VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2019 - Thèse n°086

UTILISATION DE LA BROSSE DETECTEE PAR UN OUTIL DE LOCALISATION CHEZ LA VACHE LAITIERE PRESENTANT UNE INFLAMMATION INTRA-MAMMAIRE

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 15 novembre 2019
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

RAUTENBACH Isabelle

VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2019 - Thèse n°086

UTILISATION DE LA BROSSE DETECTEE PAR UN OUTIL DE LOCALISATION CHEZ LA VACHE LAITIERE PRESENTANT UNE INFLAMMATION INTRA-MAMMAIRE

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 15 novembre 2019
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

RAUTENBACH Isabelle

Cette œuvre est sous licence Creative Commons Attribution - Pas de Modification 4.0 International. Pour accéder à une copie de cette licence, merci de vous rendre à l'adresse suivante http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/ ou envoyez un courrier à Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon *(01-09-2019)*

ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDOUX	Dorothée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEGROS	Vincent	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
THOMAS-CANCIAN	Aurélie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothée	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

REMERCIEMENTS AU JURY

À Monsieur le Professeur Stéphane THOBOIS

Professeur de Neurologie, de l'Université Claude Bernard Lyon 1, Faculté de médecine de Lyon

Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,

Mes hommages respectueux.

À Madame le Docteur Dorothée LEDOUX

Maître de conférences en Zootechnie, Bien-Être Animal et Médecine des Populations, de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon

Pour la confiance que vous m'avez accordée en me confiant ce sujet, pour votre disponibilité, votre soutien et votre aide infaillible tout au long de ce travail,

Mes sincères remerciements.

À Madame le Docteur Alice DE BOYER DES ROCHES

Maître de conférences en Zootechnie et Bien-être Animal, de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon

Pour votre aide et votre soutien dans toutes les étapes de ce travail, pour vos conseils avisés,

Mes sincères remerciements.

À Monsieur Bruno MEUNIER

Ingénieur d'étude en monitoring animal au sein de l'Équipe Caraibe du Centre de recherche INRA à Theix

Pour votre travail considérable, votre disponibilité et votre écoute malgré la distance,

Mes sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES

Table des annexes 11
Table des figures 13
Table des tableaux 15
Liste des abréviations 17
Introduction 19
Synthèse Bibliographique 21
I. Caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse 21
A. Définition du comportement de toilettage chez les ruminants 21
B. Description du comportement de toilettage autocentré 22
Bilan : caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse 25
II. Facteurs de variation du comportement 25
A. Individuels 25
B. Selon le stade physiologique de la vache 26
C. Facteurs environnementaux 26
D. Selon un rythme circadien 26
E. En lien avec une maladie d'élevage 27
1. Modification du comportement toilettage autocentré 27
2. Modification de l'utilisation d'une brosse 27
3. Modification du comportement en cas de mammite 28
Bilan : Facteurs de variation du comportement de toilettage autocentré 29
III. Observation du comportement d'utilisation de la brosse 29
A. Méthode d'échantillonnage du comportement d'utilisation de la brosse 29
B. Définir le comportement d'utilisation de la brosse 30
C. Observation directe 31
1. Observer in situ 31
2. Observer sur un enregistrement vidéo 31
D. Observation indirecte 32
1. Signes de brossage 32
2. Localisation à la brosse 32
3. Rotation de la brosse 33
Bilan : les méthodes de suivi du comportement d'utilisation de la brosse 34
IV. Problématiques, hypothèses et méthodologies 35
A. La caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse par la vache laitière : un véritable défi 35

1. Un comportement de toilettage autocentré difficile à observer et peu décrit 35
2. L'utilisation d'outils pour faciliter le suivi du comportement d'utilisation de la brosse... 36
B. L'utilisation de la brosse varie selon le niveau de santé de la vache mais ne fait pas partie des outils de l'examen clinique vétérinaire 36
1. La mammite, un exemple de maladie d'élevage à fort impact 36
2. Un modèle d'inflammation contrôlé pour étudier le comportement lors de mammites 37
Les questionnements à la source de mes études expérimentales 38
Première étude expérimentale : Évaluation d'un outil de localisation pour la détection de l'utilisation de la brosse 39
I. Matériel et Méthodes 39
A. Sujets et conditions d'élevage 39
B. Observations et mesures 40
C. Variables d'étude 44
D. Analyse statistique 45
II. Résultats 46
A. Caractérisation de l'utilisation de la brosse par observation vidéo 46
B. Performance de l'outil de localisation pour détecter l'utilisation de la brosse 50
Seconde étude expérimentale : Suivi du comportement d'utilisation de la brosse avant et après inflammation mammaire 55
I. Matériel et Méthodes 55
A. Sujets et conditions d'élevage 55
B. Traitements expérimentaux 56
C. Observations et mesures 57
D. Variables d'étude 59
E. Analyse statistique 60
II. Résultats 61
A. Évaluation du modèle d'inflammation mammaire 61
B. Utilisation de la brosse avant et après challenge 63
Discussion 69
Conclusion 79
Bibliographie 81
Annexes 87

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1. Brochure constructeur de la brosse rotative pivotante DeLaval SCB, DeLaval, Suède. 87
Annexe 2. Schéma de fonctionnement du système CowView (GEA CowView UWB-RTLS, 6x5x4 cm^3,146 g, GEA Farm Technologies, Allemagne), d'après Meunier et al., 2017. 88
Annexe 3. Méthode de Bland et Altman (1986) de comparaison de deux outils, étapes de calcul. 89
Annexe 4. Description du brossage par zone corporelle : médiane, quartiles et valeurs extrêmes..... 90
Annexe 5. Graphes de Bland et Altman (1986) des durées d'utilisations de la brosse pour chaque zone corporelle. 91
Annexe 6. Graphes de Bland et Altman (1986) des nombres d'utilisations de la brosse pour chaque zone corporelle. 92
Annexe 7. Vérification macroscopique de l'absence de bactéries dans le lait de chaque quartier avant challenge. 93
Annexe 8. Paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes des données physiologiques et biochimiques. 94
Annexe 9. Paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes des données comportementales décrites par la durée. 95
Annexe 10. Paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes des données comportementales décrites par le nombre d'utilisations. 96

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Exemple de séquence comportementale d'un toilettage à l'oreille chez la vache. D'après Campan, Scapini (2002) 21
Figure 2. Budget-temps de la vache laitière en logettes sur 24 heures. D'après Gomez, Cook (2010) et Ninomiya (2019). 23
Figure 3. Règles d'échantillonnage et d'enregistrement en observation comportementale. D'après Martin, Bateson (2007) 30
Figure 4. Plan du parc et position de la brosse. B : brosse automatique SCB DeLaval, Suède. 39
Figure 5. Identification d'une vache du parc. 40
Figure 6. Représentation des zones corporelles d'utilisation de la brosse. 41
Figure 7. Schéma à l'échelle des périmètres des zones de détection d'utilisation de la brosse par l'émetteur RLTS pour chaque zone corporelle. Exemple pour une vache se brossant au niveau de la croupe. 43
Figure 8. Emplacement de l'accéléromètre sur la brosse et aspect de l'accéléromètre. 43
Figure 9. Variations sur 24 heures du taux d'occupation de la brosse, calculé sur des intervalles de 15 minutes pour chaque jour d'observation : J1 (ligne continue), J2 (ligne en pointillés) et J3 (ligne interrompue), dans un parc de 28 vaches laitières. 46
Figure 10. Diagrammes en boite de la durée cumulée d'utilisation en min/24h (A), de la durée par visite en secondes (B) et du nombre d'utilisations sur 24 heures (C), pour chaque jour successif d'observation (J1, J2, J3), d'une brosse automatique par 27 vaches laitières. 47
Figure 11. (A) Durée d'utilisation de la brosse (min/24h) et (B) nombre d'utilisations de la brosse (/24h) estimés par observation vidéo pour chacune des 27 vaches, affichées par ordre décroissant de leur durée ou nombre moyen d'utilisations de la brosse, pour chaque jour d'observation : J1 (+), J2 (△), et J3 (□). 48
Figure 12. Taux individuel d'utilisation de la brosse par zone corporelle sur 24 heures pour chacune des 27 vaches observées, affichées par ordre décroissant du taux d'utilisation de la brosse dans la zone la plus brossée : vaches se brossant majoritairement à la tête (α), vaches n'ayant pas de préférence de zone corporelle prédominante (β), et vaches se brossant majoritairement la croupe (γ). 49
Figure 13. Durée d'utilisation de la brosse (min/24h) détectée par l'outil "CV+AC" pour chacune des 27 vaches, affichées par ordre décroissant de leur durée moyenne d'utilisation de la brosse, pour chaque jour d'observation : J1 (+), J2 (△), et J3 (□). 50
Figure 14. Nombre d'utilisations de la brosse (/24h) détecté par l'outil "CV+AC" pour chacune des 27 vaches, affichées par ordre décroissant de leur nombre moyen d'utilisations de la brosse, pour chaque jour d'observation : J1 (+), J2 (△), et J3 (□). 51
Figure 15. Graphe de Bland et Altman (1986) des différences entre les logarithmes décimaux des durées d'utilisation de la brosse (en sec/24h) par 27 vaches laitières, donnés par les outils "CV+AC" et "vid" sur trois fois 24 heures, en fonction des moyennes des valeurs fournies par chaque outil pour chaque individu. 51
Figure 16. Graphe de Bland et Altman (1986) des différences entre les racines carrées des nombres d'utilisations de la brosse (/24h) par 27 vaches laitières, donnés par les outils "CV+AC" et "vid" sur trois fois 24 heures, en fonction des moyennes des valeurs fournies par chaque outil pour chaque individu. 52
Figure 17. Calendrier des mesures et prélèvements 57

Figure 18. Température ruminale (°C) individuelle (points) et moyenne (courbes) par série d'observation, série 1 (n = 4 vaches, en noir), série 2 (n = 5 vaches, en gris), et série 3 (n = 5 vaches, en gris clair), pour 14 vaches ayant subi une inflammation mammaire à T0 par infusion 25 µg de LPS d'E. coli, en fonction du temps. 61
Figure 19. Cortisolémie (ng/mL) individuelle (points) et moyenne (courbes) par série d'observation, série 1 (n = 4 vaches, en noir), série 2 (n = 5 vaches, en gris), et série 3 (n = 5 vaches, en gris clair), pour 14 vaches ayant subi une inflammation mammaire à T0 par infusion 25 µg de LPS d'E. coli, en fonction du temps. 62
Figure 20. Comptage en cellules somatiques (/mL), individuel (points) et moyen (courbes) pour 14 vaches, par série d'observation, série 1 (n = 4 vaches, en noir), série 2 (n = 5 vaches, en gris), et série 3 (n = 5 vaches, en gris clair), dans le lait du quartier enflammé à T0 par infusion de 25 µg de LPS d'E. coli, en fonction du temps. 63
Figure 21. Diagrammes en boite de la durée cumulée d'utilisation en min/17,32h (A), de la durée par visite en secondes (B) et du nombre d'utilisations sur 17,32 heures (C) d'une brosse automatique, avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire chez 14 vaches laitières. 63
Figure 22. Diagrammes en boîte de la durée d'utilisation de la brosse (min/17,32h) au niveau de chaque zone corporelle avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire chez 14 vaches. 66
Figure 23. Durée d'utilisation de la brosse par zone corporelle, avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire chez 14 vaches laitières observées en 3 séries d'observations. Les lignes relient les valeurs avant et après challenge d'une même vache. 66
Figure 24. Nombre d'utilisations de la brosse par zone corporelle, avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire chez 14 vaches laitières observées en 3 séries d'observations. Les lignes relient les valeurs avant et après challenge d'une même vache. 67
Figure 25. Distributions de la différence des logarithmes décimaux des durées (A, A') et des racines carrées des nombres (B, B') d'utilisations de la brosse par 27 vaches estimés par vidéo et par l'outil "CV+AC", représentées par un diagramme en boîte (A, B) et un diagramme quantile-quantile des différences (A', B') 89
Figure 26. Graphes de Bland et Altman (1986) des différences pour les zones "tête" (A), "tête+tronc" (B) et "tronc+croupe" (C), entre les logarithmes décimaux des durées d'utilisation de la brosse (/24h) pour 27 vaches laitières, données par les outils "CV+AC" et "vid", en fonction des moyennes des logarithmes décimaux des durées fournies par chaque outil pour chaque individu. 91
Figure 27. Graphes de Bland et Altman (1986) des différences pour les zones "tête" (A), "tête+tronc" (B) et "tronc+croupe" (C), entre les racines carrées des nombres d'utilisations de la brosse (/24h) pour 27 vaches laitières, donnés par les outils "CV+AC" et "vid", en fonction des moyennes des racines carrées des nombres fournis par chaque outil pour chaque individu. 92
Figure 28. Photographie d'une gélose sang de mouton ensemencée par une goutte du lait de chaque quartier prélevé stérilement, 24 heures après mise à l'étuve. 93

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I. Taux d'utilisation de la brosse, durée moyenne d'utilisation sur 24 heures et nombre moyen d'utilisations sur 24 heures de la brosse automatique par des vaches laitières..... 24
Tableau II. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle chez des vaches laitières. 24
Tableau III. Nombre d'épisodes de toilettage par grattage chez quatre espèces de ruminants. 25
Tableau IV. Variations environnementales de l'utilisation de la brosse. 26
Tableau V. Modifications des comportements de prise alimentaire, de repos couché et de toilettage autocentré lors de mammite. 28
Tableau VI. Sensibilités et valeurs prédictives positives de trois systèmes de localisation à la brosse 33
Tableau VII. Quantité et souche de LPS, solution de préparation, et moment de l'infusion pour 3 protocoles de modèles d'inflammation mammaire. 37
Tableau VIII. Définition des zones corporelles pour l'utilisation de la brosse par observation vidéo 41
Tableau IX. Données d'utilisation de la brosse par zone corporelle pour la comparaison des méthodes. 45
Tableau X. Quartiles et valeurs extrêmes de la durée cumulée d'utilisation (min/24h) et du nombre d'utilisations par 24h de la brosse par jour d'observation, ainsi que de la durée par visite (sec) pour 27 vaches laitières observés pendant trois fois 24 heures par vidéo. 47
Tableau XI. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle pour 27 vaches laitières observées par vidéo pendant trois fois 24 heures. 49
Tableau XII. Quartiles et valeurs extrêmes de la durée cumulée d'utilisation (min/24h) et du nombre d'utilisations par 24h de la brosse par jour d'observation, ainsi que de la durée par visite (sec) pour 27 vaches laitières observés pendant trois fois 24 heures par l'outil "CV+AC".. 50
Tableau XIII. Moyennes et écart-types des différences entre les durées d'utilisation de la brosse par 27 vaches (en sec/24h), les durées relevées par observation vidéo étant soustraites à celles données par l'outil "CV+AC" pour chaque zone corporelle. 52
Tableau XIV. Moyennes et écart-types en racine carrée des différences entre les nombres d'utilisations de la brosse par 27 vaches (/24h), les nombres d'utilisations donnés par observation vidéo étant soustraits à ceux donnés par l'outil "CV+AC" pour chaque zone corporelle. 53
Tableau XV. Choix des groupes d'observation en fonction du nombre de jours en lait au moment du challenge, et données de production pour chaque groupe. 55
Tableau XVI. Heures de début et de fin de chaque période d'observation comportementale sur une journée, excluant les périodes pendant lesquelles les 14 vaches étaient bloquées au cornadis ou en traite. 61
Tableau XVII. Quartiles et valeurs extrêmes de la durée cumulée d'utilisation (min/24h) et du nombre d'utilisations par 24h de la brosse selon le statut, ainsi que de la durée par visite (sec) pour 14 vaches laitières observés 24 heures avant (statut HC) et 24 heures après (statut C) inflammation mammaire par vidéo. 64
Tableau XVIII. Paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte de la durée d'utilisation de la brosse (log10[sec/17,32h]) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation. 64
Tableau XIX. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle pour 14 vaches laitières observées par vidéo pendant 17,32 heures avant et après inflammation expérimentale de la mamelle..... 65

Tableau XX. Paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte de la durée d'utilisation de la brosse au niveau de la tête et au niveau de la croupe (log10[sec/17,32h]) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation. 65
Tableau XXI. Paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte du nombre d'utilisations de la brosse au niveau de la croupe (sqrt[/17,32h]) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation. 67
Tableau XXII. Quartiles et valeurs extrêmes des durées d'utilisation de la brosse par zone corporelle (min/24h). 90
Tableau XXIII. Quartiles et valeurs extrêmes des nombres d'utilisation de la brosse par zone corporelle (/24h)..... 90
Tableau XXIV. Paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte du comptage en cellules somatiques dans le lait (CCS), de la température ruminale et de la cortisolémie plasmatique, en fonction des temps d'observation, pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli à T0. 94
Tableau XXV. Paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte de la durée par visite (sec) et de la durée d'utilisation de la brosse pour la zone tronc (min/17,32h) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation. 95
Tableau XXVI. Paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte du nombre d'utilisations de la brosse toutes zones corporelles confondues et pour les zones tête et tronc (/17,32h) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation. 96

LISTE DES ABREVIATIONS

C	Challenge : observations faites dans les 24 heures après l'épreuve inflammatoire
CCS	Comptage en cellules somatiques (/mL)
CP-data	*Clustered Position data*, données de position regroupées
CV+AC	Système de localisation CowView associé à la détection des mouvements de la brosse
E. coli	*Escherichia coli*
FN	Nombre de faux négatifs
FP	Nombre de faux positifs
HC	Hors Challenge : observations faites dans les 24 heures avant l'épreuve inflammatoire
IC 95%	Intervalle de Confiance contenant 95% des valeurs
IR	Infra-rouge, signal émis lors de la mise en rotation de la brosse
L/jour	Litres par jour
LPS	Lipopolysaccharide, élément de paroi bactérienne
µg	Microgrammes
min	Minutes
mL	Millilitres
m	Moyenne
N	Nombre d'observations
NA	*Not Available*, donnée non fournie par l'étude
Nb	Nombre
ng/mL	Nano grammes par millilitre
NS	Non Significatif
P	*p-value*
PBS	*phosphate buffered saline*, tampon phosphate salin
Q1, Q3	1er et 3ème quartiles
RFID	*Radio frequency identification*, radio-identification
RTLS	*Real-time location system*, système de localisation temps-réel
SD *ou* **σ**	*Standard Deviation*, Ecart-type
SE	*Standard Error*, Erreur standard
Se	Sensibilité (VP / VP+FN)
sec	Secondes
UWB	*Ultra Wideband,* Ultra Large Bande
vid	Méthode de référence : observations faites à partir d'un enregistrement vidéo
VP	Nombre de vrais positifs
VPP	Valeur prédictive positive (VP/VP+FP)

INTRODUCTION

L'observation du comportement bovin fait partie des outils du vétérinaire dans sa démarche diagnostique. *La vache mange-t-elle ? Est-ce qu'elle rumine ? Est-ce qu'elle s'isole ou reste couchée longtemps ?* sont des questions classiquement posées par le clinicien rural en consultation. Le vétérinaire s'intéresse à des comportements relatifs aux fonctions biologiques, comme la prise alimentaire (Bareille et al., 2003), la rumination, ou à des comportements sociaux, comme l'isolement dans le troupeau. L'évaluation de ces comportements est ponctuelle, réalisée en moins d'une heure par le vétérinaire lors de sa visite.

Ces questions ne portent pourtant que sur une infime partie du répertoire comportemental bovin. En dehors des périodes d'alimentation et de repos, les vaches ponctuent leurs journées en exprimant des comportements variés, par exemple le comportement de toilettage autocentré (Ekesbo, Gunnarsson, 2018). Son expression est facilitée par l'installation de brosses automatiques (McConnachie et al., 2018), qui sont de plus en plus courantes dans les élevages.

Par rapport aux comportements de maintien des fonctions vitales, le comportement de toilettage est moins prioritaire pour la survie immédiate de l'animal, et donc peu maintenu en cas de maladie (Weary et al., 2009). Il peut ainsi être qualifié de comportement peu résilient. Ce comportement, pour l'instant non exploré par les vétérinaires, pourrait donc être un indicateur de détérioration de la santé des bovins.

L'utilisation d'indicateurs comportementaux comme signes de maladie se révèle très chronophage, soit parce que les comportements sont rarement exprimés, soit parce que leur évolution doit être suivie sur plusieurs heures voire journées (Mandel et al., 2013). Leur suivi nécessite donc des outils permettant d'automatiser la collecte des informations comportementales. Des outils connectés, comme le système CowView, fournissent déjà de nos jours des données sur le budget-temps, c'est-à-dire la durée consacrée dans la journée à chaque activité (GEA CowView, GEA Farm Technologies, Allemagne) et sur l'utilisation des brosses automatiques (Meunier et al., 2017) en élevage commercial. Une étude menée en France en 2018 montre que 47.2% des élevages bovins sont équipés d'objets connectés (Étude Agrinautes réalisée par BVA pour Terre-net Média et Hyltel, 2018). Les capteurs représentent donc une possibilité pour le suivi en continu des comportements fugaces.

Les maladies d'élevage sont des atteintes majeures de par leur incidence sur le bien-être des vaches laitières et la viabilité économique des élevages, notamment la mammite qui contribue à 34% de l'impact économique des pathologies en élevage (Fourichon et al., 2001). Face aux conséquences des mammites, la détection doit être la plus précoce possible : un traitement précoce permet un rétablissement du comptage en cellules somatiques deux fois plus rapide et diminue de moitié la quantité d'antibiotiques nécessaires à la rémission clinique de la vache (Milner et al., 1997).

Mon sujet de thèse porte sur la possibilité d'utiliser un outil de localisation individuel en temps-réel, afin de proposer une nouvelle arme aux éleveurs et vétérinaires dans la lutte contre les mammites en élevage, en me focalisant sur le comportement d'utilisation de la brosse comme lanceur d'alerte précoce.

I. Caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse

A. Définition du comportement de toilettage chez les ruminants

Un comportement est défini selon une séquence comportementale. Pour qu'il y ait une expression du comportement, il faut tout d'abord un stimulus puis une motivation (Campan, Scapini, 2002). Dans le cas d'un comportement de toilettage, prenons par exemple une vache qui se gratte derrière l'oreille (Figure 1). Une irritation cutanée provoquée par la pousse des cornes et l'accumulation de squames provoque une sensation de démangeaison croissante. La motivation de la vache à répondre au stimulus définit un seuil de tolérance. Une vache ayant par exemple une pousse de cornes plus rapide ou des poux sera davantage motivée et donc plus prompte à se gratter, qu'une vache motte ou non parasitée. La perception des stimuli et la motivation à y répondre est individu-dépendante, en fonction entre autres de son état de santé, de ses expériences passées ou de son sexe (Mounier, 2009).

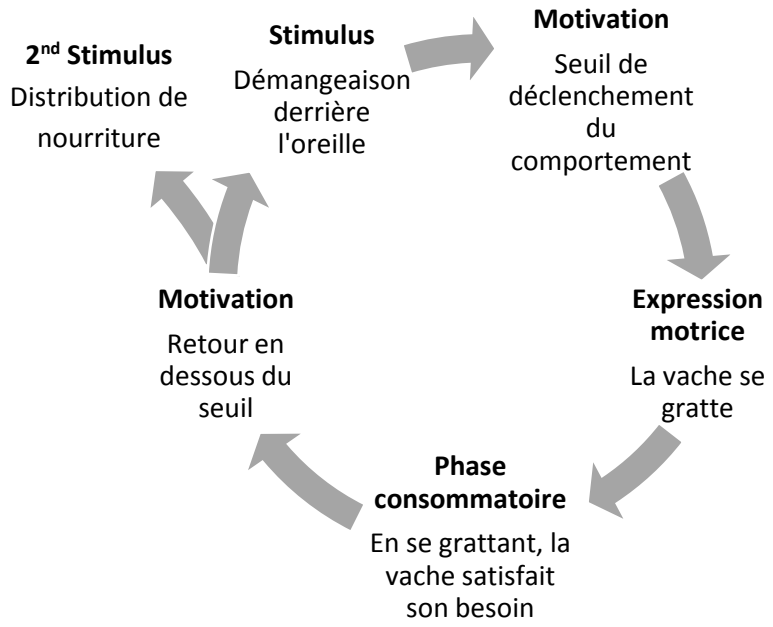


Figure 1. Exemple de séquence comportementale d'un toilettage à l'oreille chez la vache. *D'après Campan, Scapini (2002)*

On distingue trois types de comportement de toilettage, le toilettage social (*social* ou *allo-grooming*), souvent exprimé par le léchage d'un congénère, et intervenant dans l'établissement de la hiérarchie et de la structure sociale du troupeau (Arave, Albright, 1981 ; Ekesbo, Gunnarsson, 2018), le toilettage maternel (*maternal grooming*), strictement exprimé d'une mère vers son veau (Kohari et al., 2009), et le toilettage autocentré (*self-grooming*) que l'on peut classer en sept catégories : lécher,

se gratter avec un onglon postérieur, se gratter avec le bout d'une corne, se secouer, frapper une partie du corps à l'aide d'un membre, de la queue ou de la tête et se frotter (Simonsen, 1979). On peut aujourd'hui ajouter une huitième catégorie d'expression du comportement de toilettage autocentré : le comportement d'utilisation de la brosse, qui peut se définir par le fait que l'animal se frotte au contact de la brosse.

Le toilettage autocentré sert à l'entretien du pelage, pour éliminer salissures et parasites externes (Ekesbo, Gunnarsson, 2018). Des impalas équipés de harnais empêchant le toilettage portent 89% plus de tiques que des impalas sans harnais (Mooring et al., 1996). Le toilettage autocentré intervient également dans l'apaisement du stress et le bien-être des animaux (Mandel, Nicol, 2017).

Le suivi du comportement de toilettage autocentré pourrait donc refléter l'état de santé ou de bien-être des animaux, et c'est sur ce comportement que porte la suite de mon étude.

