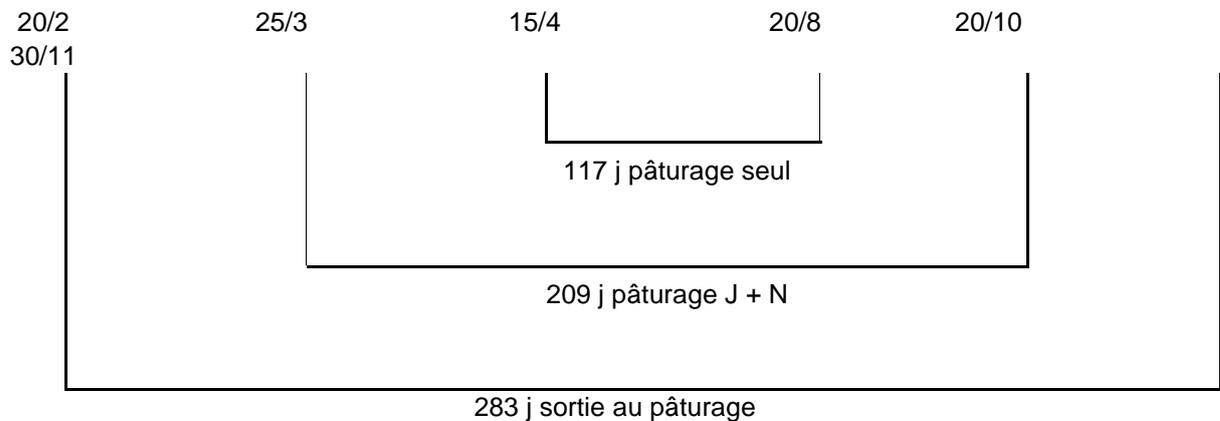


Hoden et al. (1991)

Dates clés de pâturage :

Le pilotage est calé sur les règles habituelles de gestion d'un lot de VL à 40 ares d'herbe par vache : règles basées sur les jours d'avance, la croissance de l'herbe et les hauteurs d'herbe.

Repères de dates clés pour un système à 40 ares d'herbe par vache (Bretagne) :



Mise à l'herbe :

Sortie le 10 mars. Hauteur d'herbe en sortie de parcelle à la fin du 1^{er} cycle: la plus faible possible (4 à 5 cm selon les conditions de pâturage).

Fin de 1^{er} cycle: autour le 16 avril

Nuit dehors :

Vers le 25 mars, dès que 10 j d'avance (150 kg MS) et une pousse de 25 kg de MS/ha /j.

Fermeture silo :

Vers le 15 avril, dès que 12 j d'avance et une pousse de 40 kg MS/ha/j.

Fauche :

Le retrait d'une parcelle du pâturage sera fonction du nombre de jours d'avance : maintenir 12 jours d'avance de pâturage sur les parcelles non débrayées.

Toutes les parcelles non pâturées ou fauchées entre le 20 mai et le 15 juin seront fauchées, afin de couper l'épi des ray-grass.

Après le 10 juin, faucher si plus de 25 jours d'avance (400 kg MS/VL)

Réouverture silo :

Si moins de 12 jours d'avance et si pousse inférieure à 40 kg de MS/ha/j.

Nuit établie :

Si moins de 10 jours d'avance (150 kg MS/VL) et si croissance inférieure à 15 kg de MS/ha/j.

Fin du pâturage :

Les animaux sortent tant que la portance des sols permet le pâturage. On respectera au minimum 2 mois et demi de repos hivernal pour chacune des parcelles (Repère fin pâturage : Autour du 30 novembre.).

Hauteur sortie recherchée: Changement de parcelle quand Hs = 45% He.

Repères généraux pour des parcelles de RGA-TB :

Cycle	Hs objectif
C1	4 à 5
C2	5,5
C3	5,5
C4	5,5
C5	5,5
C6	5
C7	-

Gestion de la fertilisation azotée des prairies RGA-TB:

- 30 u N par ha (lisier) pour les prairies pâturées/ fauchées
- 0 pour les parcelles uniquement pâturées

Gestion des fourrages complémentaires :

Nature du fourrage distribué : ensilage de maïs

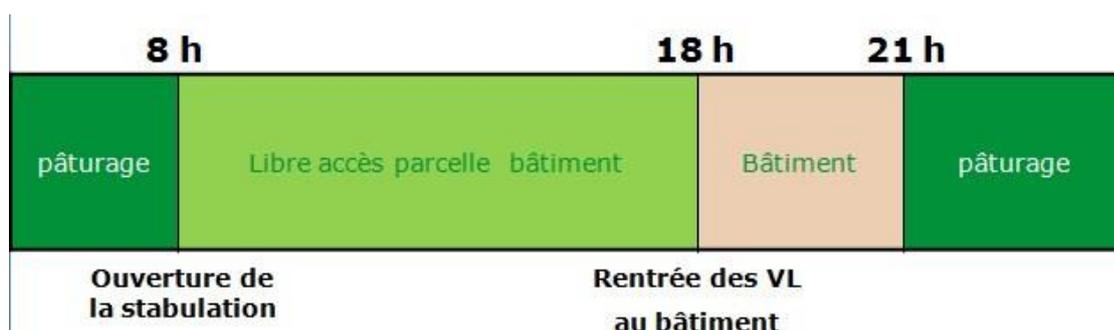
- Heure de distribution : ne doit pas limiter l'ingestion d'herbe au pâturage : les vaches doivent ressortir le matin le ventre vide.
- En période de « transition », le maïs sera donc mis à disposition le soir vers 17h tant qu'il représente ½ ration ou plus. Suppression du maïs sans étape (de 5 à 0 kg MS/vl/j).

Gestion des accès bâtiment/pâturage :

- En période de « transition », deux astreintes seront conservées à 8h et 18h pour les soins et observations des animaux, ainsi que la gestion des accès bâtiments/pâturation. Les vaches encore dehors sont ramenées de la pâturation vers 17h30-18h.



- En période de pâturation « jour + nuit », la ressortie des VL le soir se fera à partir de 21h. Une astreinte est conservée vers 18h pour les soins et observations des animaux, ainsi que la gestion des accès bâtiments/pâturation (idem à 8h). Les vaches encore dehors sont ramenées de la pâturation vers 17h30-18h.



Ration distribuée :

Régime hivernal à dominante ensilage de maïs. Le niveau azoté des rations totales visé en régime dominante maïs est de 95 g de PDIE/UFL.

2- Concentrés

- Concentré de production : blé uniquement, au robot.

De 1 à 4 kg par vache selon lait à la mise à l'herbe. Quantités constantes à la vache de la mise à l'herbe à la fin de l'essai.

PL mise à l'herbe (kg)	Kg conc/ML/j
<= 25	1
26-32	2
>= 33	4

- Correcteur azoté : du commerce, à base de colza tanné, soja et urée. Les calculs sont faits cidessous sur la base d'une équivalence avec un colza 35.

Hypothèse EM à 45g PDIN/kg MS, objectif ration à 95 g PDI/ UFL.