B. Description du comportement de toilettage autocentré

Il est admis que le toilettage autocentré est premièrement une réponse à une irritation cutanée (Simonsen, 1979). Pour se gratter les parties du corps difficilement accessibles, les animaux utilisent des éléments de leur environnement, comme des arbres sur une pâture (Kohari et al., 2007). En bâtiment, des brosses fixes ou automatiques peuvent être installées pour combler l'absence d'arbres (Wilson et al., 2002) et améliorer le confort des vaches. Au contraire d'une réponse à un stimulus exogène, Hart et al. (1992) proposent d'expliquer le stimulus déclenchant le toilettage autocentré par un contrôle endogène, déclenchant un « *toilettage systématisé* [ma traduction] ». Le déclenchement programmé du toilettage semble être un avantage dans la lutte contre les tiques, l'animal se toilettant plus souvent, il peut nettoyer son pelage avant même que les tiques ne se soient ancrées.

La seconde fonction du toilettage autocentré semble être une réponse au stress. En effet, des vaches restées bloquées au cornadis pendant quatre heures se toilettent 1,6 fois plus que des vaches n'ayant pas subi ce stress, lequel a été objectivé par un dosage du cortisol plasmatique (Bolinger et al., 1997). Suite au sevrage des veaux laitiers, les vaches utilisent une brosse automatique deux à quatre fois plus longtemps (Mandel, Nicol, 2017). Mandel et al. (2013), qui supposent qu'une palpation transrectale est une source de stress pour l'animal, montrent une baisse d'utilisation de la brosse le jour même et une augmentation dans les trois jours suivant la procédure médicale intrusive.

Enfin, on peut supposer que l'utilisation de la brosse entre également dans l'entretien du pelage, les vaches avec accès à une brosse apparaissant plus propres que leurs congénères (DeVries et al., 2007).

Aucune étude à ce jour à ma connaissance ne propose d'explication pour le déclenchement spécifiquement du comportement d'utilisation de la brosse. Cependant, l'utilisation des brosses automatiques par les vaches n'est pas due au hasard. En effet, McConnachie et al. (2018) montrent

que les vaches sont autant motivées pour aller à la brosse que pour accéder à la nourriture fraîche. L'accès à une brosse ne supprime pas l'expression des autres types de toilettages autocentrés : des vaches sans accès à la brosse, passent entre 23 secondes et une minute par jour à se frotter contre le mur ou l'abreuvoir, et des vaches avec accès à une brosse y passent entre 13 et 30 secondes (DeVries et al., 2007).

Le toilettage s'inscrit dans le budget-temps, qui représente la proportion journalière d'expression des différents comportements. Les comportements les plus exprimés sont des comportements de maintenance des fonctions vitales (Figure 2). Il faut noter que la traite en salle de traite n'est pas un comportement exprimé par la vache laitière, mais fait partie de ses activités quotidiennes rythmées par l'éleveur.

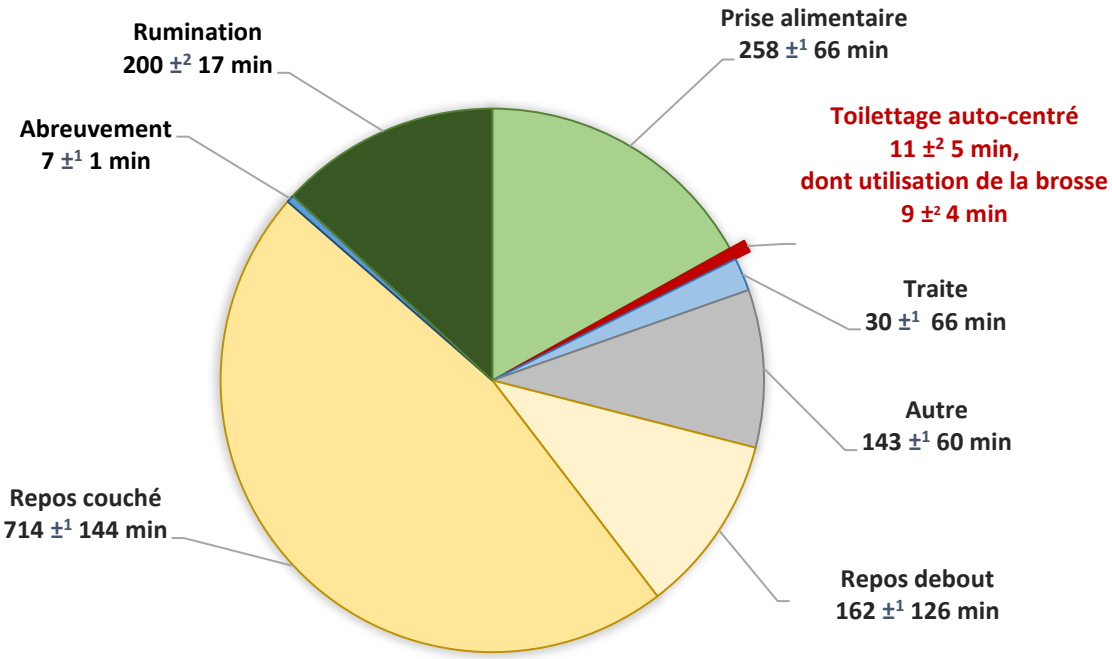


Figure 2. Budget-temps de la vache laitière en logettes sur 24 heures. *D'après Gomez, Cook (2010) et Ninomiya (2019). ± : [1]équart-type ou [2]erreur standard*

Le toilettage, social ou autocentré, ne représente qu'une petite partie de la journée de la vache avec des durées, très variables selon les études, allant de 0,27 à 21,60 minutes par 24 h et par vache (Tableau I). La fréquence de toilettage à la brosse, plus constante, varie en moyenne entre 4,50 et 29,52 utilisations par 24 h par vache. Au niveau individuel, de fortes variations sont à noter, avec un nombre d'utilisations par jour allant d'une absence de visite à plus de 40 visites par jour pour une même vache (Mandel et al., 2013). Il s'agit donc d'un comportement faiblement exprimé en comparaison des 3,2 à 5,4 heures par jour de prise alimentaire, ou des 9,5 à 14,3 heures de repos en position couchée (Gomez, Cook, 2010).

Tableau I. Taux d'utilisation de la brosse, durée moyenne d'utilisation sur 24 heures et nombre moyen d'utilisations sur 24 heures de la brosse automatique par des vaches laitières.

Étude	Durée d'observation	Nb. vaches	Taux (%)	Durée (min/24h)	Nombre /24h
DeVries et al., 2007[a]	14 jours	72	56,90 (SD NA)	6,76 (SD NA)	7,71 (SD NA)
Meunier et al., 2017[a]	24 heures	23	NA	21,60 (SD NA)	6,60 (SD NA)
Toaff-Rosenstein et al., 2017[a]	6 heures	16	73,04 (SD NA)	16,80 (SD 9,75)	NA
Ninomiya, 2019[a]	72 heures	11	NA	9,08 (SE 4,42)	29,52 (SE 12,48)
Mandel et al., 2013[b]	56 jours	40	NA	NA	4,50 (SD 5,78)
Mandel et al., 2017[c]	4 semaines	240	NA	1,24* (SD 2,25)	NA
Mandel et al., 2018[c]	4 mois	154	NA	0,27* (IC 0,22 à 0,34)	NA

*Taux d'utilisation : durée d'occupation de la brosse sur 24 h. Observations faites par vidéo en [a]continu ou [b]par intervalles de 5 minutes, ou par [c]un outil de localisation. *Brosse à proximité de l'alimentation. NA : Not Available, donnée non fournie par l'étude. Nb. vaches : nombre de vaches observées. SD : écart-type. SE : erreur standard. IC : intervalle de confiance contenant 95% des valeurs.*

L'observation de l'utilisation de la brosse montre en outre une utilisation différenciée en fonction de la zone corporelle. De Oliveira et al. (2015) mettent en évidence une séquence de brossage particulière, les vaches commençant généralement par la tête pour finir à la croupe. L'observation de l'utilisation de la brosse montre des préférences variables entre les troupeaux, avec 55% du temps d'utilisation à la croupe dans l'étude de De Oliveira et al. (2015), contre 35% à 64,6% d'utilisation à la tête dans d'autres études (Tableau II).

Tableau II. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle chez des vaches laitières.

Étude	Nb. v.	**Tête** (%)	**Encolure** (%)	**Dos** (%)	**Queue** (%)	**Cuisse** (%)
DeVries et al., 2007[1]	72	62,9 (SE 3,6)	18,0 (SE 2,0)	9,6 (SE 1,2)	8,6 (SE 0,7)	0,9 (SE 0,8)
De Oliveira et al., 2015[2]	72	11,0 (SE NA)	18,0 (SE NA)	15,0 (SE NA)	55,0 (SE NA)	
Toaff-Rosenstein et al., 2017[3]	16	64,6 (SE 5,7)		15,6 (SE 2,0)	19,7 (SE 4,6)	
Ninomiya, 2019[4]	11	35,0 (SE 9,9)	22,0 (SE 3,3)	9,1 (SE 9,0)	4,1 (SE 4,1)	7,3 (SE 5,7)

Observations sur [1]14 jours, tous toilettages autocentrés ou à la brosse uniquement pendant [2]20 jours, [3] 6 heures ou [4]72 heures. SE : erreur standard. NA : donnée non fournie par l'étude. Nb. v. : nombre de vaches observées.

La caractérisation du comportement de brossage est rendue difficile par le peu de données disponibles, et l'inconstance des variables étudiées : Ninomiya, (2019) décrit l'utilisation de la brosse à l'aide d'une durée d'utilisation obtenue par observation directe continue sur 72 heures, tandis que Mandel et al. (2013) ont compté les nombres d'utilisations sur des intervalles de 5 minutes pendant 56 jours. Horvath, Miller-Cushon (2019) déplorent également que les critères utilisés pour définir un événement de toilettage soient inconstants et tentent de proposer des critères plus rigoureux, issus de méthodes statistiques appliquées à leur échantillon, pour définir l'événement de toilettage.

Bilan : caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse

Le toilettage autocentré, notamment l'utilisation de la brosse automatique par les vaches, est tout d'abord un comportement d'entretien du pelage, déclenché selon un rythme propre à l'espèce et à l'individu. C'est également un comportement de recherche de confort, entrant dans le processus de diminution du stress. Le toilettage autocentré fait partie des comportements fugaces, étant exprimé moins de 30 minutes par jour, contrairement aux activités de maintien des fonctions vitales qui dominent le budget-temps des vaches. Le toilettage est de plus soumis à de fortes variations à l'échelle du troupeau et à l'échelle individuelle, notamment en termes de durées d'utilisation de la brosse, mais aussi de zones corporelles brossées. Cette variabilité rend la caractérisation du comportement délicate. Les indicateurs utilisés jusqu'à aujourd'hui sont trop inconstants, et les critères d'échantillonnage du comportement trop variables pour pouvoir décrire une utilisation-type.

II. Facteurs de variation du comportement

À ma connaissance, il n'existe pas de travaux publiés décrivant les facteurs de variation de l'utilisation de la brosse au niveau individuel. J'ai donc élargi mes recherches à tous les toilettages autocentrés et à d'autres espèces de ruminants.

A. Individuels

Le rythme de toilettage serait influencé par la testostérone, avec un toilettage 3 fois plus fréquent chez des boucs après castration (Mooring et al., 1998), et 2.5 fois plus fréquent chez les chèvres que chez les boucs en automne (Kakuma et al., 2003). La fréquence dépend également de l'âge, le toilettage autocentré étant 3 fois plus fréquent chez les impalas nouveau-nés que chez leur mères (Mooring, Hart, 1997). La fréquence de toilettage chez les ruminants est influencée par l'espèce, les impalas se toilettant en moins de 90 épisodes par heure (un épisode correspondant ici à un mouvement unique de l'animal), alors que les gazelles expriment jusqu'à 108 épisodes par heure, et les veaux moins de 4 épisodes par heure (Tableau III). Pour Hart et al. (1992), les jeunes se toilettant plus fréquemment que les adultes et les petits ruminants plus que les bovins, la fréquence de toilettage dépendrait de la surface corporelle : pour une même charge parasitaire, le risque de spoliation est plus élevé chez les animaux à petit gabarit.

Tableau III. Nombre d'épisodes de toilettage par grattage chez quatre espèces de ruminants.

	Espèce	**Nombre d'épisodes par heure**
Hart et al., 1992	Gazelle (*Gazella thomsonii*)	24-108[1]
Mooring, Hart, 1997	Impala (*Aepyceros melampus*)	10-90[1]
Mooring et al., 1998	Chèvre (*Capra hircus*)	60-90[1]
Horvath, Miller-Cushon, 2019	Veau (*Bos taurus*)	3,42 ± 0,16[2]

[1]minimum-maximum et [2]moyenne ± erreur standard. ± : valeur à ajouter ou soustraire.

B. Selon le stade physiologique de la vache

Dans les heures précédant la mise-bas et les heures suivant la séparation du veau, les vaches laitières utilisent la brosse en moyenne 4 fois plus longtemps qu'en milieu de lactation (Newby et al., 2013). En revanche, pendant les quelques heures de présence du veau, les mères arrêtent presque complètement le comportement de toilettage autocentré, exprimant à la place un comportement de toilettage maternel en léchant le nouveau-né (Newby et al., 2013). Il faut environ 28 jours après le vêlage aux vaches en 2ème à 4ème lactation pour retrouver une durée d'utilisation constante autour de 0,07 minutes par heure ; en revanche, les vaches en 5ème lactation ou plus continuent d'utiliser la brosse longtemps (Mandel, Nicol, 2017). Le retour de traite (la traite étant considérée par Mandel et Nicol (2017) comme une stimulation de l'instinct maternel), semble être suivi d'une augmentation de l'utilisation de la brosse : la durée d'utilisation de la brosse passe en moyenne de 0,09 (SD 0,48) minutes dans l'heure précédant la traite, à 0,12 (SD 0,49) minutes dans l'heure suivant le retour de traite.

C. Facteurs environnementaux

Une brosse placée proche de la table d'alimentation est utilisée 2.6 fois plus souvent qu'une brosse pour laquelle les vaches devront se déplacer exprès (Tableau IV). Dans un climat méditerranéen, on observe un pic d'utilisation lorsque la température baisse, aux alentours de 18h00 (Mandel et al., 2013). Lors de journées plus chaudes et humides, une brosse située loin de l'aire d'alimentation est délaissée, alors que pendant la nuit suivante, la brosse à proximité de l'alimentation est d'avantage utilisée qu'en journée (Tableau IV). Les vaches semblent donc adapter leur utilisation de la brosse en fonction du rapport coût sur bénéfice, préférant utiliser la brosse pendant les heures les plus fraîches lorsque les journées sont chaudes, et minimisant les distances parcourues.

Tableau IV. Variations environnementales de l'utilisation de la brosse.

Distance à l'alimentation	**Nombre d'utilisations de la brosse par 24h**	**Effet de l'augmentation de l'indice de chaleur**	
		Journée (6h – 18h)	Nuit (18h – 6h)
Proche	6.56 (IC 95% = 5.01 à 8.11)	NS	+ 0.74 (n = 18 ; *P* < 0.01)
Loin	2.47 (IC 95% = 1.63 à 3.31)	- 0.79 (n = 18 ; *P* < 0.01)	NS

D'après Mandel et al., 2013. IC 95% : Intervalle de confiance contenant 95% des valeurs. NS : Non Significatif. n : nombre d'observations. P : p-value

D. Selon un rythme circadien

Le toilettage social est exprimé majoritairement pendant les heures d'alimentation (Houpt, 2011), et le toilettage autocentré après les phases de repos (Hart, 2000). L'expression du comportement de toilettage suit également un rythme circadien (rythme endogène suivant une période de moins de 24 heures), comme observé par Braghieri et al. (2011) chez des vaches allaitantes

au pré : en moyenne, la part de budget temps consacré au toilettage autocentré est de 5,26% (SE 0,88%) le matin, contre 3,33% (SE 1,00%) en milieu de journée et 1,89% (SE 1,23%) l'après-midi.

E. En lien avec une maladie d'élevage

La modification du comportement de toilettage autocentré a été observée en lien avec des infections respiratoires, des maladies parasitaires et des mammites. Les effets des métrites et des boiteries ont été évalués plus précisément sur l'utilisation d'une brosse automatique. Concernant les variations comportementales en cas de mammite, le comportement de toilettage seul était trop peu mentionné pour que je restreigne mes recherches à ce comportement uniquement.

1. Modification du comportement toilettage autocentré

Un veau sain se toilette entre 2,1 et 3,40 min/h, tandis qu'un veau soumis à une infection expérimentale des voies respiratoires par *Mannheimia haemolytica*, se toilette 0,05 min/h le jour même, 1,33 min/h le lendemain, et 2,88 min/h deux jours après ; cela signifie qu'un veau atteint de maladie respiratoire diminue fortement son comportement de toilettage pendant le pic de température survenant dans les 24 h après infection expérimentale, mais retrouve un niveau de toilettage équivalent à un animal sain en deux jours, alors que sa température reste 0,2 à 0,4 °C au-dessus de la normale (Hixson et al., 2018). Chez des bovins adultes soumis à une infection du tractus respiratoire, induite expérimentalement, Toaff-Rosenstein et al. (2016) obtiennent une baisse non significative de la durée d'utilisation de la brosse par rapport à des animaux témoins sains.

Dans un groupe de 15 femelles impala, l'ajout d'un dispositif distribuant environ 9000 larves de tiques par animal augmente drastiquement la pression de la charge parasitaire ; en parallèle, et dans la journée suivant l'installation du dispositif, les impalas expriment 1,4 fois plus d'épisodes de toilettage autocentré que dans les trois semaines précédant l'installation (Mooring et al., 1996).

2. Modification de l'utilisation d'une brosse

Mandel et al. (2017) observent l'apparition de métrite dans un troupeau de 106 vaches fraîches vêlées, ayant accès à deux brosses automatiques, l'une loin de l'auge, l'autre à proximité de l'alimentation : la durée d'utilisation de la brosse la plus éloignée dans la semaine du diagnostic de métrite est significativement inférieure chez les vaches atteintes de métrite que chez les vaches saines.

Dans une seconde étude, Mandel et al. (2018) souhaitent estimer l'impact des boiteries et des problèmes de locomotion sur l'utilisation des deux brosses : il apparaît que les vaches notées 4 ou 5 en score de boiterie à l'aide d'une grille allant de 1 (non boiteuse) à 5 (gravement boiteuse), utilisent 3,4 (IC 95% = 2,2 à 5,6) fois moins longtemps la brosse la plus éloignée de l'alimentation sur la journée, par rapport à des vaches ayant un score de locomotion de 1 sur 5. Aucune différence en termes de

durée d'utilisation n'a été mise en évidence pour les problèmes de locomotion légers et les boiteries peu sévères (score de 2 et 3 sur 5 respectivement), par rapport aux vaches non boiteuses.

Ces deux études montrent donc une baisse significative de la durée d'utilisation de la brosse chez des animaux présentant des signes cliniques : écoulements vulvaires et flaccidité utérine pour le diagnostic de métrite, douleur des membres, posture et démarche anormale pour le diagnostic de boiteries. Cependant, dans les deux cas, le suivi de l'utilisation de la brosse ne permettrait pas de détecter plus précocement les maladies qu'avec un examen clinique.

3. Modification du comportement en cas de mammite

Lors de mammite spontanée ou d'inflammation mammaire induite expérimentalement, les vaches modifient leur budget-temps, passant plus de temps debout et à l'aire d'alimentation, moins de temps en position couchée, et passent moins de temps à se toiletter en se léchant, se grattant avec un membre ou se frottant contre des éléments du parc (Tableau V). L'explication la plus simple de l'augmentation des durées de station debout est une éviction de la douleur mammaire. Cette douleur est mise en évidence par une augmentation de la sensibilité de la mamelle (Fitzpatrick et al., 2013), et une diminution du nombre de changements de posture, associée à un abattement et une baisse de la vigilance des animaux dans les 8 heures après induction expérimentale d'une mammite (de Boyer des Roches et al., 2017). La diminution de la durée d'expression de toilettage et de prise alimentaire s'expliquerait par une redirection des dépenses énergétiques au profit de la réponse immunitaire, afin de maximiser les chances de guérison (Hart, 1988 ; Johnson, 2002). Weary, Huzzey, et von Keyserlingk (2009), expliquent le comportement de maladie premièrement comme une réponse adaptative pour combattre la maladie, par exemple la diminution de l'activité pour réduire les pertes énergétiques, mais également comme pouvant être le signe que les animaux se *sentent* malade.

Tableau V. Modifications des comportements de prise alimentaire, de repos couché et de toilettage autocentré lors de mammite.

	Medrano-Galarza et al., 2012	Fogsgaard, Bennedsgaard, et Herskin, 2015	Siivonen et al., 2011	Fogsgaard et al., 2012
Inflammation mammaire	Spontanée	Spontanée	Induite	Induite
Quantité d'aliment ingérée	NA	↘	NA	↘
Durée de repos en position couchée	↘	↘	↘	NA
Nombre de coups de pied pendant la traite	↗	↗	↗	NA
Durée de toilettage autocentré	NA	NA	NA	↘

Concernant le comportement d'utilisation de la brosse automatique, il n'y a pas d'étude à ce jour à ma connaissance ayant évalué l'impact de la mammite sur ce comportement.

Bilan : Facteurs de variation du comportement de toilettage autocentré

L'expression du comportement de toilettage autocentré est variable selon certains facteurs : il dépendrait tout d'abord de la taille de l'animal, les espèces de plus petite taille et les individus les plus jeunes se toilettant davantage. Un contrôle hormonal pourrait expliquer la fréquence de toilettage plus élevée chez les femelles par rapport aux mâles. Le stade physiologique des animaux tiendrait également un rôle dans la stimulation à se toiletter : les vaches utilisent davantage la brosse autour du vêlage et en revenant de la traite. Les variations journalières semblent soumises au rythme circadien des animaux : le toilettage autocentré est exprimé plus fréquemment le matin et après les temps de repos. Les vaches semblent adapter l'utilisation de la brosse en fonction du rapport coût sur bénéfice, préférant utiliser la brosse pendant les heures les plus fraîches lorsque les journées sont chaudes, et minimisant les distances parcourues.

La description du toilettage autocentré chez des animaux sains diffère de celle d'animaux malades : l'infestation par des parasites externes augmente la fréquence du toilettage, tandis que des maladies ayant une répercussion sur l'état général, comme les métrites, les mammites, les affections respiratoires ou les boiteries sévères, font diminuer la fréquence et la durée de toilettage. Pour un animal malade, le coût énergétique représenté par l'expression du comportement de toilettage autocentré serait trop important par rapport au bénéfice immédiat qu'il apporte. L'animal abandonnerait donc le comportement de toilettage au profit d'activités de maintien des fonctions vitales : le comportement de toilettage autocentré peut ainsi être qualifié de peu résilient.

III. Observation du comportement d'utilisation de la brosse

Pour la suite de mon travail je choisis de m'intéresser exclusivement au comportement d'utilisation d'une brosse automatique. Cela permet de restreindre l'observation à l'espace entourant la brosse et aux animaux utilisant la brosse. L'éthogramme est également plus simple à réaliser en prenant en compte un unique comportement.

A. Méthode d'échantillonnage du comportement d'utilisation de la brosse

Le recours à des règles d'échantillonnage permet de systématiser et uniformiser l'observation d'un comportement : quel animal regarder, pour quelle action et à quel moment (Martin, Bateson, 2007). L'échantillonnage permet d'obtenir des variables descriptives du comportement ; la caractérisation de l'utilisation de la brosse peut se faire à l'aide de la durée et du nombre cumulés d'utilisations de la brosse sur une période d'observation, de la durée de chaque utilisation, du rythme circadien d'utilisation de la brosse ou encore du taux d'occupation de la brosse (Tableau I). La façon dont la brosse est utilisée, notamment les zones corporelles où la vache positionne la brosse, permet également de décrire le comportement d'utilisation de la brosse (Tableau II).

Les variables descriptives listées ci-dessus nécessitent des règles d'échantillonnage permettant d'enregistrer les modalités, comme les zones corporelles brossées et les heures d'expression de chaque utilisation de la brosse pour chaque individu ; l'étude d'un comportement spécifique est réalisée par la méthode de *behaviour sampling* (Figure 3). Les règles d'échantillonnage doivent également prévoir la durée de visionnage de la population. Pour le comportement d'utilisation de la brosse, qui peut varier de 1,81 à plus de 20 minutes par jour (Tableau I), il est nécessaire d'enregistrer le comportement en continu (*continuous recording*), et ce sur une durée d'au moins 24 heures si l'on souhaite étudier le rythme circadien du comportement d'utilisation de la brosse.