<u>Sur herbe de printemps et automne</u> si part de maïs < 50 % de la ration si part de maïs > 50 % et < 75 %	0 colza 150 g colza /kg MS EM
<u>Sur herbe d'été (juillet-août)</u> si part de maïs < 25 % de la ration si part de maïs > 25 % et < 75 %	0 200 g colza /kg MS EM
<u>Sur régime EM dominant :</u> si part de maïs > 75 % de la ration	270 g colza / kg MS EM

Hypothèse EM à 36 g PDIN/kg MS, objectif ration à 95 g PDI/ UFL

3- Minéraux VL

En pratique : impasse minérale au pâturage compte-tenu de la durée limitée de la période pâturage seul.

4- Mise à disposition de l'eau

Eau en entrée de stabulation et après le robot mais pas d'eau dans les parcelles ni sur le chemin d'accès.

5- Circulation des animaux

Afin de maximiser le temps de présence sur les pâtures, la porte de présélection avant le robot sera désactivée durant la période 100% pâturage. Ainsi les vaches seront obligatoirement redirigées vers la pâture, qu'elles soient traites ou non.

6- Activité des animaux

Des capteurs placés en entrée et sortie de la stabulation permettront d'enregistrer les déplacements des animaux entre la pâture et le bâtiment.

Et 24 colliers individuels identificateurs d'activité serviront à enregistrer l'activité des vaches au pâturage : temps réel de pâturage durant le temps de présence sur la pâture.

7 - Mesures et enregistrements effectués :

Base : « protocole de mesures au pâturage » EDE-CA-Institut de l'Elevage-ITCF, 1994.

Herbe pâturée :

- tenue d'un calendrier de pâturage (sur planning papier ou Excel ou logiciel Herb'Evol) ;
- mesures de la hauteur d'herbe à l'entrée et à la sortie des parcelles à l'herbomètre : nombre de mesures : 25/ha minimum. Stockage et valorisation : Herb'Avenir 44 ou fichier pâturage Derval (excel), cf annexe 7.
- mesures herbomètre toutes les semaines sur les 3 parcelles : elles serviront à la fois à gérer le pâturage du lot et pour le calcul de la croissance (cf Observatoire des Fourrages Bretagne / Echo des Fourrages 44). Stockage : Herb'Avenir;
- Estimations du taux de trèfle blanc sur toutes les parcelles en même temps que les mesures herbomètre ;
- mesures des surfaces fauchées et des quantités récoltées (pesée et teneur en MS par parcelle).
- prélèvement d'échantillons d'herbe pour analyse de la valeur alimentaire : 1 prélèvement à l'entrée dans chaque grand paddock.
Composition de l'herbe : une analyse de MS, MAT, MM, CB, P, K, Mg, Ca et digestibilité DCellulase par mois et par lot sur un échantillon moyen constitué à partir d'échantillons primaires prélevés lors de chaque entrée dans une nouvelle parcelle.
- mesures de la densité d'herbe : avant chaque entrée dans un nouveau paddock, à la motofaucheuse.

Les références de densité qui seront initialement utilisées dans logiciels de valorisation seront celles issues du travail réalisé dans le cadre de l'Agro Transfert Bretagne (Defrance et al, 2005) :

Grille de densité de l'herbe (kg MS / cm / ha) pour la Bretagne

Type de prairie	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	automne	Moyenne
RGA	230	240	225	235	250	270	275	245	245
RGA-TB	- 30 kg MS / cm / ha par rapport au RGA breton								215

Elles seront remplacées par celles mesurées à Derval au fur et à mesure de la saison.

Pour les simulations hebdomadaires de jours d'avance, utilisation des hypothèses de croissances 44.

- estimation des rendements des prairies (Herb'Evol) ;

- Estimation de la MS ingérée par VL à l'aide du tableur excel de l'INRA MSIF.xls (cf annexe 6)

- Concentrés : vérifier fréquemment quantités distribuées par tour de vis au robot

Estimation précise des quantités de concentrés en mélange au fourrage pour estimer quantité total de concentré par VL/j

- Production laitière : évolution au cours de la parcelle

Pour le suivi du pâturage et la décision de changement de parcelle et/ou de quantités de fourrages complémentaires, il est nécessaire de suivre la production par jour et par vache au quotidien et d'estimer sur chaque parcelle la production maximale en J3-4-5.

On tracera donc la courbe de lait/vl/j (attention aux effectifs : entrée/sortie VL selon vêlages et tarissements) en indiquant les modifications de QMS EM et/ou concentrés (stockage : fichier excel pâturage)

- Critères économiques : marge lait sur concentrés totaux et si possible marge lait sur coût alimentaire par grande période d'alimentation.
- Activité des animaux : les enregistrements effectués par les colliers et les capteurs permettront de connaître le comportement de différents profils de vaches au pâturage.

Annexe III : protocole pour l'observation des vaches laitières en période de pâturage en situation de traite robotisée

Ces journées d'observation se déroulent dans la cadre de deux stages de fin d'étude. Elles sont mises en place afin d'observer le comportement et la circulation des vaches laitières dans un système combinant robot de traite et pâturage. Elles serviront également à valider la performance des capteurs de mesure du temps d'ingestion au pâturage et en bâtiment.

Les objectifs de ces études sont de pouvoir répondre aux questions suivantes :

- Les colliers accéléromètres donnent-ils des temps d'ingestion corrects ? (validation des capteurs)
- Quel sera l'impact de la suppression de la porte de présélection sur la circulation des animaux en termes de fluidité et d'habitude du troupeau ?
- Quelle est la motivation des vaches à rentrer au bâtiment et sortir au pâturage ? (première activité)
- Quel est le comportement des vaches restant au bâtiment ? (dorment, ruminent, attendent)
- Le fonctionnement des antennes entrée et sortie du bâtiment et des podomètres peut-il être validé ?
- les boiteries et problèmes de membres ont-ils un impact sur la circulation des animaux ?

1. Test des colliers accéléromètres :

Deux journées seront nécessaires à cette observation : une en période de transition et une en période de 100% pâturage. Toutes deux suivront le même protocole.

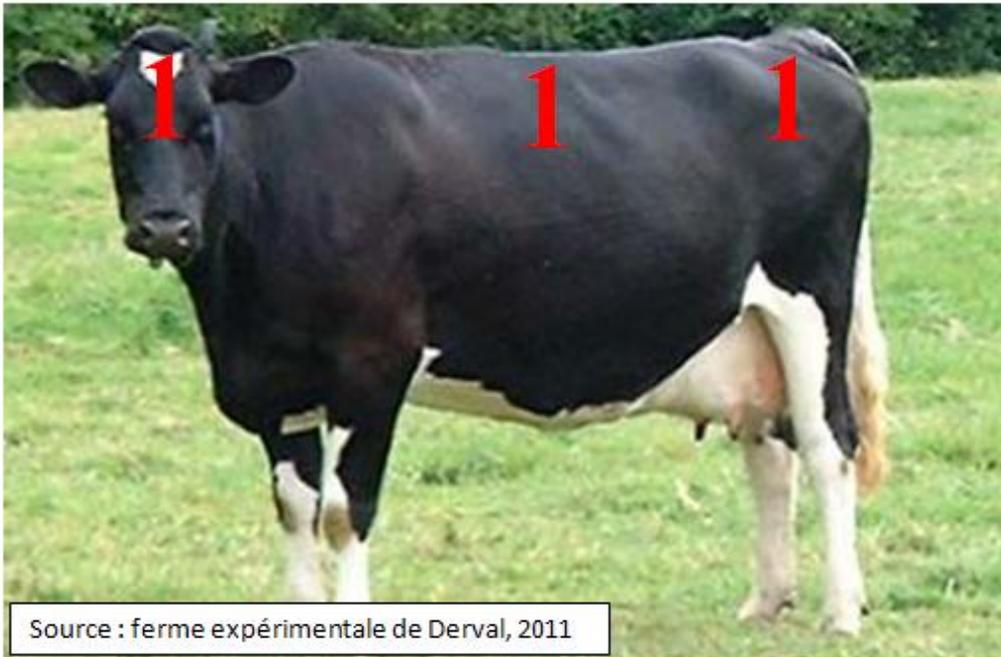
Parmi le troupeau de vaches laitières de la ferme expérimentale de Derval, 25 seront tirées au sort pour faire l'objet d'un suivi (celles qui seront équipées d'un collier). Ces dernières seront préalablement sélectionnées en fonction de leur stade de lactation (début (<120 j) / fin (>120 j)) mais aussi en fonction de leur parité (primipare/multipare), tout en gardant une certaine représentativité du troupeau dans l'échantillon. Ainsi 4 groupes de vaches seront formés.

Pour mieux reconnaître les animaux lors des observations, nous les identifierons la veille de l'expérimentation en les bloquant aux cornadis pour leur peindre des numéros avec de la peinture acrylique. Ce type de peinture est idéal puisqu'elle n'est pas nocive pour les animaux et se nettoie à l'eau. Au final, chaque groupe disposera d'une couleur (4 couleurs différentes : bleu, rouge, orange, vert) et à l'intérieur de chaque groupe, chaque animal sera repéré d'un numéro compris entre 1 et 8. Ce repérage individuel sera porté sur les côtés droit et gauche des hanches et des flancs, mais aussi sur la tête de chaque vache suivie (photos n° 1 ; 2 et 3).

Numéro de l'animal	Parité	Stade de lactation	Couleur/numéro
3546	Primipare	Début lactation	1 Rouge
3543	Primipare	Début lactation	2 Rouge
3547	Primipare	Début lactation	3 Rouge
3539	Primipare	Début lactation	4 Rouge
3517	Primipare	Fin lactation	5 Rouge
3545	Primipare	Fin lactation	6 Rouge
3533	Primipare	Fin lactation	1 Bleu
3538	Primipare	Fin lactation	2 Bleu
3541	Primipare	Fin lactation	3 Bleu
3532	Primipare	Fin lactation	4 Bleu
3364	Multipare	Début lactation	5 Bleu
3508	Multipare	Début lactation	6 Bleu
3473	Multipare	Début lactation	7 Bleu
3500	Multipare	Début lactation	1 Vert
3417	Multipare	Début lactation	2 Vert
3470	Multipare	Fin lactation	3 Vert
3463	Multipare	Fin lactation	4 Vert
3479	Multipare	Fin lactation	5 Vert
3439	Multipare	Fin lactation	6 Vert
3499	Multipare	Fin lactation	1 Orange
3495	Multipare	Fin lactation	2 Orange
3444	Multipare	Fin lactation	3 Orange
3421	Multipare	Fin lactation	4 Orange
3383	Multipare	Fin lactation	5 Orange
3472	Multipare	Fin lactation	6 Orange



Photo 2



Source : ferme expérimentale de Derval, 2011



Photo 3

Source : ferme expérimentale de Derval,

Trois points d'observation seront mis en place, un au niveau du bâtiment et deux au niveau de la pâture. Les points d'observation seront placés en hauteur.

Figure n°1 : Schéma du bâtiment

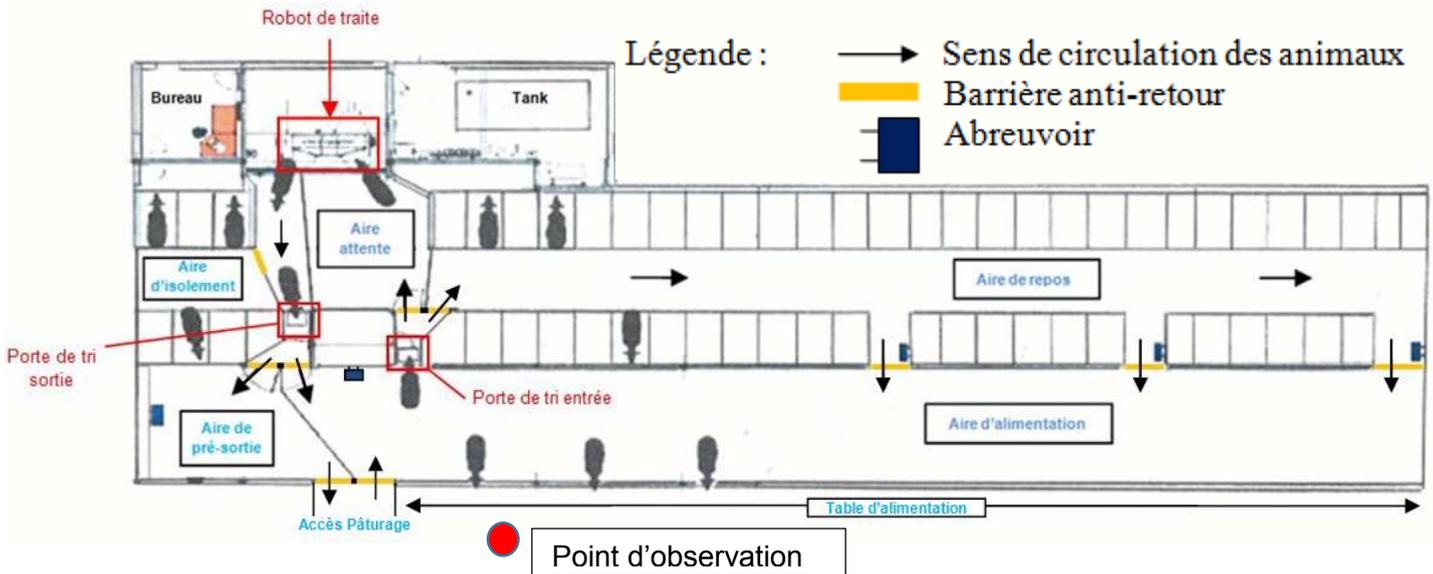
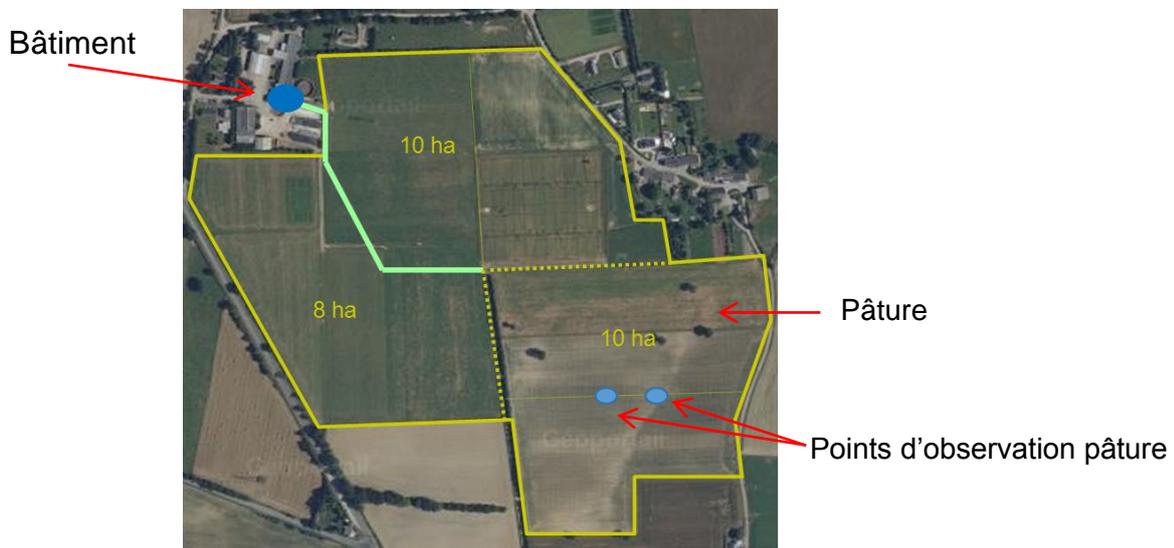