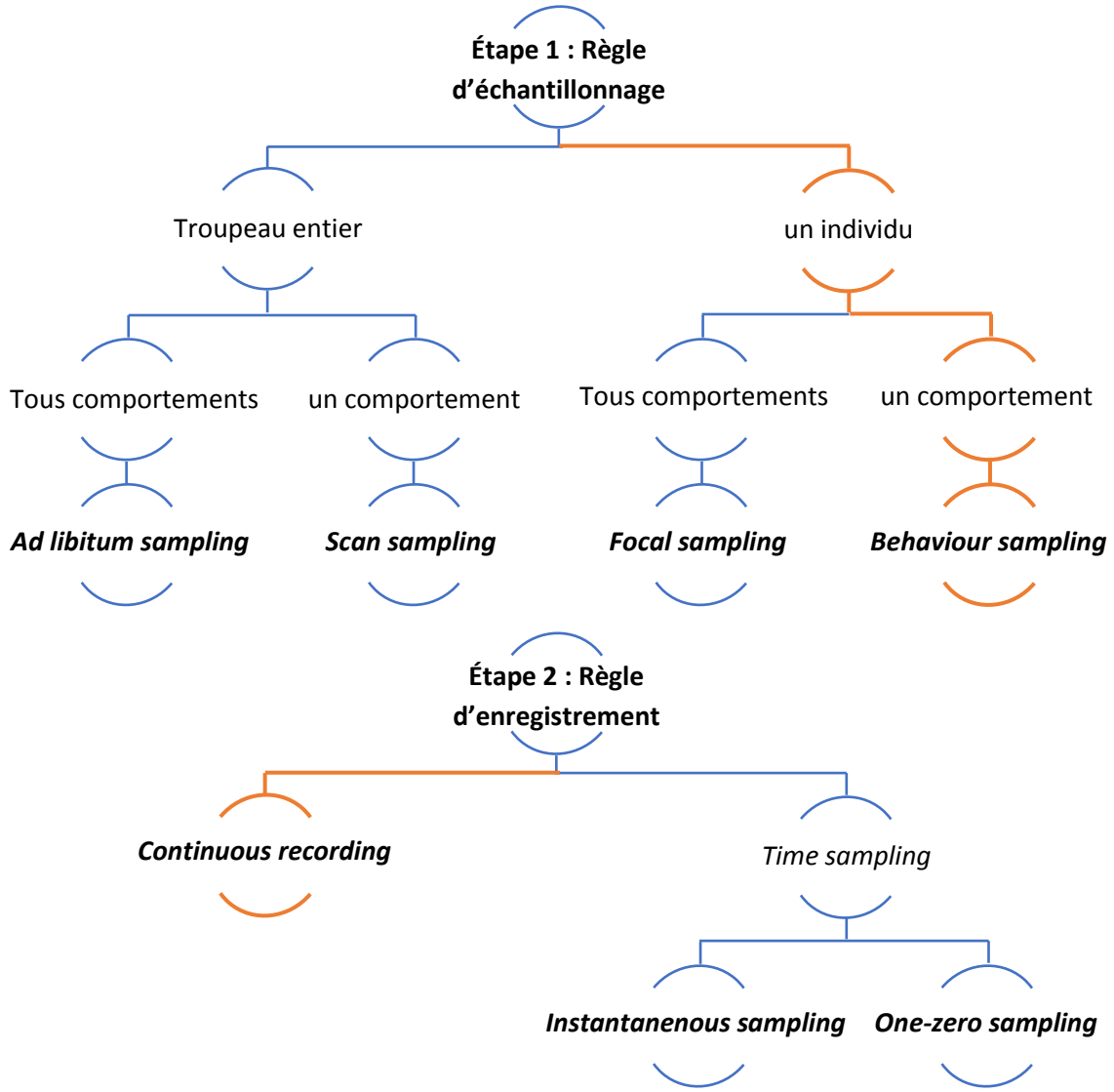


Figure 3. Règles d'échantillonnage et d'enregistrement en observation comportementale. *D'après Martin, Bateson (2007). En gras et orange : les règles à choisir dans le cas du comportement d'utilisation de la brosse*

B. Définir le comportement d'utilisation de la brosse

Outre la méthode d'échantillonnage, l'observation directe d'un comportement nécessite de définir précisément le comportement afin de systématiser l'observation. Il faut prévoir ses modalités

d'expression, par exemple les différentes zones corporelles, en donnant des repères anatomiques précis. Les actions de la vache marquant le début et la fin du comportement doivent être décrites si l'on souhaite étudier des durées d'utilisation. Par exemple, Newby et al. (2013) considèrent que l'utilisation de la brosse débute lorsque la vache entre en contact avec la brosse, et se termine lorsque la vache ne touche plus la brosse. La définition de Mandel et al. (2013) est plus exhaustive : « *Une vache était considérée comme utilisant la brosse soit lorsqu'elle s'approchait de la brosse, la touchait et était brossée automatiquement pendant une période d'au moins 3 secondes, soit lorsqu'elle frottait activement une zone de son corps contre la brosse (sans nécessairement en déclencher la rotation).* [ma traduction] ».

C. Observation directe

1. Observer in situ

L'observation d'un comportement se fait d'abord en regardant l'animal l'effectuer selon les méthodes d'échantillonnage citées précédemment. La visualisation en direct permet de relever précisément les occurrences et le cas échéant, les modalités particulières d'expression du comportement. L'observation directe permet donc une très grande précision dans la description du comportement ainsi qu'une compréhension du contexte de son expression. Dans le cas du comportement d'utilisation de la brosse, l'observation directe ne produit pas de biais lié à la visibilité de l'individu, la brosse et ses utilisatrices étant toujours visibles (Altmann, 1974).

Le frein majeur à l'observation directe est cependant le temps d'observation, puisqu'il est humainement impossible d'observer un troupeau pendant plusieurs jours sans discontinuer. De plus, les durées et heures d'expression des comportements ne peuvent être relevées qu'avec une précision de l'ordre de la minute et l'observation directe nécessite un observateur expérimenté, qui sache interpréter des comportements parfois peu clairs, par exemple pour trancher entre une vache qui bouscule la brosse en passant à côté et une vache qui se brosse de façon très brève et sans s'immobiliser. Un dernier biais lié à l'observation visuelle sur le terrain est la perturbation du comportement par la présence de l'observateur. En effet, les vaches détectent de loin la présence d'un humain, leur comportement naturel les poussant à éviter les humains (Schmied et al., 2008).

2. Observer sur un enregistrement vidéo

L'enregistrement vidéo et l'utilisation de logiciels d'échantillonnage offrent un gain de temps considérable en automatisant la saisie des données à l'aide de logiciels spécialisés, qui permettent d'enregistrer les comportements observés simultanément à la lecture de la vidéo à l'aide de raccourcis clavier (Zimmerman et al., 2009). L'observation comportementale sur enregistrement vidéo permet également de minimiser la fatigue de l'observateur, qui peut fractionner ses observations en plusieurs

sessions de travail. Dernier avantage, l'utilisation de caméscopes fixes permet d'éviter la présence d'expérimentateurs dans le parc, et donc de perturber les comportements. L'enregistrement vidéo comme support d'échantillonnage, pour un observateur humain dans un cadre expérimental, représente donc la méthode de référence (Newby et al., 2013 ; Mandel et al., 2013).

Bien que plus rapide et confortable que l'observation sur le terrain, l'observation des comportements par vidéo reste laborieuse et chronophage. Par exemple, De Oliveira et al. (2015) ont fait le choix d'observer la brosse et ses utilisatrices pendant 30 minutes, dix fois par jour pendant 20 jours, alors que Wilson et al. (2002) ont enregistré l'utilisation de la brosse en continu pendant 12 heures, mais seulement aux jours 2, 7, 14 et 22 de l'expérimentation. Ces méthodes ne permettent pas de quantifier la durée d'utilisation journalière ou de détecter une variation survenant en 48 heures. De plus, le biais lié à la prise de décision propre à chaque observateur reste présent.

D. Observation indirecte

1. Signes de brossage

L'utilisation de la brosse automatique par le troupeau peut être objectivée par la propreté du pelage des animaux, la présence de poils à proximité de la brosse et l'usure de la brosse ; certaines brosses sont également équipées de compteurs affichant la durée cumulée d'utilisation de la brosse depuis son installation (DeLaval SA, 2015). Ces observations sont rapides à faire pour l'éleveur, mais ne donnent aucune information individuelle sur l'utilisation de la brosse.

2. Localisation à la brosse

Pour un capteur automatisé, l'utilisation de la brosse peut se traduire par la détection de l'animal dans un rayon proche de l'axe de la brosse. Toaff-Rosenstein, Velez, et Tucker (2017), proposent une détection de la position à l'aide de puces de radio-identification (RFID, *radio frequency identification*) fixées aux boucles auriculaires. Le signal des puces est lu par des panneaux fixés au-dessus de la brosse. Une autre possibilité est explorée par Meunier et al. (2017), à l'aide de la localisation temps-réel (RTLS, *real-time location system*) : des antennes placées dans la stabulation enregistrent, seconde par seconde, les coordonnées d'émetteurs fixés sur le sommet de l'encolure des vaches. Cet outil est disponible à la vente pour le suivi d'activités prioritaires, comme la durée d'alimentation, le temps d'occupation des logettes et la distance journalière parcourue (GEA Farm Technologies GmbH, Allemagne). Son utilisation a permis le suivi du comportement de brossage sur un mois entier (Meunier et al., 2017). La comparaison des résultats obtenus par la localisation temps-réel et la détection par radio-identification, montre une meilleure valeur prédictive positive avec la technologie RTLS (Tableau VI). Les sensibilités des deux méthodes sont comparables. La mauvaise valeur prédictive positive du système RFID est due à un nombre important de faux positifs. En effet,

les animaux présents à proximité de la brosse mais ne l'utilisant pas sont détectés par les panneaux RFID. Le nombre de faux positifs est moindre lors de l'utilisation de la technologie RTLS, dont le rayon de détection est plus restreint, mais dans les deux cas les outils détectent la localisation de la vache à proximité de la brosse, et non le comportement d'utilisation de la brosse.

Tableau VI. Sensibilités et valeurs prédictives positives de trois systèmes de localisation à la brosse

	Technologie utilisée	**Sensibilité moyenne**	**Valeur prédictive positive moyenne**
Toaff-Rosenstein, Velez, et Tucker, 2017	RFID	0.88 (SD 0.12)	0.41 (SD 0.19)
Meunier et al., 2017	RTLS	0.80	0.60
Mandel et al., 2017	RFID + IR	0.75	1.00

RFID : radio frequency identification, radio-identification. RTLS : real-time location system, système de localisation temps-réel. IR : Infra-rouge, signal émis lors de la mise en rotation de la brosse.

L'utilisation d'outils de détection de la position des vaches, permet donc un suivi sur le long terme du comportement d'utilisation de la brosse. Les outils de localisation fournissent en outre des informations individuelles de durée et de nombre d'utilisations. La technologie RTLS pourrait même fournir le rythme circadien et le budget-temps de l'utilisation de la brosse en lien avec d'autres comportements, comme l'alimentation ou le repos, et ainsi ajouter le comportement d'utilisation de la brosse aux paramètres de suivi quotidien des animaux en élevage. Malheureusement les outils de localisation manquent de précision pour correctement décrire un comportement fugace, le trop grand nombre de faux positifs noyant l'information concernant l'utilisation réelle de la brosse.

3. Rotation de la brosse

L'utilisation conjointe d'un outil de localisation des bovins et d'un outil détectant le fait que la brosse est utilisée, se révèle nécessaire : en effet, l'outil RTLS seul permet de correctement localiser les vaches à proximité de la brosse (sensibilité 0.80), mais ces vaches n'utilisent pas toujours la brosse (valeur prédictive positive 0.60) (Meunier et al., 2017). Afin de pallier les faux positifs, il ne faudrait prendre en compte, parmi les animaux situés à proximité de la brosse, que ceux se laissant frotter ou se frottant contre la brosse. Les brosses automatiques entrent en rotation lorsqu'elles sont inclinées au-delà d'un angle de 30°, défini par le constructeur (DeLaval SA, 2015). Une brosse inclinée et en rotation signifie donc forcément qu'une vache est en contact avec elle. Mandel et al. (2017) modifient des capteurs de suivi d'activité portés par les vaches de leur étude : dès que la brosse se met en mouvement, celle-ci émet un signal infra-rouge d'une portée de un mètre autour de la brosse, activant le capteur porté par la vache, qui émet alors par un signal radio le numéro unique d'identification de la vache. Les émetteurs ne transmettent donc leurs données que lorsque la brosse est en mouvement. Ce système permet l'élimination totale des faux positifs (Tableau VI).

L'ajout d'un capteur indiquant si la rotation de la brosse est enclenchée permet donc d'affiner la détection individuelle du comportement de toilettage. Cependant, l'ajout d'un tel capteur nécessite

du matériel supplémentaire, non fourni aujourd'hui par les constructeurs de brosses automatiques. De plus, la solution proposée par Mandel et al. (2017) rendrait le capteur de suivi d'activité des vaches inutilisable pour détecter des autres comportements, comme la rumination ou le temps de repos.

Bilan : les méthodes de suivi du comportement d'utilisation de la brosse

La caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse peut se faire à l'aide de la durée ou du nombre cumulés d'utilisations de la brosse, sur tout le corps ou par zone corporelle, de la durée de chaque visite, du rythme circadien de l'utilisation ou encore du taux d'occupation de la brosse. Ces variables descriptives s'obtiennent par l'observation directe ou indirecte du comportement. Afin de systématiser l'observation, il est nécessaire d'établir un éthogramme précis et de choisir des règles d'échantillonnage : l'observation de l'utilisation de la brosse se fait par *behaviour sampling* en *continuous recording*.

L'observation directe sur le terrain permet de décrire précisément le comportement d'utilisation de la brosse ainsi que son contexte d'expression. Malheureusement, c'est une technique très chronophage ; l'utilisation de caméras permet l'enregistrement en continu des activités des vaches à proximité de la brosse sur plusieurs jours et la réalisation des observations peut être assistée à l'aide de logiciels dédiés pour gagner en efficacité. L'observation du comportement à partir d'enregistrements vidéo offre l'avantage de ne pas perturber les animaux et permet à l'observateur de réaliser l'échantillonnage en plusieurs sessions. Le biais lié à l'observateur peut être minimisé, les images pouvant être visualisées plusieurs fois et au ralenti. L'observation par vidéo est donc la méthode de référence pour caractériser le comportement de brossage. Mais l'échantillonnage reste très chronophage, et ne permet pas un suivi au quotidien du comportement d'utilisation de la brosse sur de longues périodes.

Dans un élevage, des marques d'usure de la brosse, des poils accrochés dedans ou éparpillés à proximité, des vaches au pelage propre ainsi que l'affichage numérique de la durée d'utilisation de la brosse depuis l'installation, sont des indicateurs de l'utilisation de la brosse. Leur reconnaissance est facile, mais ne permet pas un suivi individuel. Des outils de localisation utilisant les technologies RTLS et RFID sont utilisés dans un cadre expérimental pour enregistrer individuellement la présence des vaches à la brosse. Ils permettent d'automatiser le suivi du comportement, évitant la perte de temps liée à la collecte des données, mais ils ne peuvent certifier que les vaches utilisent réellement la brosse. La solution pour ne détecter que les animaux utilisant effectivement la brosse semble être l'installation d'un capteur indiquant si la rotation de la brosse est activée.

Dans un contexte de suivi du comportement en élevage, l'outil de localisation utilisant la technologie RTLS, couplé à un capteur d'inclinaison de la brosse, semble prometteur pour le suivi quotidien du comportement d'utilisation de la brosse automatique.

IV. Problématiques, hypothèses et méthodologies

L'analyse bibliographique du comportement de toilettage, et plus particulièrement du toilettage autocentré exprimé par brossage, a montré que l'utilisation de la brosse, peu décrite en élevage laitier, était un comportement fugace, variable entre individus et sensible à plusieurs facteurs, notamment aux troubles de santé. L'observation en élevage de ce comportement fugace et variable nécessite un enregistrement en continu et donc chronophage. Détourner des outils initialement destinés au monitoring de animaux pour détecter des variations individuelles du comportement d'utilisation de la brosse pourrait permettre la prise en compte de ce comportement, encore inexploité par les vétérinaires, dans le suivi de l'état de bien-être et de santé des bovins, notamment en cas de mammite.

A. La caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse par la vache laitière : un véritable défi

1. Un comportement de toilettage autocentré difficile à observer et peu décrit

Le toilettage autocentré, en particulier celui effectué par l'utilisation d'une brosse automatique, est soumis à de fortes variations, non seulement au cours de la vie de l'animal, mais également à l'échelle de la semaine, une même vache pouvant utiliser une brosse 40 fois un jour et pas du tout le lendemain (Mandel et al., 2013). Son observation est très chronophage : à ma connaissance, une seule étude, réalisée par DeVries et al. (2007), décrit précisément l'utilisation de la brosse sur 14 jours d'affilée par observation vidéo en continu. Les autres études dont j'ai pu recenser les résultats, observent pendant seulement 6 à 72 heures le comportement d'utilisation de la brosse en continu par vidéo. Trois études décrivent l'utilisation de la brosse sur plusieurs semaines, mais le suivi du comportement de brossage a été fait à l'aide de capteurs automatisés, dont la précision est moindre que par observation vidéo (Tableau I). La caractérisation de l'utilisation de la brosse est en outre rendue difficile par la multitude de valeurs descriptives utilisées, qu'il est parfois difficile de comparer : probabilité pour une vache de se brosser au moins une fois (Mandel et al., 2013), durée d'utilisation de la brosse à l'échelle du troupeau (Meunier et al., 2017), pourcentage du budget-temps consacré à l'utilisation de la brosse (Ninomiya, 2019), la liste n'est pas exhaustive.

J'ai fait l'hypothèse que l'utilisation d'un outil qui détectera en continu l'utilisation de la brosse, et ce avec une précision approchant celle de l'observation vidéo, permettrait de caractériser ce comportement à l'échelle de la vie de chaque animal. L'observation sur le long terme permettrait de reconnaître des habitudes d'utilisation de la brosse pour chaque vache au-delà de la variabilité individuelle et donnerait accès aux variations de l'utilisation de la brosse selon le stade physiologique des animaux.

2. L'utilisation d'outils pour faciliter le suivi du comportement d'utilisation de la brosse

Un outil de localisation, basé sur la technologie RTLS, a déjà été étudié pour la détection de l'utilisation de la brosse automatique (Meunier et al., 2017). Cette technologie utilise des émetteurs d'ondes Ultra Large Bande (UWB, *Ultra Wideband*), fixés au sommet de l'encolure des animaux sur des colliers, et des antennes réceptrices installées au-dessus du parc. Les ondes sont émises toutes les secondes dans toutes les directions de l'espace, atteignant ainsi plusieurs antennes à la fois. Un ordinateur réceptionnant le signal va alors déterminer par triangulation la position de l'émetteur, et donc de la vache qui le porte. Le modèle commercialisé sous le nom de CowView (GEA CowView UWB-RTLS, GEA Farm Technologies, Allemagne), permet le suivi en temps-réel des activités de prise alimentaire, de repos, d'exercice et d'abreuvement de chaque vache individuellement dans le troupeau. Le système proposé par GEA Farm Technologies est précis jusqu'à 50 cm près, mais gêné par les éléments en métal (barrières, brosse) ou béton armé (piliers), ce qui peut fausser les coordonnées calculées pour un individu (Meunier et al., 2018). La détection de l'utilisation de la brosse par CowView manque donc de précision, de trop nombreuses vaches étant indiquées comme utilisant la brosse alors qu'elles se situaient simplement à proximité. La détection de l'*utilisation* nécessite donc un capteur supplémentaire, qui détecte la mise en mouvement de la brosse (Mandel et al., 2013).

L'outil qui semble donc être le plus prometteur pour assurer le suivi de l'utilisation de la brosse, associe un émetteur de position en temps réel porté par l'animal, et un accéléromètre fixé sur la brosse et détectant ses mouvements.

B. L'utilisation de la brosse varie selon le niveau de santé de la vache mais ne fait pas partie des outils de l'examen clinique vétérinaire

1. La mammite, un exemple de maladie d'élevage à fort impact

La mammite influence fortement la conduite des élevages laitiers, représentant 10.1% des causes de réforme (Esslemont, Kossaibati, 1997). Elle est très coûteuse : la perte de revenus est estimée à 0.36€/kg de lait vendu, soit 125€ par vache et par an (Geary et al., 2012). Cette inflammation de la mamelle très douloureuse a un fort impact sur le comportement de la vache atteinte, qui tend à s'isoler, à réduire ses périodes de repos en position couchée, et peut amener à une diminution de l'alimentation (Francoz, Couture, 2014 ; Medrano-Galarza et al., 2012).

Une mammite est une inflammation de la mamelle, généralement associée à une infection d'origine bactérienne. Les signes cliniques amenant au diagnostic des mammites cliniques vont de grumeaux dans le lait sans signes d'atteinte générale à une induration de la mamelle, une importante modification de la couleur du lait et un abattement prononcé. Les mammites sans atteinte générale, dites sub-cliniques, se caractérisent par une augmentation du taux cellulaire au-delà de 10^5 cellules

par millilitre et une augmentation de la conductivité du lait des premiers jets de 10% par rapport aux 4 traites précédentes (Milner et al., 1996). La détection des mammites sans signes généraux se fait habituellement au moment de la traite, en se fondant sur l'aspect modifié du lait. Cependant, ce critère de détection pourrait être insuffisant : lorsque le traitement est commencé avant les signes de modification du lait il agit deux fois plus vite et nécessite deux fois moins d'antibiotiques (Milner et al., 1997).

Dans la perspective de contribuer à une détection plus précoce des maladies d'élevage, je fais l'hypothèse que qu'une diminution de la durée ou du nombre d'utilisations de la brosse pourraient être des signes avant-coureurs supplémentaires d'une mammite, à l'instar des métrites ou des boiteries qui diminuent le temps passé par les vaches à la brosse.

2. Un modèle d'inflammation contrôlé pour étudier le comportement lors de mammites

L'étude standardisée du comportement des animaux atteints de mammites est facilitée par l'induction expérimentale de l'inflammation mammaire à une date précise et sur une population contrôlée de vaches. Un modèle permettant de reproduire l'effet d'une mammite sans mettre en danger la santé de l'animal sur le long terme, consiste à provoquer une réponse inflammatoire dans la mamelle de façon aseptique : l'absence de bactérie empêche l'intoxination systémique et les rechutes. La réaction inflammatoire est provoquée par infusion dans la mamelle de fragments de paroi bactérienne : des lipopolysacchrides (LPS) d'*Escherichia coli* (*E. coli*), une bactérie couramment rencontrée lors de mammite clinique (Down et al., 2013). Le LPS porte les antigènes bactériens qui sont reconnus par les cellules de l'inflammation. Plusieurs protocoles sont possibles en fonction des souches d'*E. coli* disponibles (Tableau VII).

Tableau VII. Quantité et souche de LPS, solution de préparation, et moment de l'infusion pour 3 protocoles de modèles d'inflammation mammaire.

	Quantité et type de LPS	**Diluée dans**	**Moment de l'infusion**
Barrett et al., 1997	10 µg *E. coli* 026:B6	10 ml de PBS	4h après la traite du matin
Siivonen et al., 2011	10 µg *E. coli* O55:B5	5 ml NaCl	1h après la traite du matin
Fitzpatrick et al., 2013	25 µg *E. coli* 0111:B4	10 ml NaCl	A la fin de la traite du matin

PBS : phosphate buffered saline, tampon phosphate salin

Avant instillation du LPS il est nécessaire de s'assurer que le quartier ciblé est sain, soit par un comptage des cellules somatiques, qui révèle une inflammation si le comptage dépasse 100 000 cellules par mL, soit par un examen bactériologique du lait (Yeiser et al., 2012) qui peut mettre en évidence la présence de bactéries et donc d'une infection dans le quartier. L'instillation du LPS se fait par voie intra mammaire, en introduisant une canule par le trayon préalablement désinfecté d'un quartier, ce qui mime le trajet bactérien lors d'une infection spontanée. Une fois le LPS injecté, les cellules inflammatoires présentes déclenchent la réponse inflammatoire, provocant les signes

classiquement observés lors de mammite : chaleur et induration du tissus mammaire, modification de la couleur du lait et présence de grumeaux, élévation de la température rectale, signes de douleur et abattement (Radostits et al., 2003 ; Fitzpatrick et al., 2013).

Les questionnements à la source de mes études expérimentales

Le suivi du comportement d'utilisation d'une brosse sur le long terme semble possible à l'aide d'outils de localisation et de détection de la mise en mouvement de la brosse. La nécessité d'améliorer la détection des mammites en élevage, et la faisabilité d'un modèle fiable reproduisant l'expression clinique de cette pathologie, m'ont amené à me poser ces deux questions, auxquelles je souhaite répondre :

1. Peut-on s'affranchir de l'observation en direct en utilisant un outil de localisation et de détection de la rotation de la brosse pour caractériser et suivre le comportement de brossage ?

2. Une diminution de la durée ou de la fréquence du comportement de brossage peut-elle être un signe précurseur de l'inflammation intra-mammaire ?

PREMIERE ETUDE EXPERIMENTALE : ÉVALUATION D'UN OUTIL DE LOCALISATION POUR LA DETECTION DE L'UTILISATION DE LA BROSSE

Dans cette première étude, mon objectif était d'estimer l'efficacité d'un outil de localisation en temps-réel, associé à un capteur de mouvement de la brosse (dénommés ci-après "outil à évaluer" ou "CV+AC"), dans le suivi individuel du comportement d'utilisation de la brosse par des vaches laitières. Pour ce faire, je souhaitais comparer les durées et fréquences d'utilisation mesurées par cet outil aux valeurs obtenues par échantillonnage manuel à partir d'un enregistrement vidéo, considéré comme la méthode de référence (dénommé "vid").

I. Matériel et Méthodes

A. Sujets et conditions d'élevage

L'étude expérimentale a été menée à la station INRA Herbipôle, à Marcenat (15190), entre le 10 et le 13 décembre 2018, en s'intégrant dans la conduite journalière des animaux de la station. 27 vaches de races Prim'Holstein et Montbéliarde, en 1ère à 6ème lactation avec une majorité des vaches en 1ère et 2ème lactation, et vêlées depuis 200 à 420 jours, ont été observées. La production laitière moyenne sur 305 jours de ces vaches se situait entre 11 et 24 litres de lait par jour.

Le parc de 244m² comprenait 28 logettes à matelas en caoutchouc et 28 places au cornadis. La ration totale mélangée à base de foin, regain, correcteur azoté, correcteur énergétique et minéraux était distribuée une fois par jour à 10:00, puis repoussée manuellement à 13:00, 15:00, 20:00 et à 08:00 le lendemain. Un abreuvoir de 222 cm, un bol de minéraux et une brosse à déclenchement automatique (brosse rotative pivotante DeLaval SCB, DeLaval, Suède), étaient disponibles en accès libre dans le parc (Figure 4). L'espace disponible autour de la brosse était de 4,00 mètres jusqu'au cornadis, 2,38 mètres jusqu'au coin des logettes et 4,85 mètres jusqu'à l'abreuvoir.