Figure 2 : Schéma des points d'observation



Des groupes de 6 personnes seront constitués (selon les disponibilités), avec 2 personnes au bâtiment et 4 à la pâture. Avoir deux groupes complets permet d'alterner afin de rester attentif durant les observations. De plus, les personnes observant à la pâture seront être munis de jumelles.

Tout au long de la journée, nous réaliseront des scannings toutes les 10 minutes. Dans ces scannings, nous donnerons pour chaque animal sélectionné des informations relatives à sa localisation, sa position et son activité. Ci-dessous sont présentées les grilles vierges qui serviront aux enregistrements des observations (une pour la pâture et une pour le bâtiment).

1. Suppression de la porte de pré-sélection :

Une seconde journée d'observation sera mise en place en période de plein pâturage, suivant le même protocole. La comparaison des résultats obtenus lors de ces deux journées permettra d'étudier l'impact de la modification de la circulation dans le bâtiment : Les vaches habituées à rester dans le bâtiment vont-elles passer plus de temps à pâturer ?

2. Poids des boiteries et des tarsites sur la circulation des animaux :

L'identification des vaches atteintes de boiteries ou de tarsites la veille de la première observation. Elle permettra par la suite de connaître leur poids sur la circulation. Le défilement des vaches pour leur notation se fera dans le chemin d'accès à la pâture. La grille de l'annexe 1 sera remplie.

3. Test des podomètres et des antennes :

En ce qui concerne la validation des antennes d'identification des vaches en entrée et sortie du bâtiment, elles seront également validées durant une autre journée. Une seule personne est suffisante pour cette observation, qui n'a pas besoin de durer toute la journée. Elle se fera grâce à la grille de l'annexe 4 et selon les critères de l'annexe 7.

4. Calendrier prévisionnel :

Numérotation des animaux, Notation des boiteries et tarsites	Veille de l'observation
Journée d'observation 1	Première ou deuxième semaine d'avril, en période de transition
Journée d'observation 2	Fin Mai-Début Juin en période 100% pâturage
Demi-journée de test des podomètres/antennes	Première semaine d'avril

5. Annexes

Annexe 1 : Table des correspondances (à remplir la veille de l'observation)

N° de l'animal (boucle)	Couleur marquage	N° marquage	Note Boiterie	Note Tarsite	Remarques

Annexe 2 : Grille d'observation pâture et bâtiment

<u>N° VL</u>	<u>T1</u> (0min)	<u>T2</u> (10min)	<u>T3</u> (20min)	<u>T4</u> (30min)	<u>T5</u> (40min)	T6 (50min)	T7 (60min)	Commentaires
1 Rouge								

Annexe 4 : Grille d'observation pour validation des capteurs antennes

VALIDATION ANTENNES

Observateur :

Date :

Commentaire :

N° VL	Heure	Entrée (A1+A2)	Sortie (A1)	Demi-tour (A2)	Autre/commentaire

Annexe 5 : Liste des évènements susceptibles de perturber l'enregistrement des capteurs (colliers)

- Se gratte
- Donne un coup de tête
- Secoue ou balance la tête
- Marche
- Court
- Se lèche
- Lèche quelque chose
- Meugle
- Evite/Pousse une autre vache
- Chevauche/ Se fait chevaucher
- Reste dans la porte de tri

Annexe 6 : Liste de l'équipement à prévoir

- Grilles de collecte des données et support rigide
- Jumelles
- Talkie-walkie
- Peinture acrylique et pinceaux
- Grilles de notation boîtiers et tarsites
- Bottes de foin/remorques... Pour observer en hauteur
- Casquette

Annexe 7 : Situations de test, podomètres

1. La vache fait demi-tour (A1-A1 ou A1-A2-A1)
2. Longue hésitation (avance recule pendant une heure sur la même borne ou entre les deux bornes)
3. La vache passe sur l'antenne recule et repasse ex : laisse passer une dominante (A1-A1 ou A2-A2)
4. La vache vient de se faire traite, sort et rentre en bâtiment (A1-A2-[Traite]-A2)
5. Deux vaches passent en même temps sur la même antenne ou se chevauchent en passant sur l'antenne
6. Une vache reste immobile sur l'antenne durant un long moment

Annexe IV : présentation des fichiers de Rémy Delagarde (INRA, UMR1348 PEGASE – Agrocampus) pour traiter les données du Lifecorder

Fichier brut obtenu avec le Lifecorder

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed
00:00				3.3	1.7	0	1.6	0	0	0
00:02				1.5	2.1	0	0.3	0	0	0
00:04				2.4	2.8	0	0	0	0	0
00:06				2.8	2.6	0	0.7	0	0	0
00:08				2.9	2.2	0	1.2	0	0	0
00:10				2.5	2.7	0	2.2	0	0	0.7
00:12				1.9	2.1	0	3.3	0	0	1
00:14				1.7	2.1	0	4.4	0	0	1.8
00:16				2.4	1.7	0	2.5	0	0	1.6
00:18				1.7	2.8	0	5.2	0	0	3.3
00:20				2.5	2.9	0	4.1	0	0	2.8
00:22				1.9	2.4	0	3.4	0	0	2.1
00:24				0.8	2.2	0	3.5	0	0	2.8
00:26				1.3	2.2	0	3	0	0	3.1
00:28				1.6	2.5	0	0.3	0	0	2.5

Fichier intermédiaire de mise en forme des données

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu
Essai:	Derval										
Period:	Mai										
Lifecorder :	3										
Jour:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Date :	26/05/2014	27/05/2014	28/05/2014	29/05/2014	30/05/2014	31/05/2014	01/06/2014	02/06/2014	03/06/2014	04/06/2014	05/06/2014
JourExp:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Animal:	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470
00:00		0	0	0.1	0	0	0	3.5	0	0	0
00:02		0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
00:04		0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0
00:06		0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0
00:08		0.1	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0
00:10		0	0	0	0	0	0	2.9	0	0	0
00:12		0	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0
00:14		0	0	0	0	0	0	3.8	0	0	0
00:16		0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
00:18		0	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0

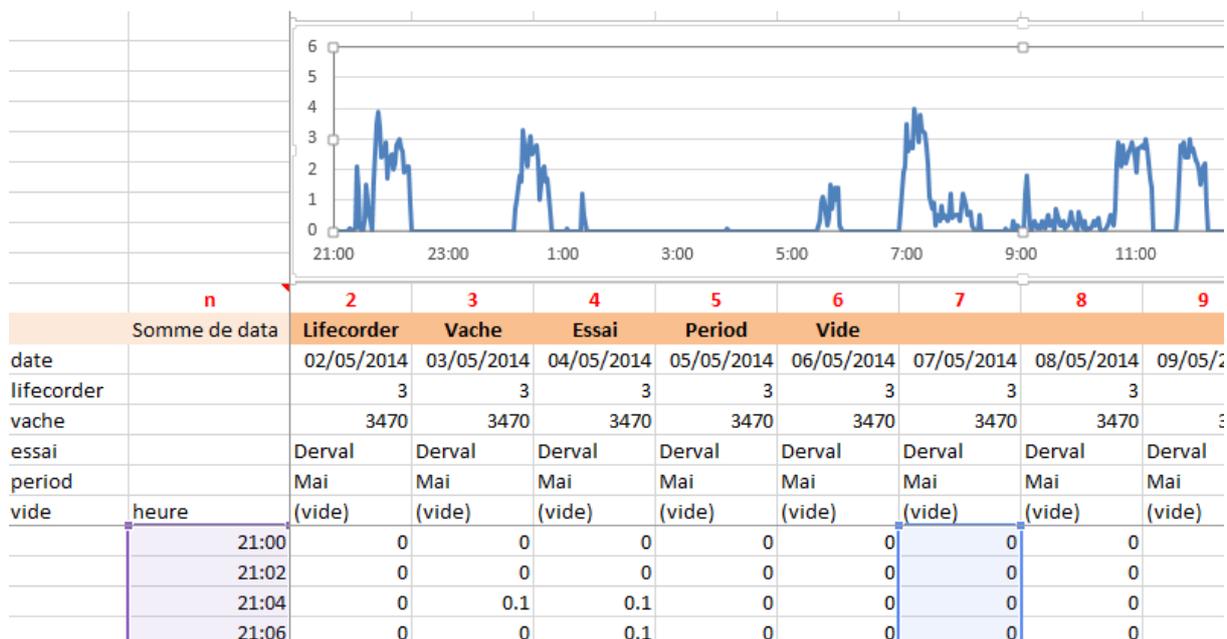
Feuillet « Pâturage » du fichier de traitement des données

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Seuil	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
Somme (min)	992	520	690	688	348	894	1018	146	468	798	538
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Dans le tableau C20:EV739, mettre: - 0 si les vaches sont hors parcelle - 2 si les vaches sont dans les parcelles </div>											
Date	1/5/14	2/5/14	3/5/14	4/5/14	5/5/14	6/5/14	7/5/14	8/5/14	9/5/14	10/5/14	11/5/14
Lifecorder	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vache	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470
Essai	Derval	Derval									
Serie	(vide)	(vide)									
Heure											
21:00	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
21:02	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
21:04	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
21:06	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0

Feuillet « Seuil » du fichier de traitement des données

62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5
2.43	2.34	2.11	2.69	1.99	2.11	2.02	1.52	1.59	1.59	1.09	2.07
-0.10	-0.30	-0.39	-0.39	0.12	0.03	-0.05	-0.40	-0.27	-0.34	0.09	0.23
Vérif graph											
2/5/14	3/5/14	4/5/14	5/5/14	6/5/14	7/5/14	8/5/14	9/5/14	10/5/14	11/5/14	12/5/14	13/5/14
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Derval (vide)											
			0.6					0.6	0.6		
		0.6	1	0.7				0.7	1.2		
	0.5			0.5				0.6	1.4	0.5	

Feuillelet « Importation » du fichier de traitement des données



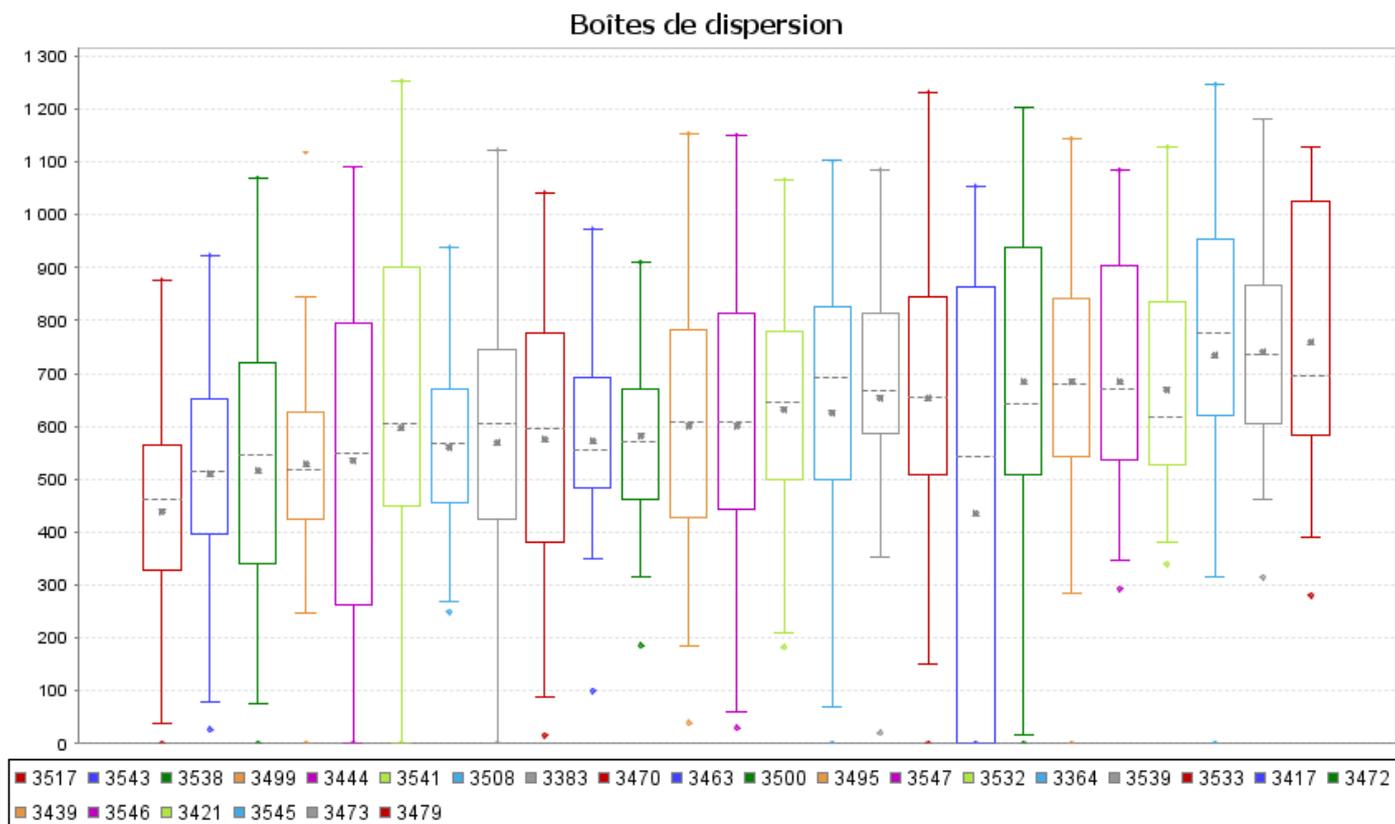
Feuillelet « Ingestion » du fichier de traitement des données, présentant les résultats