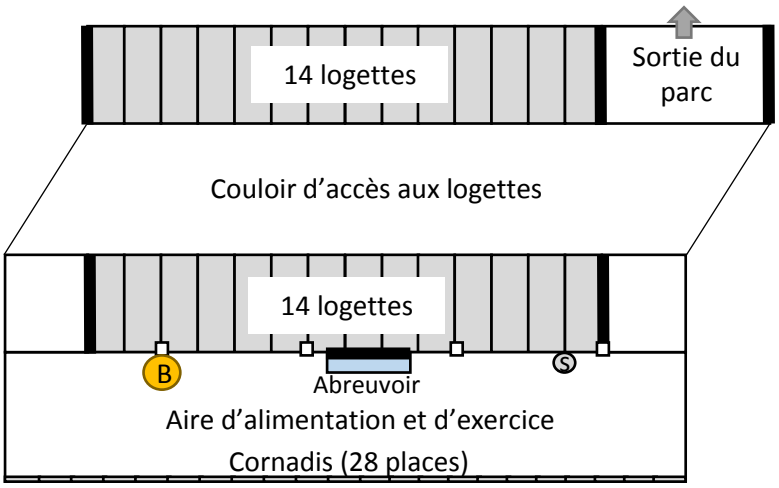


Figure 4. Plan du parc et position de la brosse. *B : brosse automatique SCB DeLaval, Suède. S : minéraux à lécher.*

La brosse permettait aux vaches de se frotter et d'être brossées par la rotation de la brosse : l'application d'une pression suffisante pour incliner la brosse de plus de 30° par rapport à la verticale en déclenchait la rotation. La brosse était montée sur un pilier du parc, de sorte que son extrémité soit à 1 mètre du sol, à l'aide d'un système de fixation à pivot permettant son mouvement dans toutes les directions de l'espace pour un confort d'utilisation optimal (Annexe 1). Les vaches étaient traites deux fois par jour, à 7:30 et 16:30, dans une salle de traite en épi à décrochage automatique de deux fois 14 places.

B. Observations et mesures

1. Utilisation de la brosse : données échantillonnées par enregistrement vidéo

L'utilisation de la brosse a été enregistrée en continu du lundi 14:00 au jeudi 14:00 (soit 72 heures), à l'aide d'une caméra (SONY SPTM 128 CE avec objectif varifocal asservi 1.8-3.6mm, Sony, Japon) fixé à trois mètres du sol en regard de la brosse. Les enregistrements ont été réalisés à l'aide de Media Recorder 2 (Noldus Information Technology, Pays Bas). La synchronisation de l'enregistrement vidéo avec l'heure universelle était vérifiée tous les jours à 16:45 par un technicien d'Herbipôle, lorsque les vaches étaient absentes du parc pour la traite. Afin de conserver une bonne visibilité, un éclairage artificiel était maintenu à 50% de sa puissance maximale de 23:00 à 05:30, et à 100% de puissance de 05:30 à 23:00. Afin d'identifier facilement et à tous moments les vaches qui utilisaient la brosse, des numéros entre 1 et 27 ont été appliqués sur leur pelage au moyen d'une bombe de marquage de bestiaux (RAIDEX GmbH, Allemagne), de chaque côté de l'animal au niveau des épaules, du plat du dos et de la croupe (Figure 5).

Flèches pleines : marquage à la bombe pour bestiaux (Raidex GmbH, Allemagne).

Flèche hachurée : émetteur RTLS (GEA CowView, GEA Farm Technologies, Allemagne). RTLS : Real-Time Location System, système de localisation temps-réel.

Figure 5. Identification d'une vache du parc.

Une vache a été notée comme utilisant la brosse dès-lors qu'elle s'immobilisait à proximité de la brosse et s'y frottait ou en déclenchait la rotation. Le début et la fin de chaque visite à la brosse étaient déterminés selon les étapes suivantes :

1. La vache se déplace vers la brosse en avançant ou en reculant puis s'immobilise à proximité.
2. Début de l'utilisation de la brosse : au premier contact entre la brosse et la vache.
3. La vache continue à utiliser la brosse si elle se frotte à la brosse ou se brosse en déclenchant sa rotation au niveau d'une des zones corporelles (Figure 6).
4. Fin de l'utilisation de la brosse : dès arrêt du contact entre la brosse et la vache ou arrêt de rotation de la brosse si la vache est toujours en contact avec la brosse sans se frotter.

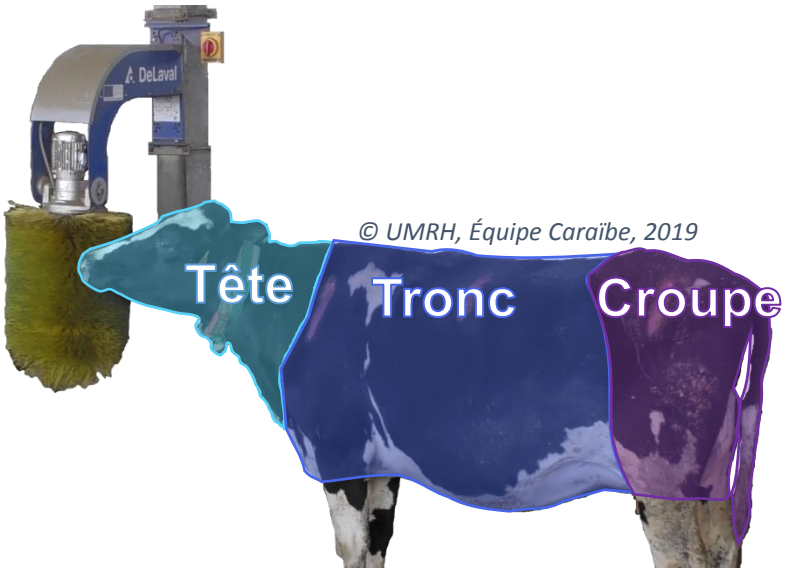


Figure 6. Représentation des zones corporelles d'utilisation de la brosse.

Les zones corporelles d'utilisation de la brosse ont été définies à l'aide de reliefs osseux permettant de les identifier facilement sur l'enregistrement vidéo (Tableau VIII). La zone corporelle a été indiquée pour chaque utilisation de la brosse.

Tableau VIII. Définition des zones corporelles pour l'utilisation de la brosse par observation vidéo

Zone	Description de la zone
tête	De la pointe du mufle jusqu'en avant de la pointe de l'épaule.
tronc	Entre la pointe des épaules et la pointe des hanches.
croupe	De la pointe des hanches à la queue.
partout	La brosse n'est pas stabilisée à une zone unique pendant plus de deux secondes.

L'échantillonnage du comportement d'utilisation de la brosse a été effectuée à l'aide du logiciel The Observer XT 14 (Noldus Information Technology, Pays Bas), en continu sur 72 heures (*Behavior sampling by continuous recording)* (Martin, Bateson, 2007). L'échantillonnage depuis l'enregistrement vidéo constitue la méthode de référence.

2. Utilisation de la brosse : données de localisation et de mouvement de la brosse

Les capteurs utilisés pour détecter l'utilisation de la brosse sont d'une part, un émetteur transmettant la position de la vache, d'autre part, un accéléromètre enregistrant les mouvements de la brosse.

2.1. Capteur de localisation de la vache à proximité de la brosse

L'émetteur transmettant la localisation de chaque vache était utilisé en routine dans la conduite du troupeau : chaque vache est équipée depuis le vêlage d'un émetteur individuel de localisation en temps-réel (GEA CowView UWB-RTLS, 6x5x4 cm^3,146 g, GEA Farm Technologies, Allemagne) fournissant les coordonnées de la vache dans le parc deux fois par seconde. L'émetteur transmet un code unique permettant d'identifier chaque animal. L'émetteur est fixé au sommet de l'encolure à l'aide d'un collier lesté (565 g) (Figure 5). 18 capteurs connectés à un serveur par des câbles Ethernet, et fixés au plafond de la stabulation, à 5 m du sol, réceptionnent le signal en permanence. La connexion Ethernet permet une synchronisation des données avec le protocole de temps réseau (NTP, *Network Time Protocol*) (Annexe 2).

Les capteurs fournissent des coordonnées X et Y brutes, positionnant la vache dans un plan virtuel de la stabulation défini par le constructeur (Meunier et al., 2018). Ces coordonnées brutes sont ensuite traitées une première fois : des coordonnées successives déviant de moins de quelques centimètres sont rassemblées en une seule position (Sloth, Frederiksen, 2015). Cela permet d'obtenir des données CP (*clustered position data*, donnée de position regroupée*)* en coordonnées x et y dans le système de GEA Farm Technologies. Les données CP sont ensuite comparées au plan de la stabulation pour mesurer la durée des comportements d'alimentation, d'abreuvement, de repos en logette et d'exercice, en comparant les heures d'entrée et de sortie de la zone correspondante (Meunier et al., 2018).

Pour les besoins de mon étude, B. Meunier, Y. Gaudron et C. Cirié (UMRH, INRA Theix, 63122 Saint Gènes-Champanelle), ont développé un algorithme permettant la mesure de l'utilisation de la brosse. Il a d'abord fallu définir les coordonnées des périmètres autour de la brosse correspondant à une position estimée de l'émetteur pour une vache se brossant les différentes zones du corps (Figure 7). Ces périmètres ont été déterminés d'après la taille (distance entre le mufle et l'attache de la queue et distance entre le mufle et l'émetteur) d'une des plus grandes vaches du troupeau. La taille des zones a été réduite au maximum afin de minimiser la détection de vaches proches mais n'utilisant pas la brosse. Les périmètres ne s'agrandissant donc pas beaucoup d'une zone corporelle à la suivante, et la précision de l'émetteur étant de l'ordre des 16 cm (Meunier et al., 2017), il a été choisi de regrouper les données de la tête et du tronc, et du tronc et de la croupe. Une vache était donc indiquée comme à proximité de la brosse pour une zone corporelle donnée, lorsque son émetteur se situait plus de 1

seconde à la suite dans le périmètre correspondant à la zone. Les heures d'entrée et de sortie de chaque zone permettaient de mesurer les durées d'utilisation.

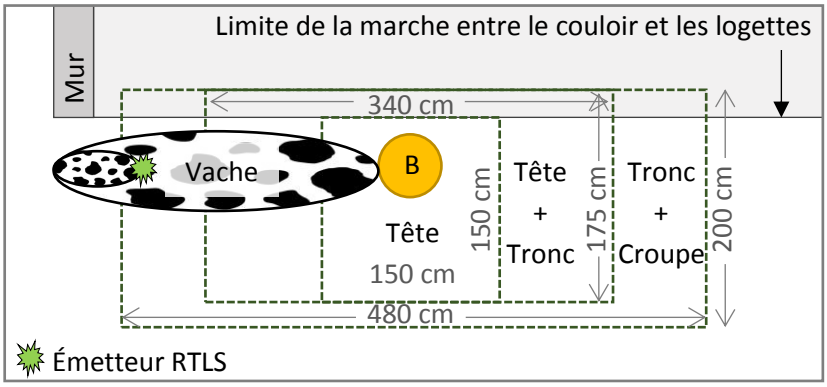


***Figure 7. Schéma à l'échelle des périmètres des zones de détection d'utilisation de la brosse par l'émetteur RLTS pour chaque zone corporelle**.*
Exemple pour une vache se brossant au niveau de la croupe.

2.2. Capteur des mouvements de la brosse

Les mouvements de la brosse étaient enregistrés par un accéléromètre (MSR145, MSR Electronics GmbH, Suisse) fixé sur le pivot de la brosse comme indiqué sur la Figure 8. Les données de position de l'accéléromètre étaient enregistrées toutes les secondes, avec une fréquence d'acquisition de 1 Hz. La mémoire interne et la charge électrique de l'accéléromètre permettaient une collecte de données pendant 7 jours. Les données étaient en suite transférées manuellement pour sauvegarde sur un ordinateur portable (PC fonctionnant sous Windows 10, 64 bits) à l'aide du logiciel (MSR 6.02.00, MSR Electronics GmbH, Suisse) lorsque les vaches étaient absentes du parc pour la traite.

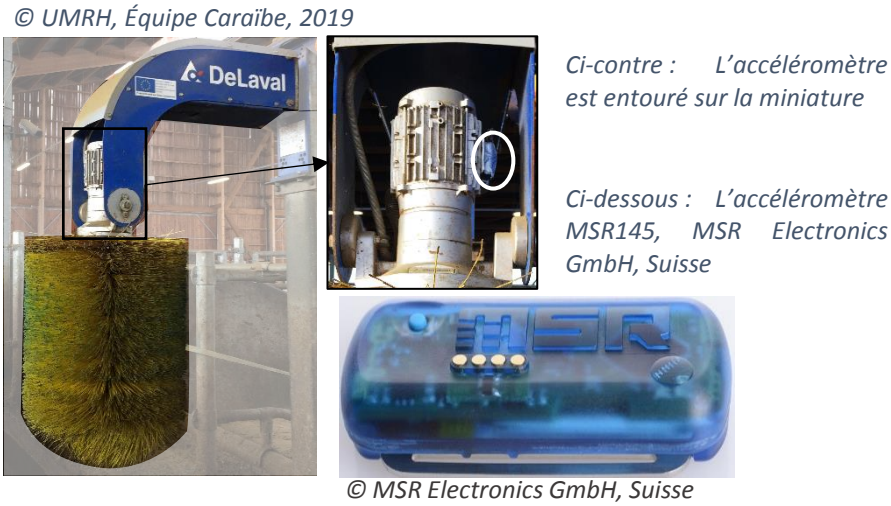


Figure 8. Emplacement de l'accéléromètre sur la brosse et aspect de l'accéléromètre.

Les données fournies par le logiciel étaient des coordonnées dans un référentiel à trois dimensions, pour chaque seconde d'enregistrement. B. Meunier, Y. Gaudron et C. Cirié ont développé un algorithme permettant de traduire ces coordonnées en données oui/non, c'est-à-dire "non" lorsque la brosse est au repos à la verticale, et "oui" lorsqu'elle est déplacée d'un certain degré par rapport à

la verticale. Ce degré a été décidé de façon à éliminer un maximum de "oui" liés à une brosse bousculée.

2.3. Combinaison des informations de localisation et de mouvement de la brosse

Pour une vache, l'utilisation de la brosse à la tête, au tronc ou à la croupe était donc définie par la présence de l'émetteur porté par la vache dans le périmètre autour de la brosse correspondant à l'une des trois zones corporelles, et conjointement une mise en mouvement de la brosse détectée par l'accéléromètre. Ces deux conditions devaient être remplies pour considérer une vache comme utilisant la brosse. Si un émetteur était localisé dans la zone sans que la brosse ne soit en mouvement, cela pouvait signifier qu'une vache se tenait à proximité immédiate de la zone sans l'utiliser. Si la brosse était mise en mouvement sans qu'une vache soit localisée à proximité, elle pouvait par exemple avoir été bousculée par un animalier.

C. Variables d'étude

Le comportement d'utilisation de la brosse a été décrit tout d'abord à l'aide de paramètres décrivant l'utilisation sur la journée, pour chaque animal :

- Durée d'utilisation (min/24h) : cumul des durées d'utilisation pour une vache sur 24 heures,
- Nombre d'utilisations (nombre/24h) : cumul du nombre d'utilisations par une vache sur 24 heures,
- Durée d'utilisation pour chaque zone corporelle (min/24h) : cumul des durées d'utilisation de la brosse sur une zone par une vache sur 24 heures,
- Nombre d'utilisations pour chaque zone corporelle (nombre/24h) : cumul du nombre d'utilisations de la brosse sur une zone par une vache sur 24 heures,
- Taux d'utilisation de la brosse par zone (%), au niveau troupeau : moyenne obtenue à partir des durées cumulées d'utilisation au niveau de la zone divisées par la durée cumulée d'utilisation toutes zones confondues sur 72 heures pour chaque vache,
- Zone de début (%) : nombre de fois qu'un animal a débuté l'utilisation de la brosse par une zone corporelle donnée, c'est-à-dire la première zone corporelle en contact avec la brosse, divisé par le nombre total d'utilisations de la brosse sur une période de 72 heures,
- Durée par visite : durée en secondes entre le moment où une vache touchait la brosse et le moment où elle rompait le contact avec la brosse ou que la rotation de la brosse s'arrêtait,
- Heure de début d'utilisation (format H:M:S), pour visualiser l'occupation de la brosse sur 24 h,
- Taux d'occupation de la brosse par le troupeau en nombre de secondes sur 15 minutes (%).

Chaque paramètre a été évalué à partir d'un enregistrement vidéo de 24 heures en continu et pour chaque individu (27 vaches identifiées par des numéros compris entre 1 et 27).

D. Analyse statistique

L'observation graphique préalable de mes données indiquait une forte variabilité interindividuelle. Il me fallait donc choisir une méthode permettant de comparer les valeurs obtenues par les deux outils pour chaque individu, plutôt que de comparer les moyennes sur le troupeau. La méthode utilisée a donc été celle proposée par Bland, Altman (1986), détaillée en Annexe 3. Elle examine la différence entre chaque valeur obtenue par "CV+AC" moins la valeur obtenue par "vid" : plus la différence s'approche de la valeur nulle, plus les outils donnent des résultats proches. L'interprétation des résultats de la méthode a été graphique : après représentation des limites d'accord (moyenne ± 2 écarts-types des différences) pour le troupeau, on pouvait en évaluer la position et la distance à 0, ainsi que la dispersion des données d'après la taille de l'intervalle. Un intervalle ayant des bornes positives par exemple, indique que l'outil à évaluer surestime le paramètre. La décision quant à la significativité biologique de la différence entre les deux méthodes est à prendre en fonction des valeurs de différences obtenues.

L'examen des différences a été fait après normalisation des distributions des données à l'aide d'un logarithme décimal (durée d'utilisation et durée d'utilisation par zone, les durées nulles ayant été remplacées par le *half minimum*, soit la moitié de la plus petite valeur) ou d'une racine carrée (nombre d'utilisations et nombre d'utilisations par zone). La transformation à appliquer a été choisie après représentation graphique des données brutes.

Afin de pouvoir comparer les données concernant les zones corporelles d'utilisation de la brosse des outils "CV+AC" et "vid", les données obtenues par observation vidéo ont été regroupées en additionnant les durées et nombres d'utilisations de chaque zone (Tableau IX).

Tableau IX. Données d'utilisation de la brosse par zone corporelle pour la comparaison des méthodes.

Zones corporelles CV+AC	Tête	Tête+Tronc	Tronc+Croupe
Données vid correspondantes	Tête	Tête + Tronc	Tronc + Croupe + Partout

En outre, la comparaison de chaque visite observée par vidéo à chaque visite détectée par l'outil au même moment a permis de compter le nombre de vrais positifs (VP), c'est-à-dire le nombre de visites détectées par l'outil et qui correspondent à une visite observée par vidéo, le nombre de faux positifs (FP), ou nombre de visites annoncées par l'outil qui ne correspondent à aucune visite réelle et le nombre de faux négatifs (FN), soit le nombre de visites observées en vidéo que l'outil n'a pas détectées. A partir de ces données on a pu déterminer la sensibilité (Se) et la valeur prédictive positive (VPP) à l'aide des formules suivantes : $Se = \frac{VP}{VP+FN}$ et $VPP = \frac{VP}{VP+FP}$.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel R 3.5.2. Les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du package ggplot2.

II. Résultats

Les résultats sont présentés en deux parties : une première dans laquelle je décris le comportement d'utilisation de la brosse dans un lot de 27 vaches, observées par enregistrement vidéo pendant trois périodes consécutives de 24 heures, une seconde présentant les comparaisons des résultats de l'outil à évaluer, avec localisation de la vache et détection des mouvements de la brosse, et de la méthode de référence par observation vidéo. Sur chaque période de 24 heures, les vaches avaient accès à la brosse en permanence en dehors des périodes de traite, soit pendant 1380 ± 10 minutes (moyenne ± écart-type).

Le comportement d'intérêt a pu être observé sur l'ensemble des trois fois 24 heures, à l'aide d'enregistrements vidéo de 24 heures chacun, et pour l'ensemble des 27 vaches inclues dans l'étude.

A. Caractérisation de l'utilisation de la brosse par observation vidéo

1. Taux d'occupation de la brosse

Le taux d'occupation de la brosse sur 24 heures était de 9,38% le premier jour, 6,26% le deuxième jour, et 7,92% le troisième jour, ce qui représentait respectivement 2h15, 1h30 et 1h54 sur environ 23 heures pendant lesquelles la brosse était accessible. Le taux d'occupation supérieur à 100% aux alentours de 20h le premier jour, et de 16h le deuxième jour, s'expliquait par une utilisation simultanée par au moins deux vaches. L'occupation de la brosse variait au cours de 24 heures, avec une absence complète d'utilisation la nuit, entre 04:00 et 05:30, et des moments de plus forte utilisation, différents d'un jour sur l'autre (Figure 9). La valeur médiane de la durée de non-occupation de la brosse, entre deux utilisations par la même vache ou entre des utilisations par des vaches différentes, était de 5 minutes.

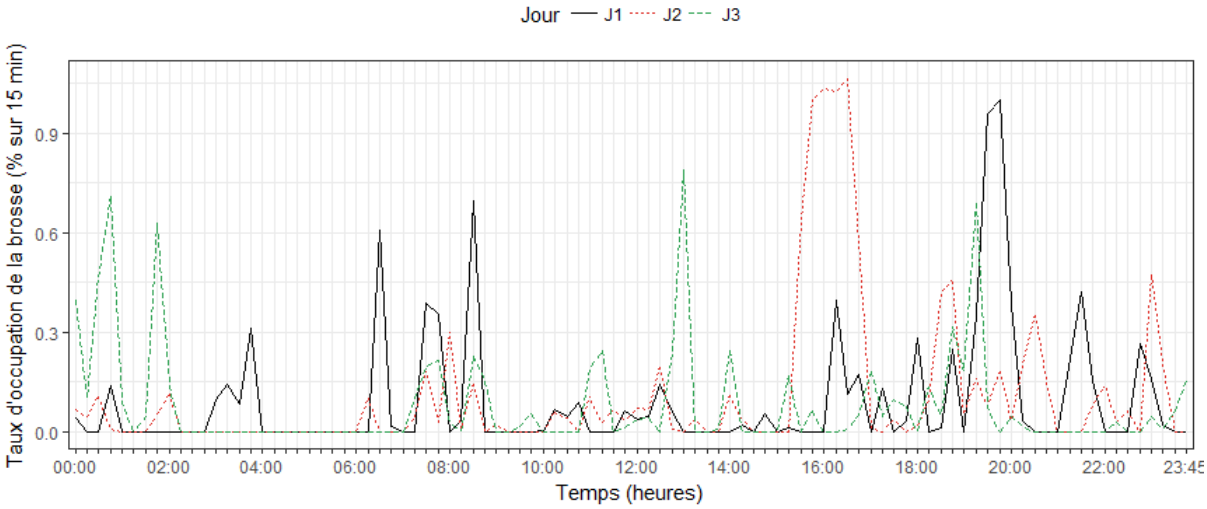


***Figure 9. Variations sur 24 heures du taux d'occupation de la brosse**, calculé sur des intervalles de 15 minutes pour chaque jour d'observation : J1 (ligne continue), J2 (ligne en pointillés) et J3 (ligne interrompue), dans un parc de 28 vaches laitières.*

2. Durée et nombre d'utilisations

2.1. Description de l'utilisation de la brosse

La médiane des durées d'utilisation de la brosse par une vache était de 1,22 minutes /24h le premier jour, 1,67 le deuxième et 2,40 le troisième (Tableau X). Les vaches utilisaient la brosse entre 0 et 17 fois par jour, lors de visites pouvant durer de 2 secondes à 1992 secondes (soit plus de 33 minutes). À l'échelle du troupeau, le nombre et la durée d'utilisations médians de la brosse variaient peu d'un jour sur l'autre (Figure 10).

Tableau X. Quartiles et valeurs extrêmes de la durée cumulée d'utilisation (min/24h) et du nombre d'utilisations par 24h de la brosse par jour d'observation, ainsi que de la durée par visite (sec) *pour 27 vaches laitières observés pendant trois fois 24 heures par vidéo.*

	Jour	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
Durée d'utilisation (min/24h)	J1	0	0,84	1,22	5,22	43,52
	J2	0	0,42	1,67	3,95	20,57
	J3	0	1,21	2,40	4,6	17,28
Nombre d'utilisations / 24h	J1	0	2	2	5,5	17
	J2	0	1	3	5,5	17
	J3	0	2	3	6	12
Durée par visite (sec)	-	2	13	27	55	1992

Q1 : premier quartile. Q3 : troisième quartile.

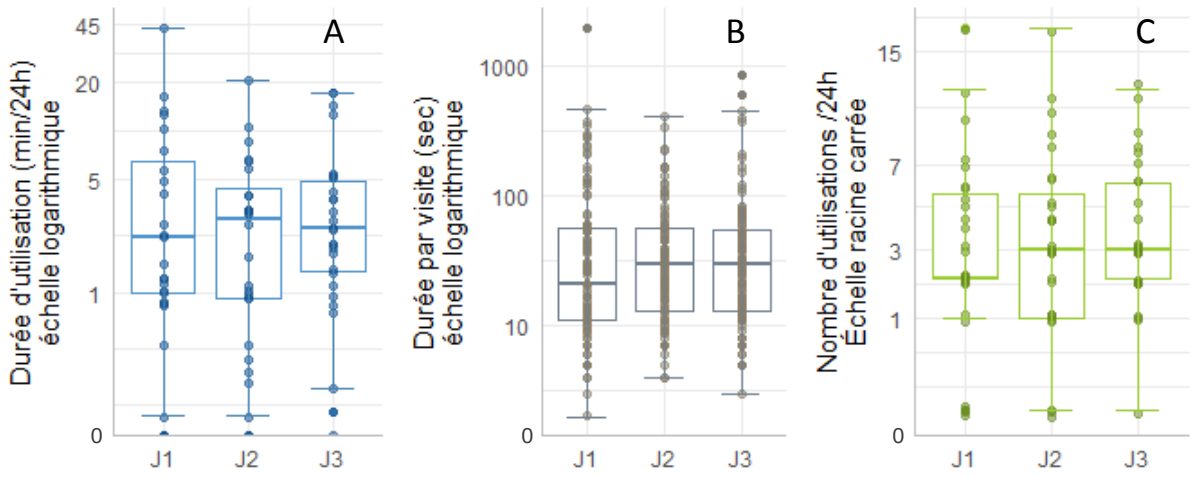


Figure 10. Diagrammes en boite de la durée cumulée d'utilisation en min/24h (A), de la durée par visite en secondes (B) et du nombre d'utilisations sur 24 heures (C)*, pour chaque jour successif d'observation (J1, J2, J3), d'une brosse automatique par 27 vaches laitières.*

2.2. Variations inter- et intra-individuelles de l'utilisation de la brosse

La Figure 11 (A) montre que la durée d'utilisation de la brosse (min/24h) est très variable pour un même individu : par exemple, la vache identifiée par le chiffre 10, a utilisé la brosse pendant 14 minutes le premier jour, n'y est pas allée le lendemain, mais y est retournée 4 minutes le 3ème jour. On a pu tout de même identifier certaines vaches qui tendaient à se brosser plus longtemps que la médiane du troupeau, quel que soit le jour d'observation : les vaches portant les numéros 24, 1, 11 et 2 se sont brossé au moins 3 minutes chaque jour. On a également pu identifier les vaches "faible utilisatrices" de la brosse : les vaches n°4, 8 et 16 ne se sont brossé qu'un jour sur les trois, et ce pendant moins de 2 minutes.