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Seuil	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3
DI	360	176	244	374	242	406	340	108	238	256	380
NbRepas	7	4	5	6	3	8	8	3	5	6	4
DurRepa1	86	76	62	184	172	62	42	32	18	40	236
TpsAcces	992	520	690	688	348	894	1018	146	468	798	538
ActBrut	354	176	242	362	242	404	340	110	238	254	378
Intrameals	370	176	246	384	242	408	346	110	238	256	382
Intermeals	360	176	244	378	242	406	344	108	238	256	380
Date	1/5/14	2/5/14	3/5/14	4/5/14	5/5/14	6/5/14	7/5/14	8/5/14	9/5/14	10/5/14	11/5/14
Lifecorder	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Vache	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470	3470
Essai	Derval	Derval									
Serie	(vide)	(vide)									

Annexe V : moyennes et écart-types de la durée d'ingestion, du temps d'accès à la pâture et du ratio entre ces deux dernières valeurs, pour chaque vache sur toute la durée de l'expérimentation

Numéro Vache	Moyenne de durée d'ingestion (DI) (min)	Écart-type de durée d'ingestion (DI) (min)	Moyenne de temps d'accès à la pâture (hh :mm :ss)	Écart-type de temps d'accès à la pâture (hh :mm :ss)	Moyenne du ratio DI/temps accès	Écart-type du ratio DI/temps accès
3364	219	115	10:26:52	4:42:16	0.36	0.14
3383	269	126	9:29:15	4:58:15	0.49	0.14
3417	285	159	11:00:57	5:16:05	0.41	0.19
3421	334	106	11:32:14	2:56:40	0.46	0.16
3439	312	115	11:22:04	4:11:07	0.43	0.13
3444	276	134	8:56:55	5:39:13	0.54	0.22
3463	234	100	9:41:07	2:44:37	0.41	0.15
3470	261	123	9:29:41	4:33:40	0.48	0.21
3472	269	137	11:05:33	4:57:41	0.40	0.19
3473	282	88	12:22:38	3:01:07	0.37	0.13
3479	276	105	12:29:58	3:56:56	0.39	0.13
3495	317	136	10:01:36	4:24:04	0.54	0.16
3499	226	114	8:47:50	3:09:52	0.39	0.17
3500	258	108	9:43:40	2:44:10	0.39	0.13
3508	282	115	9:21:17	2:53:17	0.48	0.16
3517	149	87	7:18:58	3:27:43	0.38	0.18
3532	335	139	10:21:51	3:30:18	0.53	0.16
3533	351	151	10:53:43	5:12:19	0.58	0.18
3538	293	109	8:35:59	4:16:46	0.55	0.17
3539	313	109	10:48:26	3:44:55	0.49	0.19
3541	289	127	9:18:51	5:28:20	0.53	0.19
3543	280	122	8:29:44	3:37:11	0.52	0.16
3545	329	160	12:13:31	5:12:57	0.44	0.14
3546	379	126	11:23:56	3:31:41	0.54	0.16
3547	213	95	10:01:56	4:30:28	0.36	0.16

Annexe VI : diagrammes en boîte présentant les temps d'accès à la pâture des 25 vaches équipées de colliers

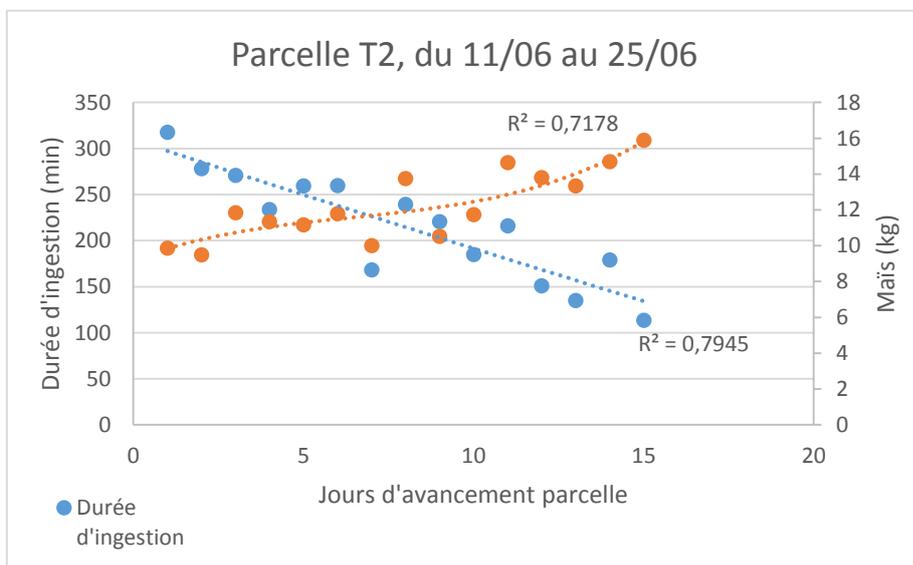
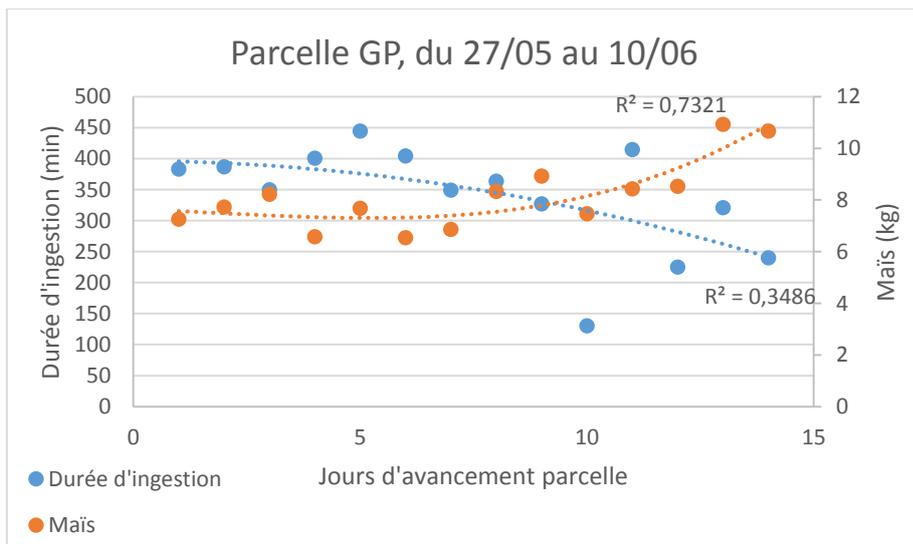
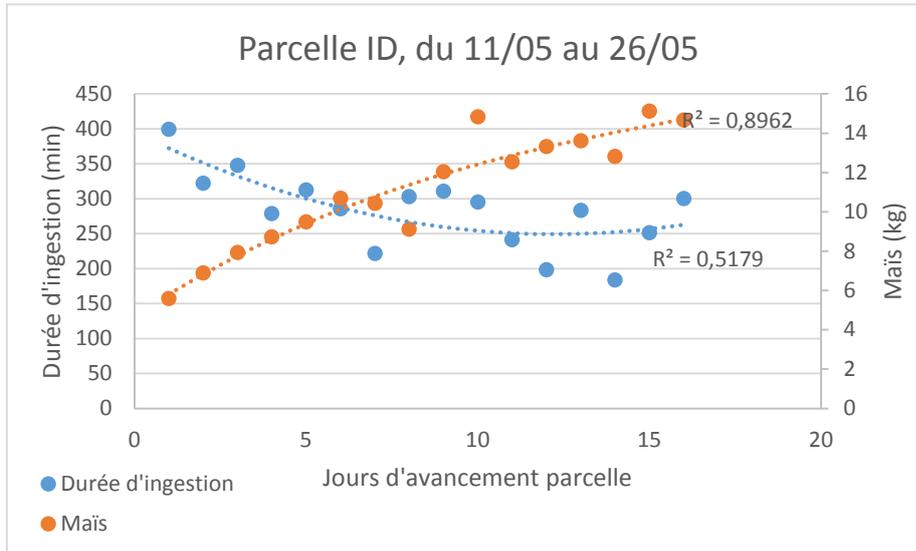