On retrouve cette variabilité intra individuelle en comparant jour par jour le nombre de visites effectuées à la brosse sur 24 heures par un animal, tel que le montre la Figure 11 (B) : la vache n°5 n'est pas allée à la brosse le premier jour, mais s'y est déplacé 3 et 6 fois les jours suivants. On peut remarquer qu'une forte durée de brossage n'est pas corrélée à des visites nombreuses : la vache n°24 est celle s'étant brossé le plus longtemps le premier jour, et a visité la brosse 7 fois, alors que les vaches n°11, 22 et 27 ont visité plus de 10 fois la brosse ce jour-là.

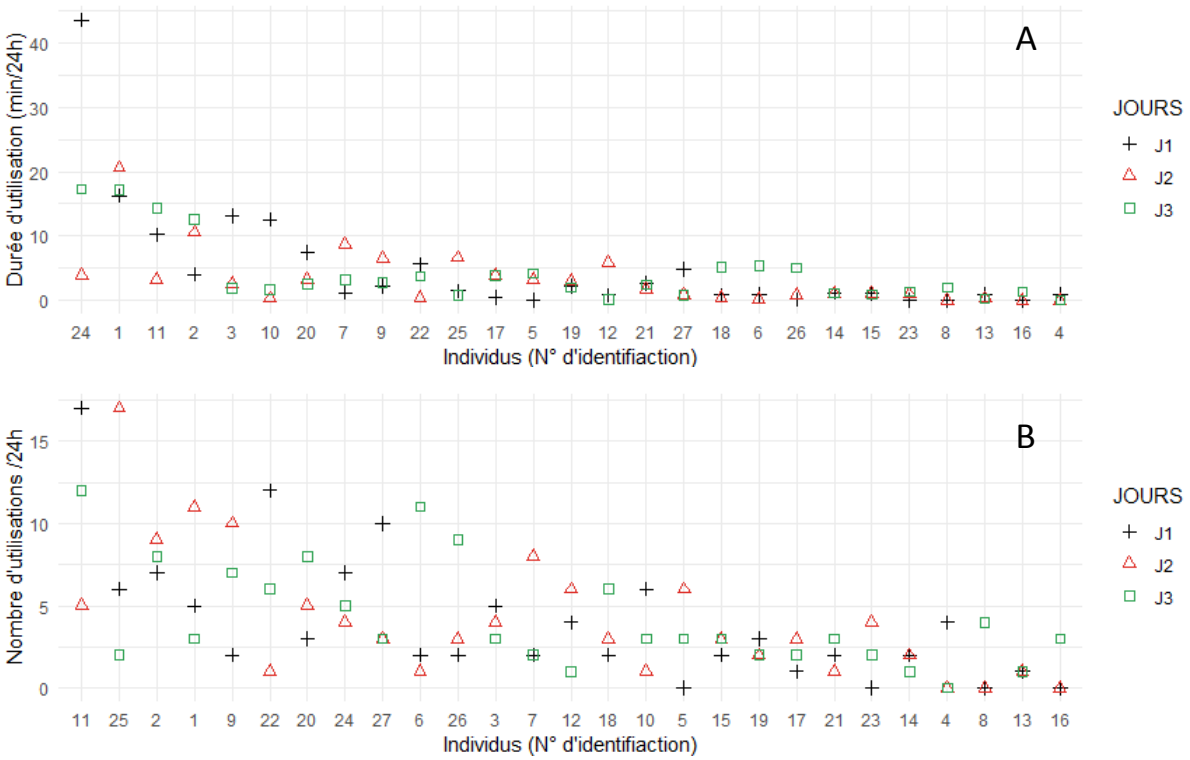


Figure 11. (A) Durée d'utilisation de la brosse (min/24h) et (B) nombre d'utilisations de la brosse (/24h) estimés par observation vidéo *pour chacune des 27 vaches, affichées par ordre décroissant de leur durée ou nombre moyen d'utilisations de la brosse, pour chaque jour d'observation : J1 (+), J2 (△), et J3 (□).*

3. Caractérisation de l'utilisation de la brosse par zone corporelle

L'utilisation de la brosse au niveau de la zone "Tête" par l'ensemble du troupeau, représentait 53,1% du temps d'utilisation de la brosse, tous jours d'observation confondus (Tableau XI). Sur l'ensemble des utilisations de la brosse, 88,7% ont été débutées par la tête, 6,6% par le tronc, et 4,7% par la croupe. Les quartiles et les valeurs extrêmes de la durée et du nombre d'utilisations de la brosse sur chaque zone sont donnés en Annexe 4.

Tableau XI. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle *pour 27 vaches laitières observées par vidéo pendant trois fois 24 heures.*

	Taux d'utilisation de la brosse selon la zone corporelle (% ± SE)			
Jour d'observation	**Tête**	**Tronc**	**Croupe**	**Partout**
J1	53,1 (± 6,9)	13,3 (± 3,0)	18,0 (± 5,2)	2,8 (± 2,1)
J2	54,2 (± 6,6)	16,9 (± 3,7)	15,6 (± 5,0)	4,8 (± 3,4)
J3	62,5 (± 6,3)	16,0 (± 3,8)	19,1 (± 5,7)	0,3 (± 0,3)
Zone de début (%)	88,7	6,6	4,7	-

Zone de début : zone utilisée pour débuter le brossage. SE : Standard Error, erreur standard. Partout : la vache n'a pas stabilisé la brosse à une zone corporelle précise : la brosse tourne entre les zones Tronc et Croupe.

À l'échelle individuelle, 19 vaches sur 27 utilisaient la brosse au niveau de la zone "Tête" au moins 51% et jusqu'à 100% du temps qu'elles passaient à la brosse (Figure 12), tandis que trois animaux se brossaient entre 63% et jusqu'à 83% du temps passé à la brosse au niveau de la croupe. Les 6 vaches restantes utilisaient la brosse en proportions équivalentes sur 2 ou 3 zones.

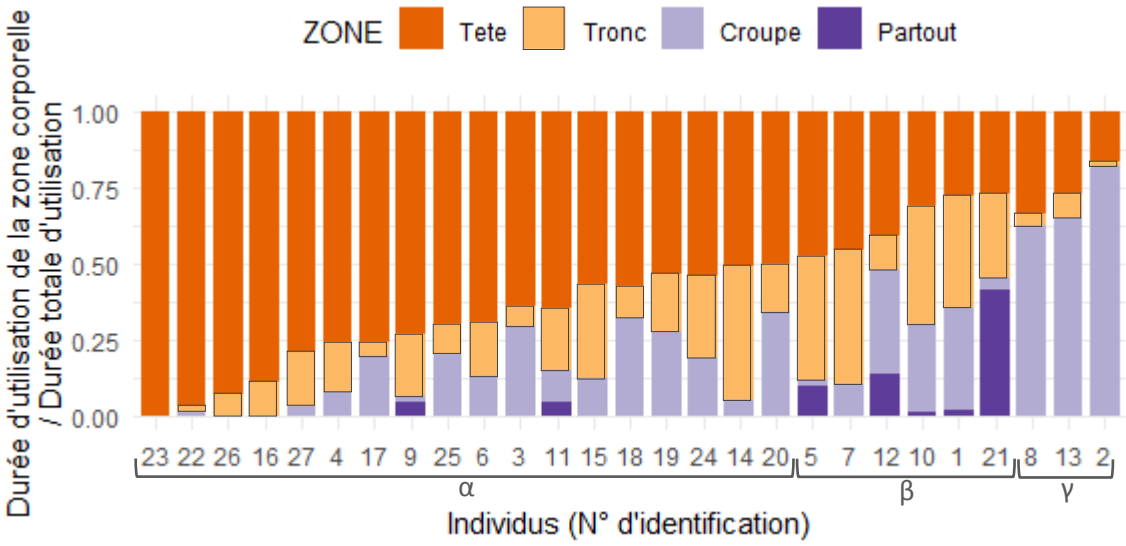


Figure 12. Taux individuel d'utilisation de la brosse par zone corporelle *sur 24 heures pour chacune des 27 vaches observées, affichées par ordre décroissant du taux d'utilisation de la brosse dans la zone la plus brossée : vaches se brossant majoritairement à la tête (α), vaches n'ayant pas de préférence de zone corporelle prédominante (β), et vaches se brossant majoritairement la croupe (γ). Partout : la vache n'a pas stabilisé la brosse à une zone corporelle précise : la brosse tourne entre les zones Tronc et Croupe.*

B. Performance de l'outil de localisation pour détecter l'utilisation de la brosse

1. Durée et nombre d'utilisations de la brosse

L'outil "CV+AC", associant un émetteur de la localisation de la vache à un capteur enregistrant les mouvements de la brosse, détectait de 1 à 45 utilisations sur 24 heures, chaque utilisation pouvant durer entre 1 et 1996 secondes (Tableau XII). La valeur médiane de la durée cumulée d'utilisation sur 24 heures se situait entre 2,72 et 3,02 min/24h, avec un maximum à 43,57 min/24h le premier jour. La sensibilité de détection des visites par l'outil était de 92,78 %, et la valeur prédictive positive de 46,57 % (VP = 462, FP = 530 et FN = 36).

Tableau XII. Quartiles et valeurs extrêmes de la durée cumulée d'utilisation (min/24h) et du nombre d'utilisations par 24h de la brosse par jour d'observation, ainsi que de la durée par visite (sec) *pour 27 vaches laitières observés pendant trois fois 24 heures par l'outil "CV+AC".*

	Jour	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
Durée d'utilisation (min/24h)	J1	0,08	1,47	3,02	6,98	43,57
	J2	0,02	1,16	2,72	4,85	20,70
	J3	0,15	1,95	3,03	5,67	19,78
Nombre d'utilisations / 24h	J1	1	6	10	17	45
	J2	1	6	9	16	26
	J3	2	10	12	17	30
Durée par visite (sec)	-	1	4,75	9	23	1996

Q1 : premier quartile. Q3 : troisième quartile.

La Figure 13 montre que les trois vaches détectées comme utilisant le plus longtemps la brosse étaient celles portant les numéros 24, 1 et 11. Les cinq vaches détectées comme se brossant le moins longtemps portaient les numéros 8, 23, 16, 4 et 13.

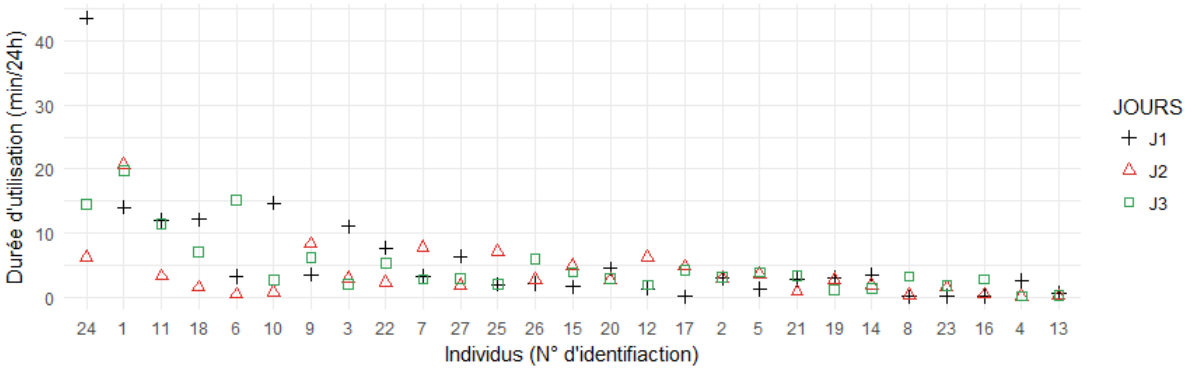


Figure 13. Durée d'utilisation de la brosse (min/24h) détectée par l'outil "CV+AC" *pour chacune des 27 vaches, affichées par ordre décroissant de leur durée moyenne d'utilisation de la brosse, pour chaque jour d'observation : J1 (+), J2 (△), et J3 (□).*

La Figure 14 montre que les trois vaches détectées par l'outil comme utilisant le plus souvent la brosse portaient les numéros 11, 22 et 1. Les 6 vaches détectées comme utilisant le moins souvent la brosse portaient les numéros 5, 8, 14, 23, 4 et 13.

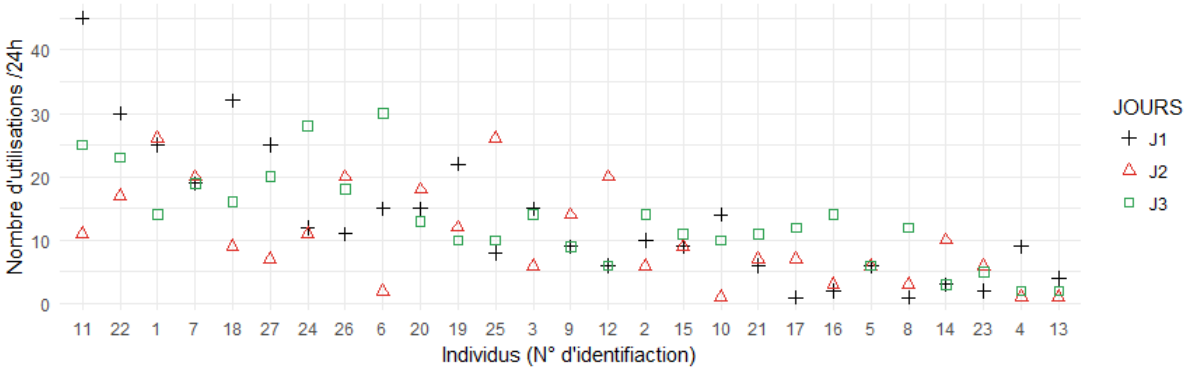


Figure 14. Nombre d'utilisations de la brosse (/24h) détecté par l'outil "CV+AC" *pour chacune des 27 vaches, affichées par ordre décroissant de leur nombre moyen d'utilisations de la brosse, pour chaque jour d'observation : J1 (+), J2 (⊿), et J3 (□).*

2. Comparaison de l'outil "CV+AC" avec l'observation directe sur vidéo

La moyenne des différences obtenue par la méthode de Bland et Altman (1986) après normalisation des durées était de 0,266 log10[sec], et l'écart-type de 0,499 log10[sec]. L'outil "CV+AC" multipliait donc par 1,84[1] la durée individuelle cumulée d'utilisation de la brosse sur 24 heures. Par exemple, pour une durée d'utilisation de 1,67 sec/24h détectée par observation directe sur vidéo, cela signifie que l'outil "CV+AC" annonçait une durée d'utilisation de 3,08 secondes. La représentation graphique (Figure 15) des différences entre les méthodes en fonction de leur moyenne, montre que toutes les différences sauf 3 se trouvaient entre les limites d'accord telles que définies par Bland et Altman (1986) : 0,19 et 18,36 secondes (moyenne ± 2 x SD), centrées autour de 0.

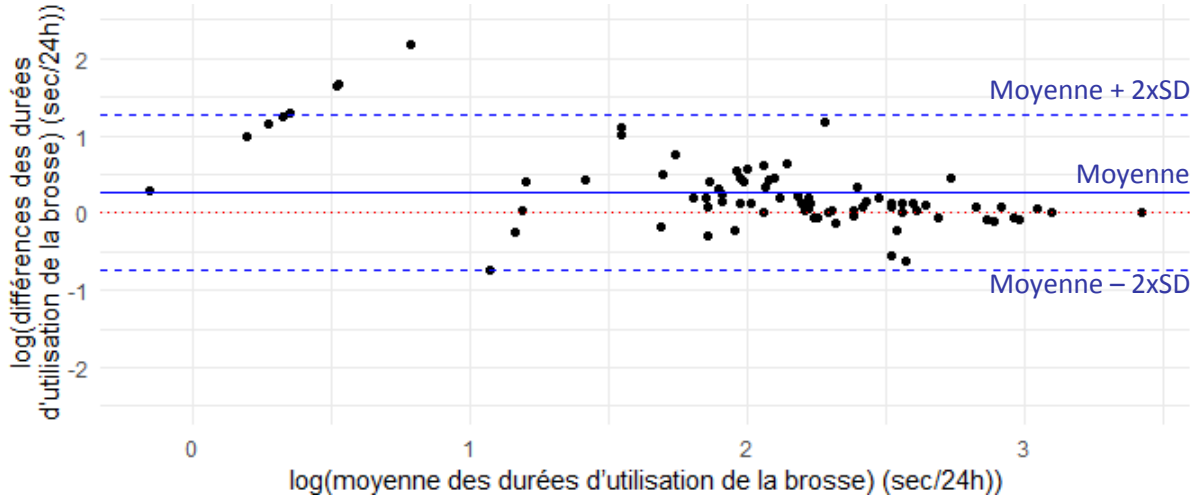


Figure 15. Graphe de Bland et Altman (1986) des différences entre les logarithmes décimaux des durées d'utilisation de la brosse *(en sec/24h) par 27 vaches laitières, donnés par les outils "CV+AC" et "vid" sur trois fois 24 heures, en fonction des moyennes des valeurs fournies par chaque outil pour chaque individu. Ligne continue : moyenne des différences. Lignes interrompues : moyenne ± 2 écarts-types des différences. Ligne en pointillés d'ordonnée = 0 : valeur idéale de la moyenne des différences. SD : Standard deviation, écart-type.*

[1] Moyenne des différences en secondes, obtenue à partir de la moyenne des différences en log10[sec] par la formule suivante : $m(sec) = 10^{m(log10[sec])}$

L'outil "CV+AC" ajoutait 1,47 ± 0,87 (moyenne ± SD) à la racine carrée du nombre cumulé individuel d'utilisations de la brosse sur 24 heures. En prenant un exemple de 3 utilisations réelles sur 24 heures, l'outil "CV+AC" en comptait donc entre 6 et 17[1]. La Figure 16 montre un décalage des limites d'accord (moyenne ± 2 x SD) vers les valeurs positives. Les limites d'accord contenaient toutes les différences sauf deux.

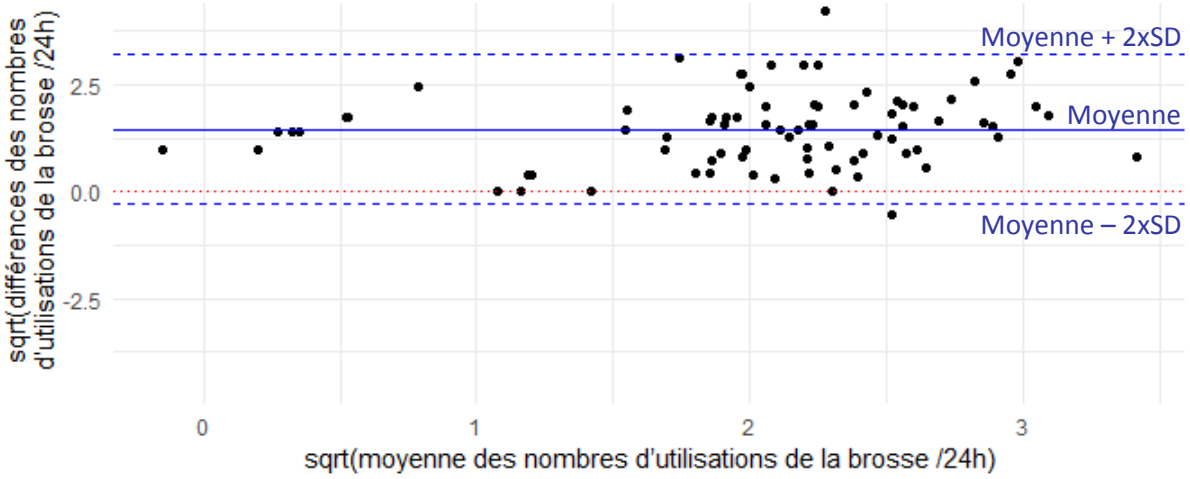


Figure 16. Graphe de Bland et Altman (1986) des différences entre les racines carrées des nombres d'utilisations de la brosse *(/24h) par 27 vaches laitières, donnés par les outils "CV+AC" et "vid" sur trois fois 24 heures, en fonction des moyennes des valeurs fournies par chaque outil pour chaque individu. Ligne continue : moyenne des différences. Lignes interrompues : moyenne ± 2 écarts-types des différences. Ligne en pointillés d'ordonnée = 0 : valeur idéale de la moyenne des différences. SD : Standard deviation, écart-type.*

3. Pour évaluer la durée d'utilisation de la brosse sur une zone corporelle

La performance de l'outil "CV+AC" pour détecter la durée d'utilisation de la brosse sur 24 heures au niveau des zones "Tête", "Tête+Tronc" ou "Tronc+Croupe" est indiquée dans le Tableau XIII : l'outil multipliait la durée d'utilisation à la tête et à l'encolure par 1,03 secondes par rapport à la valeur obtenue par observation vidéo. La zone pour laquelle l'outil estimait le plus précisément la durée d'utilisation de la brosse était donc la tête. Les représentations graphiques sont données en Annexe 5.

Tableau XIII. Moyennes[a,b] et écart-types des différences entre les durées d'utilisation de la brosse *par 27 vaches (en sec/24h), les durées relevées par observation vidéo étant soustraites à celles données par l'outil "CV+AC" pour chaque zone corporelle.*

Zone	**Moyenne** (log10[sec])	**Moyenne[a,b]** (sec)	**Écart-type** (sec)
Tête	0,014	1,03	2,62
Tête+Tronc	0,173	1,49	2,60
Tronc+Croupe	0,368	2,34	3,25

[a] Moyenne en secondes obtenue à l'aide de la formule suivante : m(sec) = $10^{m(log10)}$, m = moyenne.
[b] Exemple pour la zone "Tête" : la durée réelle d'utilisation de la brosse sur 24 heures était multipliée par 1,03 [0,39 ; 2,70] (m [m x 1/SD ; m x SD]). Pour une durée de 45 secondes, l'outil détectait donc une durée de 46,35 [17,55 - 121,50] secondes d'utilisation de la brosse. SD = écart-type.

[1] Valeurs obtenues à l'aide de l'équation suivante : $f(x) = ((m \pm \sigma) + \sqrt{x})^2$, où $f(x)$ est l'estimation faite par l'outil "CV+AC", m et σ la moyenne et l'écart-type données par le modèle de Bland et Altman (1986), et x le nombre d'utilisations réelles de la brosse sur 24 h. Le ± indique qu'il faut soustraire l'écart-type pour obtenir la valeur basse, et l'additionner pour obtenir la valeur haute.

4. Pour évaluer le nombre d'utilisations de la brosse sur une zone corporelle

La performance de l'outil "CV+AC", pour estimer la racine carrée du nombre cumulé d'utilisations de la brosse sur 24 heures, pour les zones "Tête", "Tête+Tronc" ou "Tronc+Croupe", est indiquée dans le Tableau XIV. La zone du tronc et de la croupe était celle pour laquelle l'outil faisait le plus d'erreur dans l'estimation du nombre d'utilisations. Les représentations graphiques sont données en Annexe 6.

Tableau XIV. Moyennes[a] et écart-types en racine carrée des différences entre les nombres d'utilisations de la brosse *par 27 vaches (/24h), les nombres d'utilisations donnés par observation vidéo étant soustraits à ceux donnés par l'outil "CV+AC" pour chaque zone corporelle.*

Zone	**Moyenne** ($\sqrt{\text{nombre}}$)	**Écart-type** ($\sqrt{\text{nombre}}$)
Tête	0,74	0,66
Tête+Tronc	0,72	0,88
Tronc+Croupe	2,27	1,22

[a] Exemple pour la zone "Tronc+Croupe" : l'outil "CV+AC" ajoutait 2,27 [1,05 ; 3,49] (m [m - σ ; m + σ]) à la racine carrée du nombre réel d'utilisations de la brosse sur 24 heures. Un nombre réel de 2 utilisations de la brosse sur 24 heures au niveau de cette zone était donc estimé à 14 [6 ; 24] utilisations par l'outil.
Valeurs obtenues à l'aide de l'équation suivante : $f(x) = ((m \pm \sigma) + \sqrt{x})^2$*, où* $f(x)$ *est l'estimation faite par l'outil "CV+AC" et* x *le nombre d'utilisations réelles de la brosse sur 24 h. Le ± indique qu'il faut soustraire l'écart-type pour obtenir la valeur basse, et l'additionner pour obtenir la valeur haute. m = moyenne, σ = écart-type.*

SECONDE ETUDE EXPERIMENTALE : SUIVI DU COMPORTEMENT D'UTILISATION DE LA BROSSE AVANT ET APRES INFLAMMATION MAMMAIRE

La seconde partie de mon travail avait pour but de caractériser, le cas échéant, les variations d'utilisations de la brosse par des vaches laitières avant et après induction d'une inflammation mammaire, par l'observation d'enregistrements vidéo.

I. Matériel et Méthodes

Cette étude a été autorisée par le comité d'éthique C2EA-02 et par le Ministère de l'enseignement et de la recherche (APAFIS # 17251-2015043014541577 v 11). L'étude a été réalisée dans le respect de la directive 2010/63/EU. Elle a été rendue possible grâce à la participation financière du métaprogramme GISA (Gestion Intégrée de la Santé Animale) de l'INRA (projet LongHealth), de CEVA Santé Animale et de VetAgro Sup (projet Formation par la Recherche 2019).

A. Sujets et conditions d'élevage

L'étude expérimentale a été conduite à la station INRA Herbipôle, à Marcenat (15190), entre le 4 février et le 22 mars 2019 en trois sessions de 5 jours (appelées série 1, 2 et 3). 14 vaches primipares de race Prim'Holstein réparties en 3 lots de 4, 5 et 5 animaux selon leur rang de vêlage, ont été observées (Tableau XV). Les trois groupes étaient gardés dans un même parc avec 14 autres vaches primipares, formant un groupe social stable depuis le vêlage (minimum 115 jours). Aucune mammite n'a été détectée dans le lot dans le mois précédant le début de l'étude. Un protocole de synchronisation sur les vaches non gestantes parmi les 28 vaches du lot a été mis en place 1 mois avant le début de l'étude afin d'éviter les comportements d'expressions de chaleurs.

Tableau XV. Choix des groupes d'observation *en fonction du nombre de jours en lait au moment du challenge, et données de production pour chaque groupe.*

Série	Date de challenge	Jours en lait au challenge	Production laitière (semaine 1 à 8) (kg/jour)	Comptage cellulaire moyen 4 quartiers (/mL)
1	04/02/2019	143 [120 ;154]	20,50 [16,43 ;22,35]	84 575 [29 765 ; 296 214]
2	25/02/2019	125 [117 ;140]	22,99 [17,35 ;29,83]	142 625 [58 302 ;223 156]
3	18/03/2019	115 [93 ;136]	23,35 [17,13 ;29,16]	226 152 [22 187 ;1230 935]

Paramètres fournis : moyenne [mini ; maxi]. Données de comptages cellulaires fournies par le laboratoire LIAL Massif Central (Aurillac, 15000). L/jour : litres par jour.

Le parc de 244m² comprenait 28 logettes à matelas en caoutchouc et 28 places au cornadis. La ration totale mélangée à base de foin, regain, correcteur azoté, correcteur énergétique et minéraux était distribuée une fois par jour à 10:00, puis repoussée manuellement à 13:00, 15:00, 20:00 et à 08:00 le lendemain. Un abreuvoir de 222 cm, un bol de minéraux et une brosse à déclenchement

automatique (brosse à vaches rotative pivotante DeLaval SCB, DeLaval, Suède), étaient disponibles en accès libre dans le parc (Figure 4). L'espace disponible autour de la brosse était de 4,00 mètres jusqu'au cornadis, 2,38 mètres jusqu'au coin des logettes et 4,85 mètres jusqu'à l'abreuvoir. Les vaches étaient traites deux fois par jour, à 7:30 et 16:30, dans une salle de traite en épi à décrochage automatique de 2 fois 14 places. Le trayeur en charge de chaque traite était le même pour toute la semaine d'observations, mais pouvait changer d'une série à l'autre. L'état de santé des animaux était évalué deux fois par jour, par des examens cliniques au cornadis, réalisés par un vétérinaire.

B. Traitements expérimentaux

L'inflammation intra-mammaire a été provoquée à T0 (correspondant au mercredi de chaque série en fin de traite du matin) (Figure 17), par l'infusion intra mammaire de lipopolysaccharide (LPS) de *Escherichia coli (E. coli)*. La solution contenant le LPS nous a été fournie congelée à -20°C et conditionnée en seringues stériles à utilisation unique de 5 mL. La préparation des seringues a été réalisée à partir de 25 µg de LPS (Ultrapure LPS, *E.coli* 0111:B4, référence : tlrl-3pelps, InVivogen, Etats Unis) dilués dans du tampon phosphate salin (PBS, *phosphate buffered saline*), par le laboratoire de P. Germon (UMR 1282 Infectiologie et Santé Publique, INRA Centre Val de Loire, 37380 Nouzilly).

L'injection de la solution a été faite dans un quartier choisi sain pour chaque vache selon les conditions suivantes :

1. Un comptage en cellules somatiques inférieur à 120 000/mL de lait de mélange (quatre quartiers) dans la semaine précédant l'épreuve, données fournies par le laboratoire LIAL Massif Central (Aurillac, 15000).
2. Une absence macroscopique de pousse bactérienne après ensemencement de géloses sang de mouton (ThermoFisher Scientific®, États-Unis) avec une goutte de lait prélevé stérilement le matin de la veille de l'infusion, et incubées à 37°C pendant 24 heures (Annexe 7).
3. Un comptage en cellules somatiques du quartier inférieur à 100 000 mL, 12 heures avant épreuve, mesuré à l'aide d'un compteur cellulaire DCC DeLaval (DeLaval Corporate, Suède).

L'injection intra-mammaire du LPS a été réalisée par un trayeur d'Herbipôle formé, à l'aide d'une canule à trayon, en salle de traite, après décrochage de la dernière griffe (entre 08:21 et 08:40) et en présence d'un vétérinaire. Le trayeur réalisant l'infusion était celui en charge des traites pour toute la semaine d'observation. La procédure commençait par un nettoyage aseptique à l'alcool isopropylique à 70% de l'orifice du trayon, avant introduction de la canule, injection de la solution, puis massage de la base du trayon. La réalisation aseptique de la procédure a été vérifiée par bactériologie du lait du quartier infusé, selon le même protocole que décrit ci-dessus en 2., 12 et 24 heures après infusion.

Dans le cadre d'une étude menée en parallèle, les 14 vaches de l'étude ont également reçu une injection intramusculaire de sérum physiologique (0,9% de NaCl, 3mL/100kg), dans l'encolure, dans les 20 minutes suivant la sortie de traite le mercredi matin.

Les trois lots de vaches ont été constitués afin de faciliter les manipulations : quatre animaux ont été infusés le 6 février, cinq animaux le 27 février et cinq animaux le 20 mars 2019. Pendant les 24 heures suivant l'infusion, les animaux sont dit en challenge (statut "C"), alors qu'ils sont considérés hors challenge (statut "HC") dans les 24 heures précédant l'infusion.

C. Observations et mesures

1. Suivi du modèle inflammatoire : paramètres physiologiques et biochimiques

L'évolution de la réponse inflammatoire locale a été suivie à l'aide d'un comptage de cellules somatiques (CCS) dans le lait du quartier infusé (Yeiser et al., 2012). Sept prélèvements par animal ont été réalisés par l'ingénieur d'études de la station INRA Herbipôle (15190 Marcenat), selon le calendrier représenté en Figure 17 : de 24 heures avant à 48 heures après le challenge (T0) en sept points d'observation (T-24, T-17, T0, T7, T24, T31 et T48, T0 étant l'heure d'infusion du LPS). Les dosages ont été réalisés, après envoi des prélèvements à +4°C, par le laboratoire de P. Germon (UMR 1282 Infectiologie et Santé Publique, INRA Centre Val de Loire, 37380 Nouzilly).

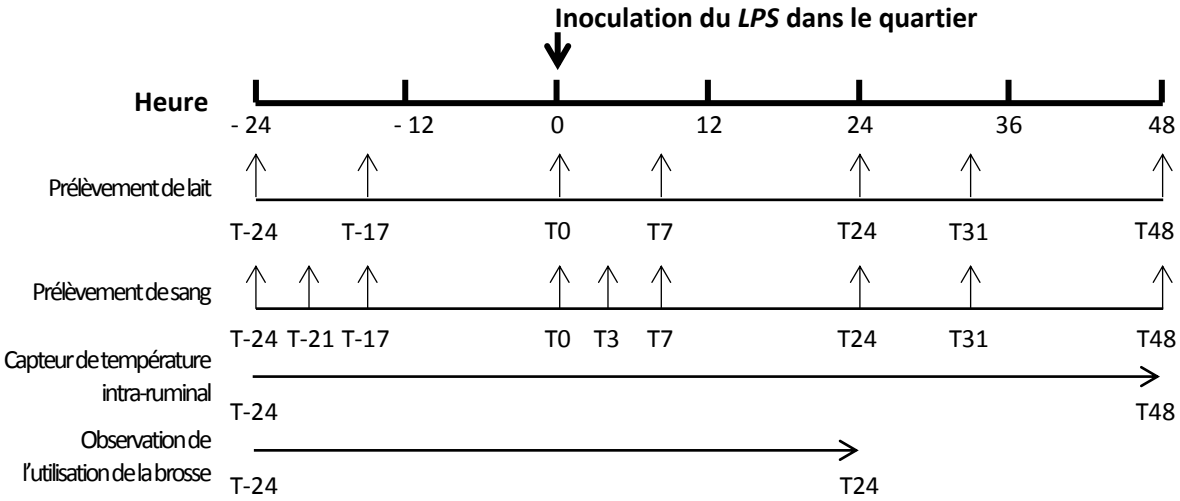


Figure 17. Calendrier des mesures et prélèvements

Pour caractériser l'évolution de la réponse de l'axe hypothalamo-hypophyso-cortico-surrénalien, neuf prélèvements de 5 mL de sang ont été réalisés par deux vétérinaires de T-24 à T+48 dans des tubes Na2-EDTA (Figure 17) de 24 heures avant à 48 heures après le challenge en neuf points d'observation (T-24, T-21, T-17, T0, T3, T7, T24, T31 et T48, T0 étant l'heure d'infusion du LPS). La concentration en cortisol a été déterminée par un dosage radio-immunologique au Laboratoire de Dosages Hormonaux de l'INRA (UMR-PRC, INRA Centre Val de Loire, 37380 Nouzilly). Les prélèvements ont été envoyés congelés à – 20°C.

Chaque vache était équipée d'un capteur de température placé dans le rumen, enregistrant la température ruminale toutes les 5 minutes (Capteur Sans'Phone® Large, Thermobolus®, NewMedria 35220 Chateaubourg, France). Les températures retenues ensuite pour l'analyse étaient celles

correspondant aux heures d'observation T-24, T-21, T-17, T0, T3, T7, T24, T31 et T48, en prenant l'heure d'infusion du LPS comme T0 individuel pour chaque vache.

2. Utilisation de la brosse : données comportementales

L'utilisation de la brosse a été enregistrée en continu du mardi 08:00 au jeudi 08:00 (soit 48 heures), à l'aide d'une caméra (SONY SPTM 128 CE avec objectif varifocal asservi 1.8-3.6mm, Sony, Japon) fixé à 3 mètres du sol en regard de la brosse. Les enregistrements ont été réalisés à l'aide de Media Recorder 2 (Noldus Information Technology, Pays Bas). La synchronisation de l'enregistrement vidéo avec l'heure universelle était vérifiée tous les jours à 16:45 par un technicien d'Herbipôle lorsque les vaches étaient absentes du parc pour la traite. Afin de conserver une bonne visibilité, un éclairage artificiel était maintenu à 50% de sa puissance maximale de 23:00 à 05:30, et à 100% de puissance de 05:30 à 23:00.

Afin d'identifier à tout moment les 28 vaches qui utilisaient la brosse dans le parc, dont les 14 vaches participant à l'étude, des numéros entre 1 et 28 ont été inscrits sur leur pelage au moyen d'une bombe de marquage de bestiaux (RAIDEX GmbH, Allemagne), de chaque côté de l'animal au niveau des épaules, du plat du dos et de la croupe (Figure 5). Le marquage était réalisé la veille de chaque semaine d'observation et renouvelé si nécessaire.

Les critères utilisés pour observer le comportement d'utilisation de la brosse étaient identiques à ceux utilisés dans la première partie expérimentale présentée dans ma thèse :

1. La vache se déplace vers la brosse en avançant ou en reculant puis s'immobilise à proximité.
2. Début de l'utilisation de la brosse : au premier contact entre la brosse et la vache.
3. La vache continue à utiliser la brosse si elle se frotte à la brosse ou se brosse en déclenchant sa rotation au niveau d'une des zones corporelles (Figure 6).
4. Fin de l'utilisation de la brosse : dès arrêt du contact entre la brosse et la vache ou arrêt de rotation de la brosse si la vache est toujours en contact avec la brosse sans se frotter.

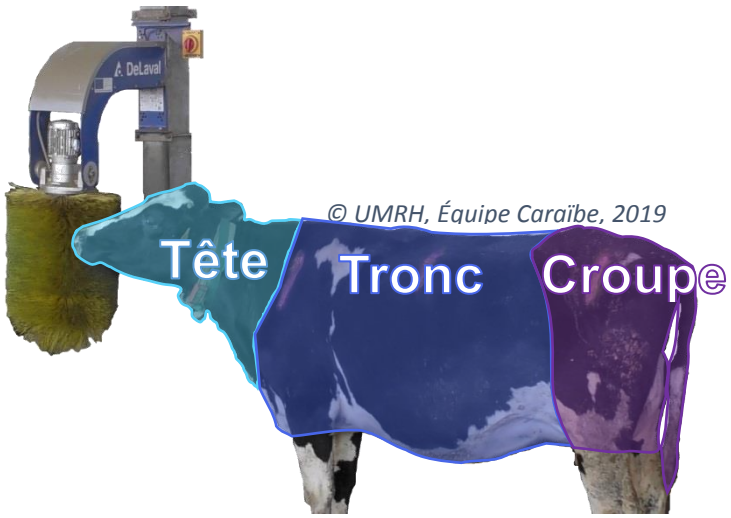


Figure 6 (rappel). Représentation des zones corporelles d'utilisation de la brosse.

Les zones corporelles d'utilisation de la brosse ont été définies à l'aide de reliefs osseux permettant de les identifier facilement sur l'enregistrement vidéo (Tableau VIII). La zone corporelle a été indiquée pour chaque utilisation de la brosse.

Tableau VIII (rappel). Définition des zones corporelles pour l'utilisation de la brosse par observation vidéo

Zone	Description de la zone
tête	De la pointe du mufle jusqu'en avant de la pointe de l'épaule.
tronc	Entre la pointe des épaules et la pointe des hanches.
croupe	De la pointe des hanches à la queue.
partout	La brosse n'est pas stabilisée à une zone unique pendant plus de deux secondes.

L'observation du comportement d'utilisation de la brosse a été effectuée à l'aide du logiciel The Observer XT 14 (Noldus Information Technology, Pays Bas), en continu sur 24 heures après challenge (*Behavior sampling by continuous recording)* (Martin, Bateson, 2007).

D. Variables d'étude

Pour valider le modèle inflammatoire de la mamelle, des paramètres physiologiques comme le comptage cellulaire somatique (CCS, nombre de cellules /mL) (Yeiser et al., 2012), et la température ruminale (°C) (Radostits et al., 2003), ainsi que biochimique, avec la teneur en cortisol plasmatique (ng/mL) (Schwinn et al., 2016), ont été suivis de 24 heures avant à 48 heures après le challenge en 9 points d'observation (T-24, T-21, T-17, T0, T3, T7, T24, T31 et T48, T0 étant l'heure d'infusion du LPS).

Le comportement d'utilisation de la brosse a été décrit tout d'abord à l'aide de paramètres décrivant l'utilisation sur la journée, pour chaque animal :

- Durée d'utilisation (min/24h) : cumul des durées d'utilisation pour une vache sur 24 heures,
- Nombre d'utilisations (nombre/24h) : cumul du nombre d'utilisations par une vache sur 24 heures,
- Durée d'utilisation pour chaque zone corporelle (min/24h) : cumul des durées d'utilisation de la brosse sur une zone par une vache sur 24 heures,
- Nombre d'utilisations pour chaque zone corporelle (nombre/24h) : cumul du nombre d'utilisations de la brosse sur une zone par une vache sur 24 heures,
- Taux d'utilisation de la brosse par zone (%), au niveau troupeau : moyenne obtenue à partir des durées cumulées d'utilisation au niveau de la zone divisées par la durée cumulée d'utilisation toutes zones confondues sur 72 heures pour chaque vache,

- Zone de début (%) : nombre de fois qu'un animal a débuté l'utilisation de la brosse par une zone corporelle donnée, c'est-à-dire la première zone corporelle en contact avec la brosse, divisé par le nombre total d'utilisations de la brosse sur une période de 72 heures,
- Durée par visite : durée en secondes entre le moment où une vache touchait la brosse et le moment où elle rompait le contact avec la brosse ou que la rotation de la brosse s'arrêtait
- Heure de début d'utilisation (format H:M:S), pour visualiser l'occupation de la brosse sur 24 h,
- Taux d'occupation de la brosse par le troupeau en nombre de secondes sur 15 minutes (%).

Chaque paramètre était évalué sur 24 heures et pour chaque statut ("HC" et "C"), série (1, 2 et 3), et individu (14 vaches identifiées par des numéros compris entre 1 et 28).

E. Analyse statistique

1. Analyse des paramètres biochimiques et physiologiques.

L'effet de la série sur les paramètres biochimique et physiologiques a été évaluée graphiquement par représentation de la moyenne par série des valeurs mesurées, en fonction du temps. Si un effet était visible graphiquement, il était rajouté en effet fixe dans les modèles.

L'effet du temps (en 9 points d'observation) sur les paramètres physiologiques (CCS et température) et biochimique (cortisol plasmatique), a été évalué par un modèle linéaire mixte en appliquant un facteur aléatoire animal et un second facteur fixe série.

2. Analyse des comportements.

Premièrement les données de comportement ont été normalisées à l'aide d'un logarithme décimal (i.e. durée, les durées nulles étant remplacée par le *half minimum*, c'est-à-dire la moitié de la plus petite valeur) ou une racine carrée (i.e. nombre d'utilisations). Puis, l'effet du challenge sur chaque variable décrivant le comportement a été évalué par un modèle linéaire mixte en appliquant un facteur fixe série et un facteur aléatoire animal.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel R 3.5.2. Les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du package ggplot2 et les modèles linéaires avec lme4 : fonction lmer, la significativité du paramètre fixe est prise si t value est supérieure à 2 et si l'intervalle de confiance à 95% ne comprend pas la valeur 0 (Bates et al., 2015). La normalité des résidus et la distribution aléatoire des effets ont été vérifiées visuellement par des graphiques des résidus, et des graphiques quantile-quantile des résidus.

II. Résultats

Les résultats ont été établis suite à l'observation de l'ensemble des 14 vaches inclues dans l'étude, sur deux fois 24 heures consécutives, à l'aide de deux enregistrements vidéo. Il a été nécessaire de définir des périodes d'étude, car des interventions nécessaires à l'étude dans le parc des vaches observées leur empêchait l'accès à la brosse. Les périodes d'études ainsi obtenues sont indiquées dans le Tableau XVI. Pour chaque période de 24 heures d'enregistrement vidéo, les observations ont donc été réalisées sur une période de 17,32 heures.

Tableau XVI. Heures de début et de fin de chaque période d'observation comportementale sur une journée, *excluant les périodes pendant lesquelles les 14 vaches étaient bloquées au cornadis ou en traite.*

Heure de début	Heure de fin	Durée de la période d'observation (min)	
10:24	11:52	88	
12:24	16:06	222	
19:20	07:11	729	
		Total (min) 1039	*Soit 17,32 heures*

Toutes les données comportementales, physiologiques et biochimiques ont pu être inclues dans l'analyse, sauf une valeur manquante de dosage de cortisolémie sur 126 valeurs attendues. Sur les 28 vaches présentes dans le parc, 4 ont présenté des comportements de chaleurs pendant les observations, sur des jours où elles n'étaient pas elle-même observées.

A. Évaluation du modèle d'inflammation mammaire

1. Température ruminale et signes cliniques

A T0, la température ruminale moyenne était de 39,44 ± 0,47 °C (moyenne ± écart-type). Elle a atteint un pic à T7, visible sur la Figure 18, en atteignant en moyenne 40,49 ± 0,83 °C. La température ruminale était donc significativement plus élevée aux temps T3, T7 et T24, comparé au temps T-24.

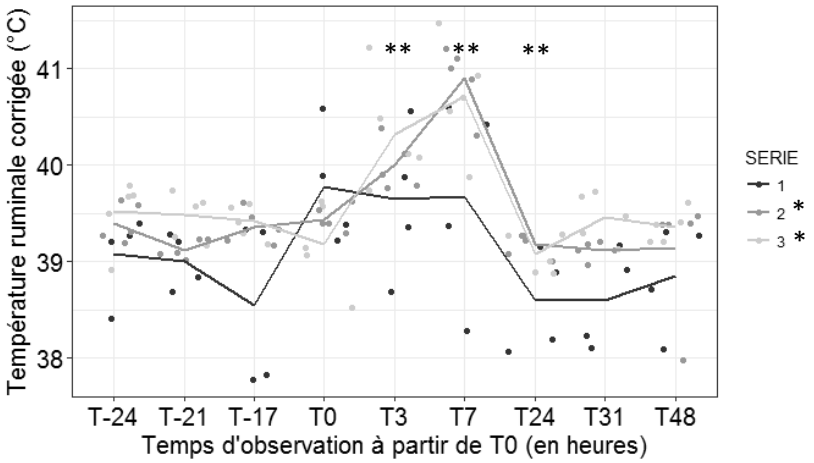


Figure 18. Température ruminale (°C) individuelle (points) et moyenne (courbes) par série d'observation*, série 1 (n = 4 vaches, en noir), série 2 (n = 5 vaches, en gris), et série 3 (n = 5 vaches, en gris clair), pour 14 vaches ayant subi une inflammation mammaire à T0 par infusion 25 µg de LPS d'E. coli, en fonction du temps. * et ** : |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte.*

La température ruminale moyenne du troupeau a été significativement différente en série 1 par rapport aux autres séries, comme le montre le test de comparaison des moyennes (Annexe 8).

Les examens cliniques réalisés à T3, T7 et T24 ont révélé une induration et une augmentation de la température du quartier infusé pour chaque vache soumise au challenge. La modification du quartier n'a pas persisté au-delà de 24 heures après challenge.

2. Examen macroscopique et bactériologique du lait de quartier

L'examen macroscopique du lait issu des premiers jets a montré la présence de grumeaux dans le lait du quartier de toutes les vaches soumises au challenge, à toutes les traites suivant le challenge (soit à T7, T24, T31 et T48). L'examen bactériologique du lait des quartiers enflammés a révélé pour toutes les vaches une absence bactéries dans le lait des quartiers infusés.

3. Cortisolémie

La teneur en cortisol plasmatique était de 27,25 ± 8,01 (moyenne ± écart-type) ng/mL à T0, et de 72,14 ± 26,15 ng/mL à T3. La Figure 19 montre le pic de cortisol plasmatique, significativement plus élevé à T3 par rapport à T-24 avant induction de l'inflammation. La réponse n'est pas différente d'une série à l'autre à T0. Les paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte sont donnés en Annexe 8.

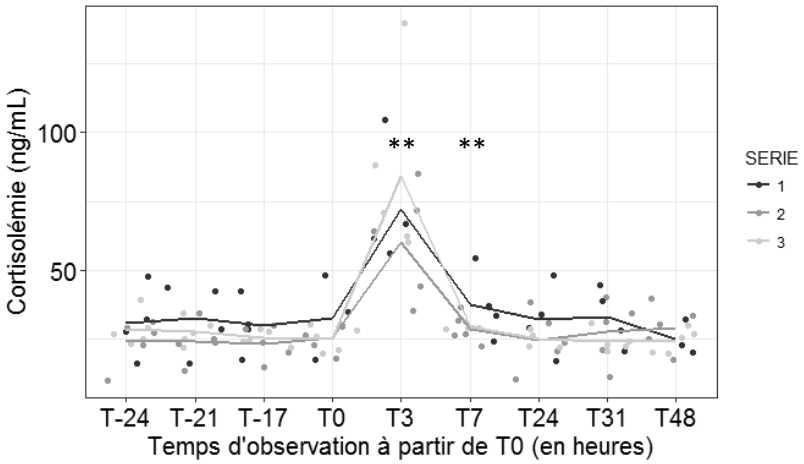


Figure 19. Cortisolémie (ng/mL) individuelle (points) et moyenne (courbes) par série d'observation*, série 1 (n = 4 vaches, en noir), série 2 (n = 5 vaches, en gris), et série 3 (n = 5 vaches, en gris clair), pour 14 vaches ayant subi une inflammation mammaire à T0 par infusion 25 µg de LPS d'E. coli, en fonction du temps. ** |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte.*

4. Comptage de cellules somatiques (CCS)

À T0, immédiatement avant inflammation des quartiers, le comptage en cellules somatiques dans le lait du quartier choisi était en moyenne de $1{,}94.10^4 \pm 2{,}08.10^4$ cellules/mL (moyenne ± écart-type). A T7, le CCS était significativement supérieur à celui au temps T0 pour les 3 séries, atteignant un pic ($1{,}94.10^7 \pm 0{,}78.10^7$ cellules/mL) visible sur la Figure 20. La réponse à T0 n'était pas différente d'une série à l'autre. Les paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte sont donnés en Annexe 8.

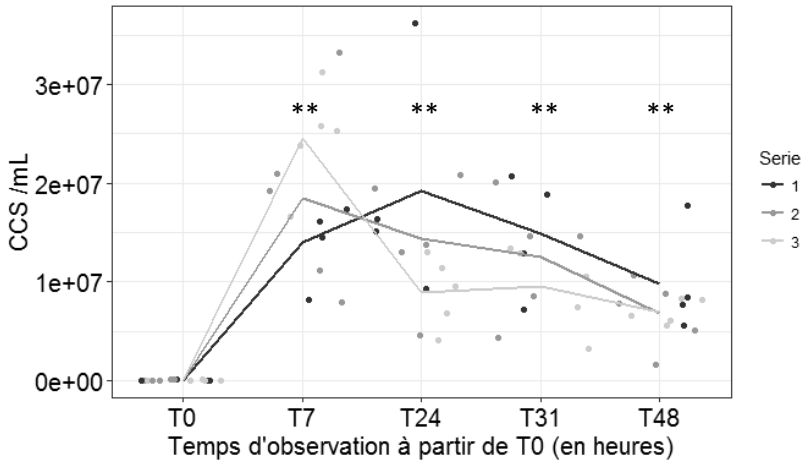


Figure 20. Comptage en cellules somatiques (/mL), individuel (points) et moyen (courbes) pour 14 vaches, par série d'observation*, série 1 (n = 4 vaches, en noir), série 2 (n = 5 vaches, en gris), et série 3 (n = 5 vaches, en gris clair), dans le lait du quartier enflammé à T0 par infusion de 25 µg de LPS d'E. coli, en fonction du temps. ** |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte.*

B. Utilisation de la brosse avant et après challenge

1. Taux d'occupation de la brosse

Le taux d'occupation de la brosse par le troupeau dans les 24 heures précédant l'inflammation expérimentale de la mamelle était de 4,97 %, soit 51 minutes sur 17,32 heures. Après challenge, le taux d'occupation de la brosse était de 7,53 %, ce qui représente 1h et 18 minutes d'utilisation pendant les 17,32 heures pendant lesquelles la brosse était accessible.

2. Durées et nombre d'utilisations de la brosse

La Figure 21 représente la distribution des durées d'utilisation, nombres d'utilisations, et durées par visite avant et après challenge.