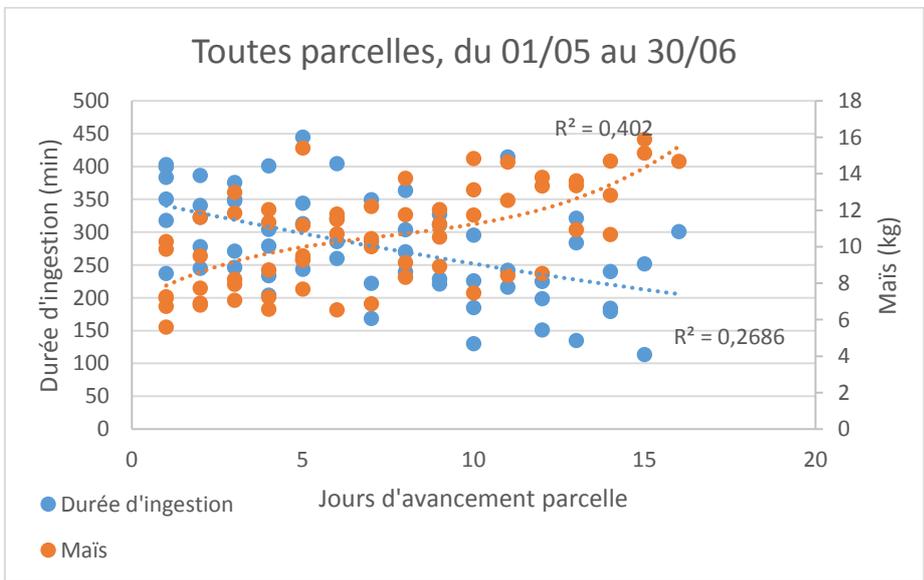
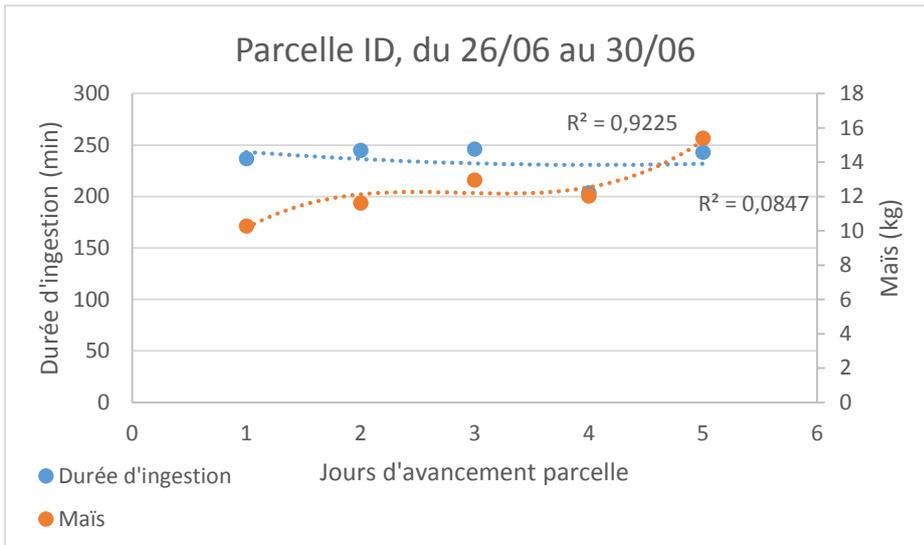
Annexe VII : moyennes et écart-types de la durée d'ingestion, du temps d'accès à la pâture et du ratio entre ces deux dernières valeurs, pour chaque jour d'expérimentation

Date	Moyenne de durée d'ingestion (DI) (min)	Écart-type de durée d'ingestion (DI) (min)	Moyenne de temps d'accès à la pâture (hh :mm :ss)	Écart-type de temps d'accès à la pâture (hh :mm :ss)	Moyenne du ratio DI/temps accès	Écart-type du ratio DI/temps accès
01/05	350	121				
02/05	341	94				
03/05	375	138				
04/05	304	107				
05/05	344	108				
06/05	321	99				
07/05	286	92				
08/05	270	94				
09/05	229	102	9:49:51	2:58:24	0.40	0.19
10/05	226	67	9:17:20	3:10:45	0.44	0.17
11/05	399	118	13:13:39	4:01:51	0.52	0.14
12/05	323	146	10:07:23	4:13:40	0.54	0.20
13/05	348	100	11:17:30	3:42:34	0.54	0.14
14/05	279	105	10:00:46	4:20:49	0.49	0.13
15/05	313	102	11:22:32	3:59:40	0.49	0.15
16/05	286	150	8:31:33	3:52:21	0.60	0.19
17/05	222	109	7:51:39	4:19:47	0.53	0.18
18/05	303	97	9:33:50	4:03:31	0.59	0.20
19/05	311	89	10:14:11	3:05:36	0.54	0.16
20/05	295	91	11:06:03	3:05:48	0.46	0.14
21/05	242	88	9:37:58	3:51:38	0.47	0.19
22/05	198	100	8:31:03	4:26:57	0.46	0.20
23/05	283	93	11:16:51	4:06:53	0.47	0.19
24/05	184	88	8:17:35	4:25:42	0.42	0.20
25/05	252	119	9:48:39	4:36:13	0.47	0.20
26/05	301	77	9:16:23	4:57:36	0.48	0.17
27/05	383	89	13:43:29	3:13:50	0.48	0.11
28/05	386	69	13:54:11	2:57:06	0.48	0.11
29/05	349	105				
30/05	401	107				
31/05	444	102				
01/06	404	132				
02/06	349	126	11:46:06	3:42:27	0.50	0.14
03/06	363	131				
04/06	327	156	10:00:41	4:32:15	0.56	0.14
05/06	403	87	12:37:31	3:53:25	0.56	0.13