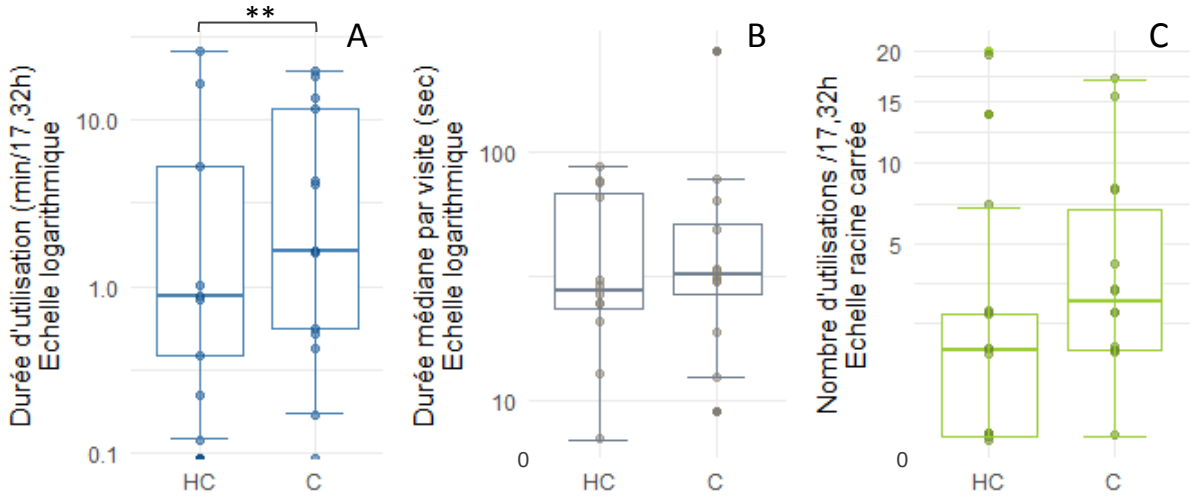


Figure 21. Diagrammes en boite de la durée cumulée d'utilisation en min/17,32h (A), de la durée par visite en secondes (B) et du nombre d'utilisations sur 17,32 heures (C) *d'une brosse automatique, avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire chez 14 vaches laitières. ** |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte.*

Dans les 24 heures avant challenge, les vaches ont utilisé la brosse entre 0 et 20 fois, avec des durées par visites allant de 0,07 secondes à 15,00 secondes (Tableau XVII). Après challenge, les vaches sont allées de 0 à 17 fois à la brosse, pour des visites de 0,10 à 9,13 secondes. La valeur médiane de la durée d'utilisation de la brosse par jour était de 0,30 minutes dans les 24 heures précédant le challenge, et de 1,63 minutes dans les 24 heures après le challenge. L'utilisation de la brosse, décrite par la durée cumulée d'utilisation, a augmenté significativement dans les 24 heures après inflammation de la mamelle (le Tableau XVIII résume les paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte). La durée par visite et le nombre d'utilisations sur 24 heures n'étaient pas différents pour les vaches avant et après challenge. La série n'avait d'effet sur aucune des variables utilisées à T0. Les Annexe 9 et Annexe 10 présentent respectivement les paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes pour la durée par visite et le nombre d'utilisations sur 17,32 heures.

Tableau XVII. Quartiles et valeurs extrêmes de la durée cumulée d'utilisation (min/17,32h) et du nombre d'utilisations par 17,32h de la brosse selon le statut, ainsi que de la durée par visite (sec) *pour 14 vaches laitières observés 24 heures avant (statut HC) et 24 heures après (statut C) inflammation mammaire par vidéo.*

	Statut	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
Durée d'utilisation (min/17,32h)	HC	0	0	0,30	0,98	26,23
	C	0	0,53	1,63	9,81	19,65
Nombre d'utilisations / 17,32h	HC	0	0	1	2	20
	C	0	1	3	7	17
Durée par visite (sec)	HC	4	15	34	87	900
	C	6	14	34	93	548

Tableau XVIII. Paramètres[a,b,c] estimés issus du modèle linéaire mixte de la durée d'utilisation de la brosse *[log10(sec/17,32h)] pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation.*

		Intervalle de confiance		
Effets fixes : coefficients du modèle	**Estimate**	**2,50%**	**97,50%**	**t**
Intercept (HC, Série 1)	1,30	0,41	2,19	2,71
C	0,84	0,05	1,62	2,16
Série 2	-0,24	-1,33	0,86	-0,40
Série 3	-0,19	-1,28	0,91	-0,32
Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
Animal	0,49	0,00	0,98	
Résidus	1,03	0,71	1,38	

[a] *Code saisi dans R : lmer (log10(Durée d'utilisation) ~ Statut + Série d'observation + (1| animal))*
[b] *Une valeur absolue de t supérieure à 2 indique que le paramètre estimé est significatif (Bates et al., 2015).*
[c] *Exemple : la valeur médiane avant challenge était de 0,30 min/17,32h. Après challenge, la durée d'utilisation a été significativement multipliée par $10^{0,84}$ [`$10^{0,05}$; $10^{1,62}$] (IC à 95%) : la valeur médiane après challenge est de 2,08 min/17,32h avec un intervalle de confiance pour cette augmentation de [0,34 ; 12,51].*

3. Utilisation de la brosse par zone corporelle

3.1. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle

L'utilisation de la brosse au niveau de la zone "Tête" par l'ensemble du troupeau, représentait 50,1% du temps d'utilisation de la brosse avant challenge et 66,3 % après inflammation de la mamelle

(Tableau XIX). Le temps d'utilisation à la croupe était de 4,6 % avant et 17,3 % après challenge. Sur l'ensemble des utilisations de la brosse, les vaches n'ont jamais débuté l'utilisation de la brosse par la croupe avant challenge, alors qu'après challenge 10,4 % des utilisations ont commencé par la croupe.

Tableau XIX. Taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle *pour 14 vaches laitières observées par vidéo pendant 17,32 heures avant et après inflammation expérimentale de la mamelle.*

	Statut	Tête	Tronc	Croupe	Partout
Taux d'utilisation de la brosse (% ± SE)	HC	50,1 (± 12,4)	9,5 (± 4,0)	4,6 (± 4,6)	0,0 (± 0,0)
	C	66,3 (± 10,5)	9,0 (± 3,1)	17,3 (± 7,0)	0,27 (± 0,3)
Zone de début (%)	HC	96,0	4,0	0,0	-
	C	83,6	6,0	10,4	

Zone de début : zone utilisée pour débuter le brossage. (HC) avant et (C) après inflammation de la mamelle. SE : Standard Error, erreur standard. Partout : la vache n'a pas stabilisé la brosse à une zone corporelle précise : la brosse tourne entre les zones Tronc et Croupe.

3.2. Durée d'utilisation de la brosse pour chaque zone corporelle

Les durées d'utilisation de la brosse à la tête et à la croupe ont significativement augmenté dans les 24 heures après induction de l'inflammation mammaire par rapport aux 24 heures précédant l'inoculation, la série d'observation étant sans effet sur la durée d'utilisation (les paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte sont donnés dans le Tableau XX). Il n'y a pas de différence significative du temps de brossage au niveau du tronc. L'Annexe 9 présente les paramètres estimés issus du modèle linéaire mixte pour la durée d'utilisation au niveau du tronc.

Tableau XX. Paramètres[a,b,c] estimés issus du modèle linéaire mixte de la durée d'utilisation de la brosse au niveau de la tête et au niveau de la croupe *(log10[sec/17,32h]) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation.*

			Intervalle de confiance		
Tête	**Effets fixes : coefficients du modèle**	**Estimate**	**2,50%**	**97,50%**	**t**
	Intercept (HC, Série 1)	1,02	0,14	1,90	2,15
	C	0,75	0,04	1,46	2,14
	Série 2	-0,11	-1,21	1,00	-0,18
	Série 3	0,11	-1,00	1,21	0,18
	Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
	Animal	0,59	0,00	1,03	
	Résidus	0,93	0,64	1,31	
Croupe	**Effets fixes : coefficients du modèle**		**2,50%**	**97,50%**	
	Intercept (HC, Série 1)	-1,44	-2,71	-0,17	-2,10
	C	1,42	0,27	2,56	2,49
	Série 2	0,03	-1,53	1,58	0,03
	Série 3	-0,52	-2,07	1,04	-0,62
	Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
	Animal	0,65	0,00	1,37	
	Résidus	1,51	1,04	2,00	

[a] Code saisi dans R : lmer (log10(Durée d'utilisation) ~ Statut + Série d'observation + (1| animal))
[b] Une valeur absolue de t supérieure à 2, ou un intervalle de confiance à 95% ne contenant pas zéro, indiquent que le paramètre estimé est significatif (Bates et al., 2015).
[c] Exemple pour la tête : la valeur médiane avant challenge était de 0,25 min/17,32h. Comparé à la période avant challenge, la durée d'utilisation a été significativement multipliée par $10^{0,75}$ [$10^{0,04}$; $10^{1,46}$] (IC à 95%) après challenge : la valeur médiane après challenge est de 1,41 min/17,32h avec un intervalle de confiance pour cette augmentation de [0,27 ; 7,21].

La Figure 22 résume la distribution de la durée d'utilisation de la brosse pour chaque zone corporelle, avant et après challenge.

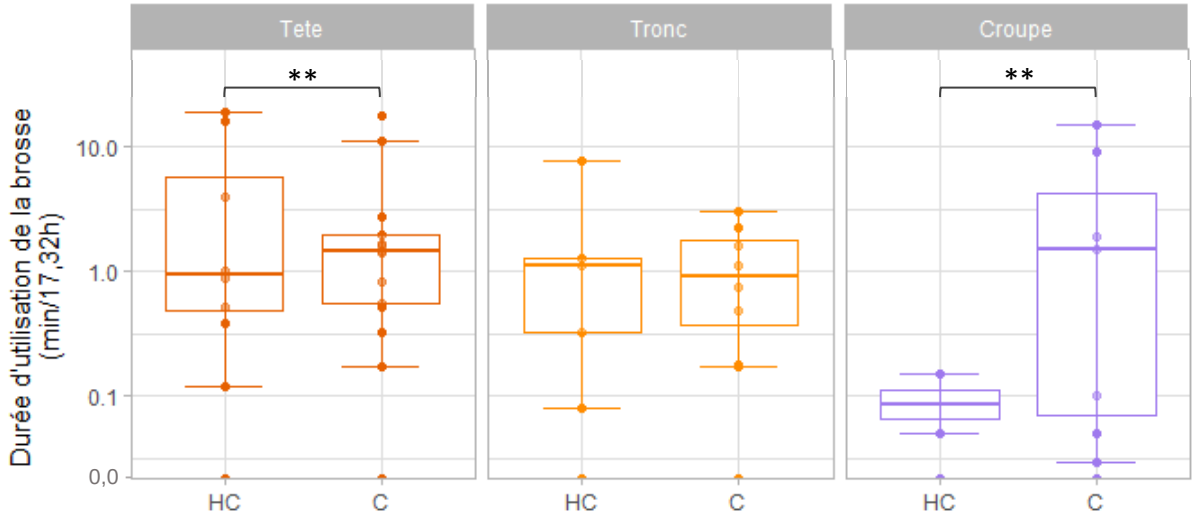


Figure 22. Diagrammes en boîte de la durée d'utilisation de la brosse (min/17,32h) au niveau de chaque zone corporelle avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire *chez 14 vaches. ** |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte.*

La Figure 23 présente les variations de la durée d'utilisation de la brosse pour chaque individu ; aucun point n'apparaît lorsque la vache ne s'est pas brossée au niveau de la zone correspondante ce jour-là. On peut ainsi voir que la durée d'utilisation de la brosse au niveau de la tête augmente pour six vaches entre le jour avant et le jour après challenge. Après challenge, les vaches identifiées par les numéros 11, 15 et 25 se sont brossées à la tête et à la croupe alors qu'elles ne s'étaient pas brossées dans les 24 heures avant challenge. Une minorité de vaches se sont brossées moins longtemps après qu'avant challenge, par exemple la vache portant le numéro 10.

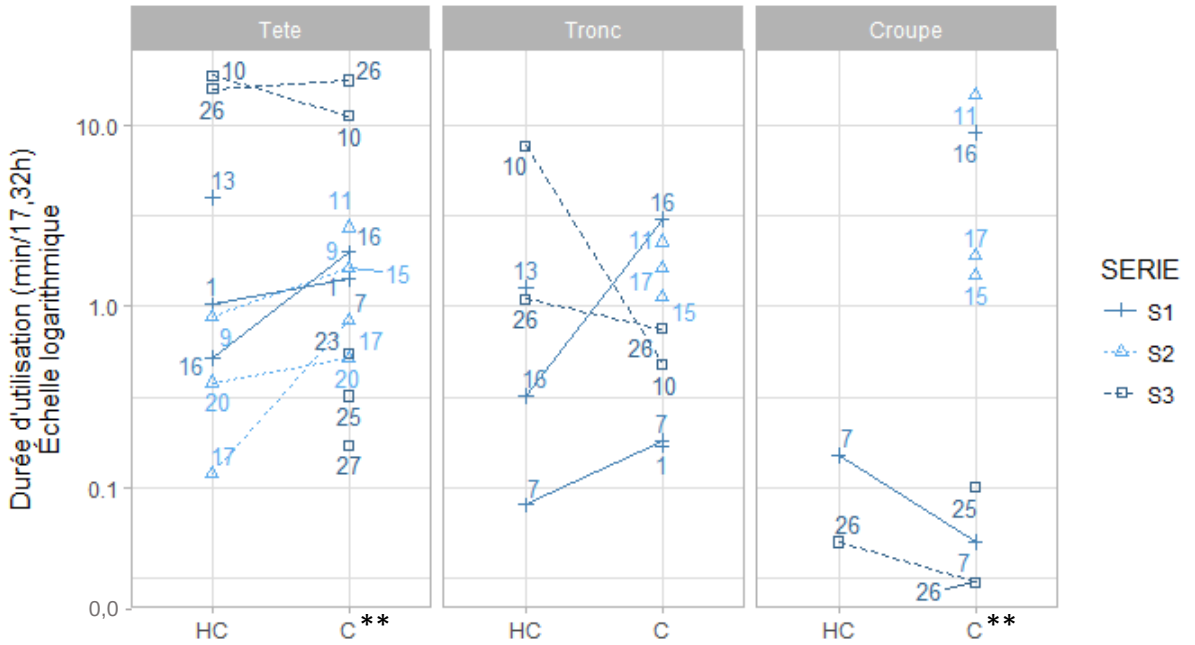


Figure 23. Durée d'utilisation de la brosse par zone corporelle, avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire *chez 14 vaches laitières observées en 3 séries d'observations. Les lignes relient les valeurs avant et après challenge d'une même vache. ** |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte.*

3.3. Nombre d'utilisations de la brosse pour chaque zone corporelle

Sur la Figure 24 on voit que les vaches identifiées par les numéros 11 et 16 se sont brossées plus souvent après challenge, tandis que les vaches 10 et 26 ont moins utilisé la brosse.

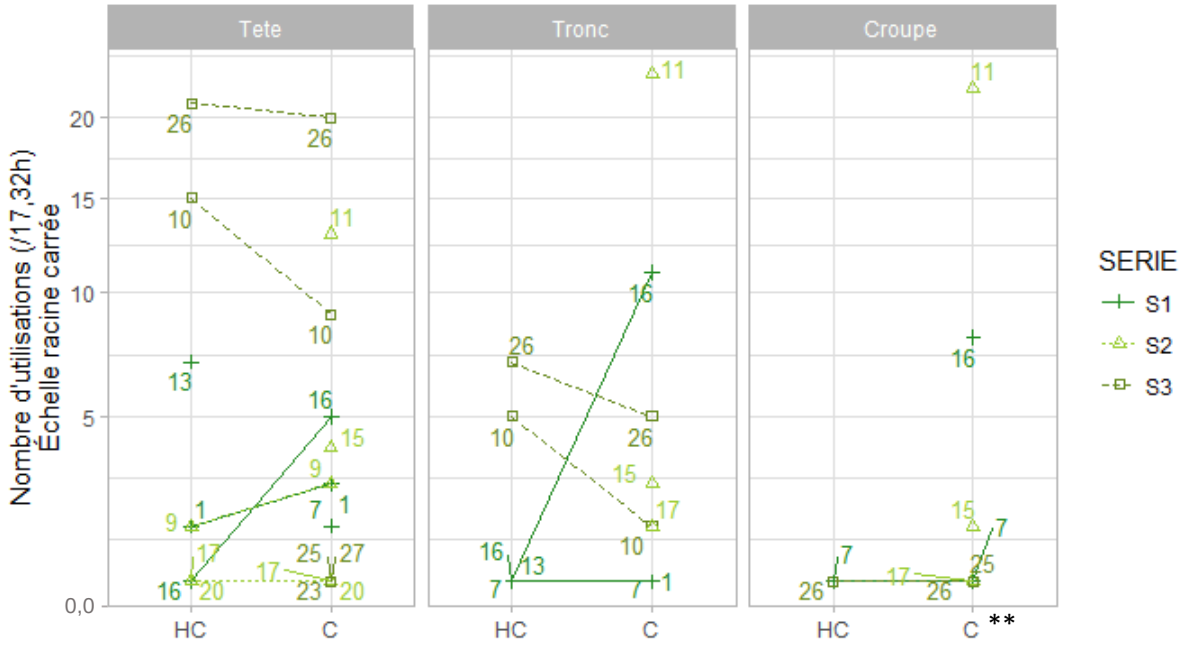


Figure 24. Nombre d'utilisations de la brosse par zone corporelle, avant (HC) et après (C) induction d'une inflammation mammaire *chez 14 vaches laitières observées en 3 séries d'observations. Les lignes relient les valeurs avant et après challenge d'une même vache. ** |t|>2 pour le paramètre estimé issu du modèle mixte*

Dans les 24 heures suivant l'induction de l'inflammation mammaire, le nombre d'utilisations de la brosse à la croupe augmente significativement (Tableau XXI). Il n'y a pas de différence du nombre d'utilisations pour les autres zones corporelles, ni entre les 3 séries d'observation.

Tableau XXI. Paramètres[a,b,c] estimés issus du modèle linéaire mixte du nombre d'utilisations de la brosse au niveau de la croupe *(sqrt[/17,32h]) pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation.*

		Intervalle de confiance		
Effets fixes : coefficients du modèle	**Estimate**	**2,50%**	**97,50%**	**t**
Intercept (HC, Série 1)	0,21	-0,55	0,98	0,51
C	0,78	0,06	1,50	2,09
Série 2	0,11	-0,80	1,01	0,22
Série 3	-0,30	-1,21	0,60	-0,61
Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
Animal	0,25	0,00	0,78	
Résidus	0,99	0,74	1,26	

[a] Code saisi dans R : lmer (sqrt(Nombre d'utilisations) ~ Statut + Série d'observation + (1| animal))
[b] Une valeur absolue de t supérieure à 2, ou un intervalle de confiance à 95% ne contenant pas zéro, indiquent que le paramètre estimé est significatif (Bates et al., 2015).
[c] Exemple : la valeur médiane avant challenge était de 1 utilisation /17,32h. Après challenge, le nombre d'utilisations a été significativement augmenté, la valeur médiane étant de 3,17 utilisations [1,12 ; 6,25] (IC 95%) /17,32h. Ces valeurs ont été calculées à l'aide de la formule suivante : $y = (\varepsilon + \sqrt{x})^2$*, où* y *est l'estimation faite par le modèle,* ε *le paramètre estimé, et* x *le nombre d'utilisations de la brosse dans les 24 h avant challenge.*

DISCUSSION

Le premier objectif de mon étude était d'évaluer la capacité d'un outil de localisation temps-réel, commercialisé sous le nom CowView (GEA Farm Technologies, Allemagne), associé à un accéléromètre détectant les mouvements de la brosse, pour suivre le comportement d'utilisation de la brosse de 27 vaches laitières. L'observation vidéo m'a tout d'abord permis de décrire l'utilisation de la brosse dans ce troupeau sur trois fois 24 heures d'observation. La comparaison des valeurs obtenues par observation vidéo aux valeurs obtenues avec l'outil a montré que l'outil permettait de détecter l'utilisation de la brosse, mais qu'il surestimait la durée d'utilisation et surtout le nombre d'utilisations sur 24 heures, que ce soit zone corporelle par zone corporelle ou sans distinction des zones. La zone détectée avec le plus de précision était la tête.

Le second objectif de mon travail était d'étudier l'effet de l'inflammation de la mamelle sur la durée journalière, la durée par visite et le nombre d'utilisations de la brosse automatique caractérisant un comportement de toilettage autocentré, en détaillant les valeurs pour chaque zone corporelle chez 14 vaches laitières. L'inflammation de la mamelle a été obtenue par l'injection de 25 µg de LPS (Ultrapure LPS, *E.coli* 0111 :B4, InVivogen, Etats Unis) dans un quartier choisi. Le suivi de la réponse inflammatoire liée au modèle a montré une augmentation significative du comptage en cellules somatiques dans le lait du quartier inflammé, de la température ruminale, et de la cortisolémie avec un pic 3 à 7 heures après l'injection. L'injection de LPS d'*E. coli* dans un quartier de la mamelle a donc permis de reproduire chez 14 vaches laitières la réponse biologique associée à une mammite, sans inoculation de germe vivant.

L'observation du comportement de toilettage a montré que dans les 24 heures suivant l'inflammation de la mamelle, les vaches utilisaient la brosse significativement plus longtemps, en particulier à la croupe et dans une moindre mesure à la tête. Le nombre cumulé d'utilisations était significativement augmenté à la croupe. J'ai donc mis en évidence une modification du comportement d'utilisation de la brosse après inflammation expérimentale de la mamelle, notamment au niveau de la croupe et de la tête.

Protocole des études : constitution des échantillons

L'échantillon de la première partie expérimentale a été constitué de vaches disponibles au moment de l'étude, et non par un tirage au sort qui lui aurait permis d'être représentatif de l'espèce. Les vaches observées étaient en 1ère à 6ème lactation, avec une majorité de vaches en 1ère ou 2ème lactation, et toutes des femelles. L'état de santé des vaches n'a pas été évalué par un vétérinaire pendant la semaine d'observations. Or le comportement d'utilisation de la brosse peut varier avec le stade de lactation et l'âge (Mandel, Nicol, 2017), le sexe des individus (Mooring et al., 1998) ou leur état de santé (Mandel et al., 2017). La caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse

réalisée à partir de l'observation des 27 vaches de l'échantillon ne peut donc pas être généralisée à l'ensemble de l'espèce.

Pour la seconde étude, l'échantillon d'étude était homogène en race (Prim'Holstein), parité (primipares) et niveau de production. Le groupe était socialement stable (absence d'introduction et de sortie dans le mois précédant le début de l'étude). Ces choix ont permis de s'affranchir de l'effet de de facteurs, tels que l'âge, susceptibles d'influencer le comportement d'utilisation de la brosse (Mandel, Nicol, 2017). Initialement, nous souhaitions nous affranchir de l'influence possible des chaleurs sur l'utilisation de la brosse (vaches gestantes ou en phase lutéale) ; malheureusement, 4 vaches étaient en chaleur dans le parc au moment des observations. Bien que ces vaches n'aient pas été observées pendant leur période de chaleurs, leur présence a pu perturber l'expression du comportement d'utilisation de la brosse par d'autres vaches du parc en les chassant de la brosse, ainsi que la détection des mouvements de la brosse en provocant des déplacements de groupe qui bousculaient la brosse.

Enfin, les vaches observées pour les deux études n'étaient pas les mêmes. La caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse faite lors de la première étude ne pouvait donc pas être utilisée pour évaluer les comportements des vaches de la seconde étude.

La taille des échantillons, de 28 et 14 individus, était comparable à celle utilisée dans les travaux de Fitzpatrick et al. (2013), 24 individus, et Siivonen et al. (2011), 6 individus, deux études décrivant également le comportement de vaches après induction expérimentale d'une inflammation mammaire. Compte-tenu de la méthode d'observation en direct nécessaire pour décrire précisément le comportement du troupeau, à raison de 1,2 heures de visionnage pour 1 heure de vidéo, cette taille d'échantillon était le meilleur compromis pour pouvoir observer les animaux pendant 72 heures consécutives pour la première, et trois fois 48 heures pour la seconde étude. Pour réaliser une caractérisation du comportement à l'échelle de la race, il faudrait réaliser un échantillon issu d'un tirage au sort aléatoire parmi une population de Prim'Holstein issues de différents élevages, en équilibrant les stades physiologiques et les rangs de lactation, et réaliser les observations sur une durée de plusieurs semaines en continu.

Protocole des études : qualité des données

J'ai observé les vaches sur trois jours en continu pour la première étude, et sur un jour avant challenge et le jour du challenge pour la seconde étude. Ces durées d'observations m'ont permis une observation précise, par vidéo, des comportements, mais la caractérisation que j'en ai fait n'était peut-être pas représentative de l'utilisation de la brosse par la vache à long terme. Le comportement d'utilisation de la brosse est fugace, exprimé seulement quelques minutes par jour (Tableau I), et très variable d'un jour sur l'autre pour un même animal (Mandel et al., 2013 ; Figure 11). La caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse requerrait une observation sur plusieurs semaines afin de reconnaître une utilisation typique pour un individu.

La définition du comportement d'utilisation de la brosse que j'ai développée et utilisée[1] pour mon travail reprend des éléments utilisés par d'autres auteurs : Toaff-Rosenstein et al. (2017) considèrent comme une utilisation tout contact physique avec la brosse et détaillent les zones corporelles et Newby et al. (2013) indiquent comme début d'utilisation le premier contact avec la brosse, et comme fin d'utilisation le fait que la vache s'écarte de la brosse. Mandel et al. (2013), ajoutent un critère de durée, en ne comptant comme utilisation que les événements de plus de 3 secondes si la rotation automatique de la brosse est mise en mouvement ; ils enregistrent également les cas où les vaches se frottent contre la brosse sans en déclencher la rotation. Ninomiya (2019) et De Vries et. al (2007) ne décrivent pas précisément leurs critères de début et de fin d'utilisation de la brosse. Différentes définitions existent donc, chacune avec des critères différents ; la définition que je propose se veut la plus précise possible pour rendre mes observations répétables, mais elle est peut-être trop stricte. En effet, définir l'arrêt d'une visite par l'interruption du contact avec la brosse implique de décrire deux visites distinctes alors que la vache s'est par exemple brièvement détournée de la brosse pour changer de position, mais reste motivée par l'accès à la brosse. La caractérisation systématique de l'utilisation de la brosse bénéficierait d'une définition commune à tous, précise et utilisable quel que soit le moyen d'observation et qui prenne en compte la signification de l'utilisation de la brosse pour l'animal pour donner un sens aux critères. On pourrait notamment proposer une durée minimale par visite, en deçà de laquelle l'animal ne fait que bousculer la brosse sans réelle motivation de l'utiliser, ou une durée minimale séparant deux visites, en deçà de laquelle une interruption du contact ne peut être considérée comme un arrêt de visite.