06/06	130	107	6:25:14	4:32:10	0.36	0.19
07/06	414	159	12:10:21	4:25:30	0.58	0.14
08/06	225	149	10:06:07	6:01:50	0.37	0.20
09/06	321	179	10:42:28	5:11:53	0.48	0.18
10/06	240	169				
11/06	318	139				
12/06	278	83	10:10:37	4:00:00	0.46	0.12
13/06	271	122	10:23:26	4:18:24	0.45	0.14
14/06	234	100	10:17:30	3:44:57	0.39	0.13
15/06	259	89				
16/06	260	76				
17/06	168	55				
18/06	239	100				
19/06	221	72				
21/06	216	107	9:34:53	4:30:38	0.39	0.12
22/06	151	88	8:40:06	4:11:27	0.35	0.22
23/06	135	66	7:53:55	3:28:56	0.32	0.15
24/06	179	76	7:00:46	2:59:03	0.47	0.18
25/06	113	55	6:24:24	4:00:49	0.37	0.24
26/06	237	65	11:11:36	3:03:42	0.37	0.11
27/06	245	77	11:54:07	4:20:37	0.37	0.11
28/06	246	101	10:59:37	3:50:45	0.39	0.15
29/06	204	85	9:44:21	4:09:10	0.39	0.20
30/06	243	104	9:35:32	4:36:39	0.47	0.17

Annexe VIII : évolution de la durée d'ingestion et de la quantité de maïs distribuée à l'échelle de la parcelle, et sur la période d'expérimentation





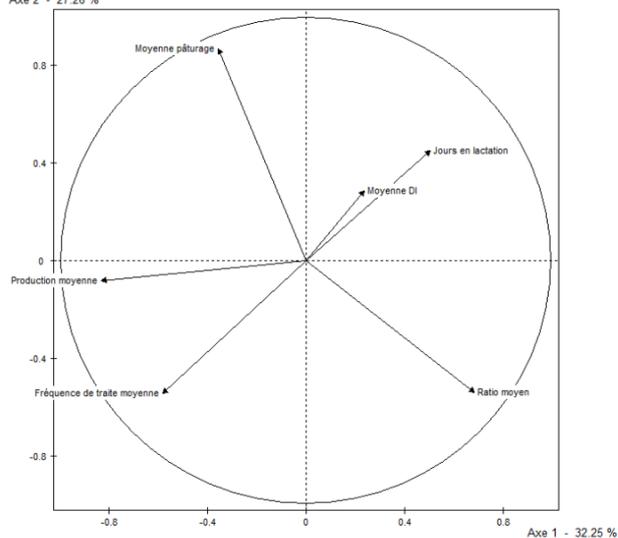
Annexe IX: matrices des corrélations de l'analyse en composantes principales caractérisant les jours de pâturage sur toute la période d'expérimentation

Matrice des corrélations caractérisant les jours (avec la fréquence de traite)

	Moyenne DI	Moyenne pâturage	Ratio moyen	Fréquence de traite
Moyenne DI	1.00			
Moyenne pâturage	0.84	1.00		
Ratio moyen	0.74	0.30	1.00	
Fréquence de traite	0.08	-0.14	0.41	1.00

Annexe X : Analyses en composantes principales caractérisant les classes de jour réalisées et matrices des corrélations correspondantes

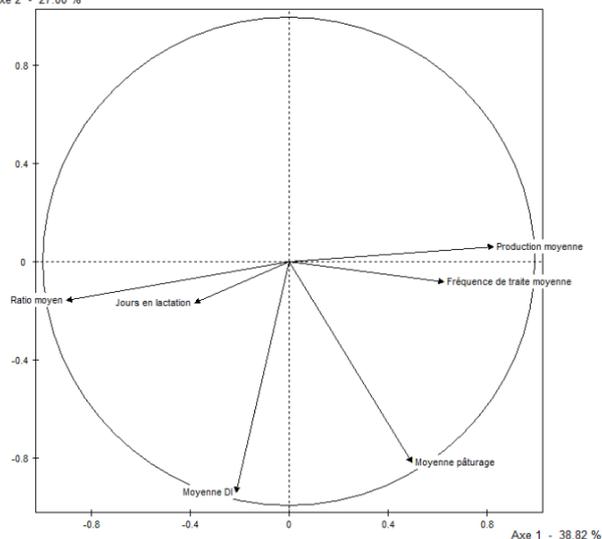
Axe 2 - 27.26 %



Classe de jour 1

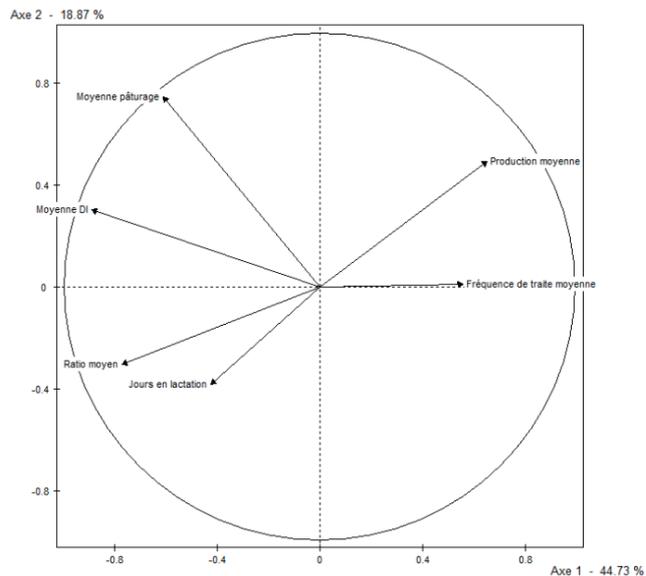
	Moyenne DI	Moyenne pâturage	Ratio moyen	Production moyenne	Fréquence de traite moyenne	Jours en lactation
Moyenne DI	1.00					
Moyenne pâturage	0.36	1.00				
Ratio moyen	0.37	-0.59	1.00			
Production moyenne	-0.03	0.21	-0.35	1.00		
Fréquence de traite moyenne	0.01	-0.21	-0.04	0.52	1.00	
Jours en lactation	0.15	0.07	0.04	-0.30	-0.32	1.00

Axe 2 - 27.00 %



Classe de jour 2

	Moyenne DI	Moyenne pâturage	Ratio moyen	Production moyenne	Fréquence de traite moyenne	Jours en lactation
Moyenne DI	1.00					
Moyenne pâturage	0.61	1.00				
Ratio moyen	0.38	-0.38	1.00			
Production moyenne	-0.21	0.34	-0.64	1.00		
Fréquence de traite moyenne	-0.06	0.25	-0.45	0.36	1.00	
Jours en lactation	0.09	-0.05	0.31	-0.23	0.01	1.00



Classe de jour 3

	Moyenne DI	Moyenne pâturage	Ratio moyen	Production moyenne	Fréquence de traite moyenne	Jours en lactation
Moyenne DI	1.00					
Moyenne pâturage	0.73	1.00				
Ratio moyen	0.72	0.12	1.00			
Production moyenne	-0.35	-0.10	-0.51	1.00		
Fréquence de traite moyenne	-0.26	-0.32	-0.26	0.40	1.00	
Jours en lactation	0.28	0.08	0.25	-0.24	-0.12	1.00