J'ai réalisé les observations comportementales à partir d'enregistrements vidéo en utilisant un logiciel spécialisé dans le relevé de comportements. L'avantage de cet outil est de systématiser la récolte de données comportementales (Zimmerman et al., 2009), le risque d'oubli et de fatigue est minimisé, et la possibilité de réduire la vitesse de lecture ou de rejouer des scènes en vidéo permet une précision à la seconde près. Cette méthode d'observation est donc particulièrement précise, et permet de comparer les données issues d'observations directes aux données issues de capteurs proposant une précision à la seconde. Cependant, un biais lié à l'observateur persiste. Pour le minimiser, il faudrait qu'un autre observateur observe au moins 1/3 des séquences vidéo afin de vérifier la fiabilité de l'observation.

Les enregistrements de début et de fin de comportement de façon automatisée ont été réalisés à l'aide de CowView (GEA Farm Technologies, Allemagne), un outil d'élevage de précision fonctionnant par localisation temps-réel et déjà utilisé par Meunier et al. (2017) pour la détection du

[1] Une vache était considérée comme utilisant la brosse dès-lors qu'elle s'immobilisait à proximité de la brosse et la touchait, puis s'y frottait ou en déclenchait la rotation, en détaillant la zone corporelle sur laquelle la brosse était utilisée. L'arrêt de l'utilisation de la brosse correspondait à un arrêt de contact ou un arrêt de la rotation automatique de la brosse si la vache restait immobile.

comportement d'utilisation de la brosse. Mandel et al. (2017) ajoutent à la détection de la vache à proximité de la brosse un système de détection de l'activation : lorsque la brosse se met en mouvement, un émetteur produit un signal infra rouge qui active les émetteurs d'identification des vaches. Le gain de précision est remarquable, plus aucune vache n'étant détectée si elle est simplement allongée à proximité de la brosse. Cependant, les utilisations de la brosse sans déclanchement de la rotation de celle-ci ne sont pas prises en compte, c'est-à-dire lorsque les vaches se frottent contre la brosse sans l'incliner. L'utilisation d'un accéléromètre fixé sur le pivot de la brosse permet d'en détecter les moindres mouvements, et donc d'identifier également des vaches qui se frottent à la brosse sans l'activer. La détection de l'utilisation de la brosse avec l'outil combiné utilisant CowView et un accéléromètre peut cependant être encore améliorée : des erreurs de détection de la localisation interrompent les événements d'utilisation de la brosse, augmentant donc artificiellement leur nombre. L'algorithme utilisé pour analyser les données brutes issues des capteurs peut donc encore être amélioré, par exemple en choisissant une durée entre événements en deçà de laquelle on peut considérer qu'il s'agit en fait du même événement.

Le modèle d'inflammation de la mamelle a permis d'obtenir une réponse biologique comparable à celle suivant une mammite clinique naturelle (pic de température ruminale et pic du comptage cellulaire dans le lait du quartier inflammé 7 heures après, modification de l'aspect du lait des premiers jets et induration avec chaleur du quartier infusé), et de façon sécurisée pour l'animal : j'ai vérifié l'absence de bactéries dans le quartier avant et après injection du LPS d'*E. coli*. La réponse clinique courte, avec un retour à la normale de la température ruminale dans les 24 heures, a permis de réaliser des observations comportementales sans prolonger outre mesure le mal-être des animaux observés. L'inconvénient de ce modèle réside dans le fait qu'il s'agit d'une maladie provoquée expérimentalement, les animaux ne subissent donc pas de phase prodromique. Pour aller plus loin dans la mise à profit de l'observation du comportement d'utilisation de la brosse, il faudrait réaliser les observations sur des animaux subissant des mammites spontanées pour décrire les éventuelles modifications précoces du comportement et ainsi accélérer la prise en charge des animaux malades.

Le suivi de la température corporelle des animaux a été faite à l'aide de bolus intra-ruminaux. L'avantage de cette méthode est de limiter les manipulations stressantes pour les animaux tout en ayant accès en temps-réel à la température ruminale. Nous avons ainsi observé une température ruminale moyenne de 39,44 ± 0,47 °C (moyenne ± SD) avant challenge. Cette valeur semble élevée pour des animaux sains, dont la température rectale devrait être comprise entre 38,00 et 39,00 °C. La différence que nous avons observée est due à la différence des méthodes de mesure de la température : la température ruminale serait en moyenne plus élevée de 0,57 ± 0,27 °C (moyenne ± SD) par rapport à une température rectale mesurée simultanément (Timsit et al., 2011).

Pour des raisons pratiques, l'expérience s'est déroulée en trois séries d'observations. Cela a introduit un biais lié à la série, que l'on peut expliquer par des changements de température dans le

bâtiment, une habituation des animaux aux manipulation effectuées, des vaches ayant été en chaleurs lors d'une semaine d'observation et pas les deux autres ou le changement de technicien réalisant l'injection de LPS dans la mamelle. On peut observer cet effet sur la température ruminale, qui est significativement différente entre la série 1 et les séries suivantes. Bien que n'ayant pas révélé d'effet significatif de la série à T0 sur la cortisolémie, le comptage en cellules somatiques dans le lait et les paramètres comportementaux, il est nécessaire de prendre en compte la série en effet fixe dans les modèles pour refléter la possibilité de biais lié à la série sur les paramètres physiologiques et biochimiques et l'expression du comportement.

Méthode d'analyse

J'ai choisi les indicateurs de durée cumulée d'utilisation sur 24 heures, de nombre cumulé d'utilisations sur 24 heures toutes zones corporelles confondues et en distinguant les zones, et de pourcentage d'utilisation par zone corporelle car ils sont utilisés dans quatre à six publications chacun (Tableau I ; Tableau II). Ils offrent en plus l'avantage d'être facilement calculables lorsqu'on dispose des heures de début et de fin des comportements. Les autres indicateurs que j'ai utilisés, le taux d'occupation de la brosse et la durée par visite de la brosse, me semblaient intéressants, d'une part pour évaluer la compétition à la brosse, et d'autre part pour décrire l'utilisation de la brosse de façon plus détaillée au niveau individuel. D'autres indicateurs auraient pu être utilisés : la durée entre deux utilisations, la probabilité d'utilisation de la brosse par jour ou la durée d'utilisation dans l'heure précédant ou suivant un événement.

J'ai réalisé l'évaluation des performances de l'outil "CV+AC" à l'aide de la méthode proposée par Bland, Altman (1986) : par exemple, le logarithme de la durée d'utilisation de la brosse sur 24 heures obtenue par observation vidéo pour une vache un jour donné est soustrait au logarithme de la durée indiquée par l'outil "CV+AC" pour cette vache ce jour-là. Une fois toutes les différences calculées, on en détermine la moyenne et l'écart-type. Ainsi, pour la durée d'utilisation de la brosse sur 24 heures à la tête, la moyenne des différences est de 0,014 log10[secondes], tandis qu'à la zone "tronc+croupe" elle est de 0,368 log10[secondes]. La première valeur est plus proche de 0 que la seconde, on peut donc dire que l'outil détecte avec plus de précision la durée d'utilisation à la tête par rapport à l'arrière-train. Toaff-Rosenstein et al. (2017), qui évaluent la possibilité d'utiliser un système de détection RFID pour détecter l'utilisation de la brosse par des vaches, fournissent une sensibilité et une spécificité, qu'ils calculent en comparant les événements d'utilisation de la brosse détectés par l'outil et ceux déterminés par observation vidéo, seconde par seconde. J'ai choisi de ne pas procéder ainsi ; en effet, une précision à la seconde n'a pas de signification à l'échelle de la vache, et on n'atteint même pas cette précision par observation vidéo. La méthode que j'ai employée semble mieux décrire les performances de l'outil.

Caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse sans et avec capteur

Pour le lot de vaches que j'ai observé, la durée cumulée d'utilisation sur 24 heures était de 1,22 (0,83 ; 5,23) [médiane (1er quartile ; 3ème quartile)] minutes le premier jour, 1,67 (0,43 ; 3,95) minutes le deuxième et 2,40 (1,21 ; 4,6) minutes le troisième jour. Ces résultats sont comparables aux 1,24 minutes décrites par Mandel et al. (2017), mais plus basses que les durées annoncées par DeVries et al. (2007) et Ninomiya (2019), respectivement de 6,76 et 9,08 minutes par jour, et très inférieures aux 16,80 minutes données par Toaff-Rosenstein et al. (2017). De même, le nombre d'utilisations de la brosse par 24 heures que j'ai pu observer était de 2 à 3 selon le jour, alors que DeVries et al. (2007) et Meunier et al. (2017) en comptent 7,71 et 6,60 respectivement. Ninomiya (2019) en annonce 1,23 par heure, ce qui ferait 29,52 utilisations sur 24 heures. Là encore, les valeurs données par la littérature sont plus élevées que celles que j'ai obtenues. Les résultats de Ninomiya étant publiés sur une heure et non 24h, il est difficile de les comparer aux résultats des autres études. J'ai également observé une forte variabilité entre les animaux du lot que j'ai observé, les durées d'utilisation ayant pu aller jusqu'à 43,52 minutes sur 24 heures pour une vache, alors que d'autres vaches n'ont pas utilisé la brosse une seule fois pendant cette période. Dans les publications citées précédemment, à l'exception de celle de Mandel et al. (2017), comme dans mon étude le comportement a été observé directement par vidéo. La forte différence observée entre les résultats que j'ai obtenus et ceux présentés par les autres études pourraient s'expliquer premièrement par une infestation parasitaire, Ninomiya (2019) et DeVries (2007) n'ayant pas spécifié avoir traité les animaux avant le début de leurs observations. En revanche, Toaff-Rosenstein et al. (2017) ont traité tous les animaux avec un antiparasitaire externe.

Une deuxième explication pourrait être une forte variabilité individuelle, due soit au rang hiérarchique des animaux, mon hypothèse étant que les animaux les plus bas dans la hiérarchie iraient moins souvent à la brosse ou iraient l'utiliser à des heures plus calmes, soit à leur personnalité, une notion qui n'a pas encore été beaucoup documentée chez les vaches. Neave et al. (2018) explorent la relation entre tempérament (Réale et al., 2007) et comportement de prise alimentaire : les veaux notés « exploratoires et actifs » semblaient vivre un sevrage plus régulier et manger de plus grandes quantités de concentrés que les veaux notés comme « vocalisant beaucoup et inactifs ». Foris et al. (2018) identifient deux traits de comportement chez des bovins adultes, l'activité et la témérité, et en évaluent l'effet sur le comportement exploratoire des vaches. Il semblerait en outre que la composition du groupe ait une influence sur l'expression individuelle du comportement (Foris et al., 2018). Il serait donc intéressant d'explorer les hypothèses de l'influence de la hiérarchie et de la personnalité des vaches sur leur utilisation de la brosse. Pour cette dernière, cela nécessiterait des observations répétées sur un groupe d'animaux afin d'estimer l'index de répétabilité du comportement (Roche et al., 2016).

La durée par visite est plus constante pour un animal donné et à l'échelle du troupeau : 50% des vaches se brossent entre 13 et 55 secondes avant de perdre le contact avec la brosse, et cette

distribution est comparable d'un jour sur l'autre. À ma connaissance, la durée d'une visite à la brosse n'avait pas été chiffrée jusqu'à maintenant.

La brosse était occupée pour des durées de 1h30 à 2h15 par jour, mais certaines périodes de la journée pouvaient être préférées à d'autres par les vaches, deux vaches ayant utilisé simultanément la brosse entre 16h et 20h. Mandel et al. (2013) décrivent un pic d'utilisation à 18h, et Zobel et al. (2017) remarquent que l'utilisation de la brosse par des veaux augmente aux heures de repas et en particulier après le repas de 15:00, ce qui semble confirmer que la brosse est davantage utilisée l'après-midi, en lien avec une repousse d'aliment. Il peut donc y avoir de la compétition à la brosse à certaines heures alors que son taux d'occupation est faible sur la journée.

Le calcul du taux d'utilisation de la brosse par zone corporelle, montre une préférence des vaches pour la "tête" (comprenant la tête et l'encolure de l'animal), avec jusqu'à 62,5% du temps de brossage. La croupe est légèrement plus brossée que le tronc. La prédominance de la tête et de l'encolure se retrouve dans les résultats obtenus par DeVries et al. (2007), Toaff-Rosenstein et al. (2017) et Ninomiya (2019), contrairement à ceux de l'étude de De Oliveira et al. (2015), qui relèvent 11,0 % d'utilisation à la tête et 18,0 % à l'encolure, contre 55,0% d'utilisation à la croupe. La séquence de brossage décrite par De Oliveira et al. (2015), avec une majorité d'utilisations commençant à la tête, pour se poursuivre sur le reste du corps, ressemble en revanche à celle que j'ai observée.

L'outil combinant la localisation à l'aide de CowView (GEA Farm Technologies, Allemagne) à la détection des mouvements de la brosse par un accéléromètre, détectait les visites avec une sensibilité de 92,77 % et une valeur prédictive positive de 46,57 %. La sensibilité que j'ai obtenue avec cet outil est donc meilleure que celle obtenue par les études précédentes, la plus élevée (88,00 % SD 12,00 %) ayant été obtenue par Toaff-Rosenstein, Velez et Tucker (2017). En revanche, la valeur prédictive positive, que j'ai estimé sur les visites et non sur les secondes, est à peine plus élevée que les 41,00 % (SD 19,00 %) obtenus par Toaff-Rosenstein, Velez et Tucker (2017) et inférieure aux 60,00 % obtenus par Meunier et al. (2017). Le choix de comparer les visites plutôt que les secondes peut expliquer une valeur prédictive positive plus basse. En effet, le nombre de vrais positifs est alors compté à la même échelle que le nombre de faux positifs, quelle que soit leur durée, alors qu'en comparant seconde par seconde, il suffit que les visites bien détectées durent longtemps et les fausses détections soient de très courte durée pour augmenter le rapport en faveur de la VPP. On ne peut donc pas comparer les VPP de la littérature à celle que j'ai obtenue. Cela n'est pas le cas de la sensibilité, qui est calculée à partir des vrais positifs et des faux négatifs, qui représentent tous les deux des nombres de visites réelles. Or la durée d'une visite est relativement constante, la sensibilité calculée à partir des secondes ne serait donc pas très différente de celle calculée à partir des visites.

D'après l'analyse des résultats à l'aide de la méthode de Bland et Altman (1986), l'outil annonçait entre 1 et 45 utilisations par jour lorsqu'en vidéo j'en observais entre 0 et 17. Les extrêmes des valeurs de la durée par visite était semblable entre les deux méthodes : de 1 à 1996 secondes

détectées par l'outil pour entre 2 et 1992 secondes observées par vidéo, mais la valeur médiane de la durée détectée par l'outil, de 9 secondes, était inférieure à la valeur médiane de la durée par visite observée par vidéo (27 secondes). Les valeurs médianes de la durée d'utilisation par 24 heures sont en revanche similaires, avec entre 2,72 et 3,03 min/24 heures détectées par l'outil et 1,22 à 2,40 min/24 heures observées par vidéo. Il semble donc que l'outil fractionnait la détection des utilisations de la brosse, mais avec des coupures très brèves n'altérant que peu la durée d'utilisation cumulée sur la journée. A l'échelle individuelle, l'outil identifiait les vaches portant les numéros 24, 1 et 11 comme des vaches utilisant le plus longtemps la brosse, et les vaches identifiées par les numéros 8, 23, 16, 4 et 13 comme se brossant peu. On retrouve la même répartition par observation vidéo : l'outil a donc réussi à identifier les vaches fortes et faibles utilisatrices de la brosse. Enfin, la comparaison des durées et nombres d'utilisations de la brosse en fonction des zones corporelles, montre que la durée d'utilisation de la brosse sur 24 heures à la "Tête" est multipliée par 1,03 ± 2,62, contre 1,49 ± 2,60 pour la zone "Tête+Tronc" et 2,34 ± 3,25 pour la zone "Tronc+Croupe". La "Tête" est donc la zone pour laquelle l'outil surestime le moins la durée d'utilisation sur 24 heures. Pour la zone "Tonc+Croupe" l'outil annonce 14 [6 ; 24] (IC 95%) utilisations au lieu de deux utilisations réelles sur 24 heures. Pour les autres zones, le nombre d'utilisations sur 24 heures est également supérieur lorsqu'il est détecté par l'outil. Le nombre d'utilisations est donc surestimé pour toutes les zones.

Le fractionnement des utilisations lors de la détection par l'outil peut s'expliquer par des erreurs de localisation de quelques secondes, qui peuvent survenir à cause des éléments en béton ou métal situés sur le trajet du signal émis par l'émetteur CowView vers les antennes réceptrices, comme le décrivent Meunier et al. (2017). Cela peut également expliquer la VPP de 46,57 % des utilisations détectées par l'outil. Les nombreux faux positifs peuvent être dus à des erreurs de localisation de vaches situées à proximité de la brosse mais ne l'utilisant pas, alors que la rotation de la brosse est activée par un congénère. Pour diminuer le nombre de faux positifs ainsi générés, il est nécessaire de restreindre d'avantage la zone de détection de l'utilisation de la brosse, ou d'optimiser la position des antennes et des émetteurs sur l'encolure des vaches pour éviter au maximum les obstacles sur le trajet du signal. On remarque d'ailleurs que la zone de la tête et de l'encolure, au sommet de laquelle est fixée l'émetteur CowView, est la zone détectée par l'outil avec le plus de précision.

Mon premier objectif pour l'utilisation de l'outil associant la localisation des vaches à la détection des mouvements de la brosse, était de systématiser la détection du comportement d'utilisation de la brosse afin d'en détecter les variations, et peut-être permettre de donner l'alerte sur l'état de santé des vaches dans un élevage équipant ses vaches avec le système CowView. L'outil multiplie légèrement les durées d'utilisation par jour, une relation linéaire permettant de retrouver les durées réelles d'utilisation. En revanche, il donne un résultat inutilisable pour le nombre d'utilisations. Au vu des défauts et des qualités de l'outil, il serait donc possible d'étudier une variation de durée d'utilisation mais pas la fréquence d'utilisation de la brosse.

Caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse : variation en cas d'inflammation mammaire

L'observation comparée de l'utilisation de la brosse avant et après induction expérimentale d'une inflammation mammaire a donné peu de résultats significatifs : seulement 4 indicateurs sur 9 possibles varient fortement. Peut-être la façon d'utiliser la brosse est-elle trop individu-dépendante, sensible à la personnalité des vaches : la réponse en cas de pathologie pourrait varier différemment pour des vaches aux tempéraments différents, par exemple une vache au tempérament actif et sociable pourrait d'avantage utiliser la brosse en situation de mal-être, alors qu'une vache ayant un profil d'évitement et d'inactivité restera d'avantage couché et isolé. Une autre explication serait que le toilettage n'a été observé qu'au travers de l'utilisation de la brosse, et qu'il faudrait prendre en compte tous les types de toilettages autocentrés (Toaff-Rosenstein et al., 2016).

La littérature rapportait des baisses d'utilisation de la brosse en cas de maladie : lors de métrites ou de boiteries spontanées chez des vaches, Mandel et al. (2017 ; 2018) montrent une diminution de la durée d'utilisation de la brosse, de 3,4 fois moins dans le cas des boiteries. De même, des bovins jeunes ou adultes soumis à une infection des voies respiratoires diminuent l'expression de leur comportement de toilettage (Hixson et al., 2018 ; Toaff-Rosenstein et al., 2016). Je m'attendais donc à une baisse de l'utilisation de la brosse en cas de mammite. Or la durée d'utilisation de la brosse dans la journée après challenge est multipliée par 6,87, avec une augmentation flagrante au niveau de la croupe, où le temps d'utilisation est multiplié par 26,07. Peut-être le rapport entre le bénéfice apporté par l'utilisation de la brosse et le coût demandé par l'utilisation permet-il d'expliquer les différences observées entre les pathologies : dans le cas du parasitisme externe, le toilettage plus fréquent (une augmentation de la charge en parasites externes multiplie par 1,4 le nombre d'épisodes de toilettage chez des impalas (Mooring et al., 1996)) procure un avantage dans la lutte contre la maladie et soulage l'animal. En revanche, en cas de boiterie, l'utilisation d'une brosse requiert à l'animal qu'il se déplace, ce qui engendre de la douleur. On peut donc émettre l'hypothèse que l'utilisation d'une brosse au niveau de la croupe soulage les vaches atteintes de mammite. Cette hypothèse rejoindrait les résultats d'une étude de l'effet de deux techniques de caudectomie sur le comportement de porcelets : après l'intervention, les porcelets ont tendance à se frotter l'arrière-train douloureux plus souvent que des porcelets n'ayant pas subi la caudectomie (Sutherland et al., 2008).

Perspectives d'études et d'application

Les résultats que je présente donnent de nouveaux exemples de caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse par un lot de vaches laitières. L'utilisation semble varier chez des vaches atteintes notamment d'une inflammation mammaire.

De futures recherches sur des comportement soumis à des variations en cas de mammite spontanée, tel que le comportement d'utilisation de la brosse, la durée de repos en position couchée ou la quantité d'aliment ingérée peuvent être envisagées pour explorer le comportement lors des

prodromes de la maladie, et peut-être découvrir des signes d'alerte permettant une prise en charge précoce. De plus, une étude sur un échantillon d'animaux représentatif de la population de vaches laitières françaises pourrait permettre de caractériser le comportement habituel d'utilisation de la brosse, afin de proposer une référence pour l'évaluation de la variation de ce comportement. Pour ce faire, il faudrait pouvoir observer des vaches de même stade physiologique, mais d'âge différent et élevées dans des structures différentes, sur une durée plus importante, rendant indispensable l'utilisation d'un capteur pour enregistrer ce comportement de façon automatisée. L'outil que j'ai étudié, formé par les deux capteurs, l'un localisant la vache, l'autre identifiant les mouvements de la brosse, doit encore être amélioré pour la réalisation d'une étude à grande échelle. Il est en effet nécessaire d'en améliorer la précision pour la détection d'une utilisation sans interruption, et de filtrer d'avantage les fausses détections d'utilisation.

Mes recherches ont montré que le suivi du comportement d'utilisation d'une brosse par des vaches laitières met en évidence une variation de ce comportement en lien avec une maladie provocant un inconfort important au niveau de la mamelle des vaches. L'étude de ce comportement pourrait donc être un argument supplémentaire dans l'évaluation du bien-être des animaux d'élevage. Enfin, l'augmentation de l'utilisation de la brosse par les vaches atteintes d'inflammation mammaire, indiquerait que l'utilisation de la brosse apporte du confort aux vaches, notamment en cas de maladie. Cela signifie que l'ajout d'une brosse dans l'environnement des vaches contribue de façon significative à l'augmentation de leur bien-être.

CONCLUSION

Mon premier objectif pour la réalisation de ce travail était d'estimer la capacité d'un outil, constitué d'un émetteur (CowView, GEA Farm Technologies, Allemagne) localisant les vaches en temps réel et d'un accéléromètre enregistrant les mouvements de la brosse, à détecter l'utilisation d'une brosse automatique. Les vaches se brossaient 2 à 3 fois par jour pour des durées d'utilisations journalières de 1,22 à 2,40 minutes, préférentiellement à la tête et à l'encolure. L'outil était performant pour détecter les durées d'utilisation journalières de la brosse, notamment au niveau de la tête, et permettait d'identifier les vaches particulièrement faibles ou fortes utilisatrices de la brosse. En revanche, il surestime le nombre de visites.

Mon second objectif était de suivre le comportement d'utilisation de la brosse par des vaches avant et après inflammation expérimentale de la mamelle. Or j'ai constaté une augmentation de la durée journalière de brossage, notamment à la croupe et à la tête, et une augmentation du nombre d'utilisations à la croupe dans la journée suivant l'inflammation de la mamelle. Il y a donc bien une modification du comportement d'utilisation de la brosse en cas d'inflammation mammaire.

Mon travail fournit de nouvelles données de caractérisation du comportement d'utilisation de la brosse, un comportement encore peu décrit. Je propose un outil connecté permettant d'automatiser le suivi de ce comportement pour de futures études, qui pourraient se faire à de plus grandes échelles temporelles et avec des échantillons plus grands. L'outil mérite d'être encore amélioré pour affiner la détection du nombre de visites. Enfin, la modification du comportement d'utilisation de la brosse en cas d'inflammation mammaire montre le bénéfice à installer des brosses dans les élevages pour le bien-être des vaches, et constitue une piste pour inclure ce comportement dans le suivi quotidien des animaux afin de, peut-être, détecter plus précocement les maladies.

BIBLIOGRAPHIE

ALTMANN, J., 1974. Observational Study of Behavior: Sampling Methods. *Behaviour*. Vol. 49, n° 3/4, p. 227‑267.

ARAVE, C.W. et ALBRIGHT, J.L., 1981. Cattle behavior. *Journal of Dairy Science*. Vol. 64, n° 6, p. 1318‑1329. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(81)82705-1.

BAREILLE, N., BEAUDEAU, F., BILLON, S., ROBERT, A. et FAVERDIN, P., 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science*. Vol. 83, n° 1, p. 53‑62. DOI 10.1016/S0301-6226(03)00040-X.

BARRETT, J.J., HOGAN, J.S., WEISS, W.P., SMITH, K.L. et SORDILLO, L.M., 1997. Concentrations of α-Tocopherol After Intramammary Infusion of Escherichia coli or Lipopolysaccharide1. *Journal of Dairy Science*. Vol. 80, n° 11, p. 2826‑2832. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(97)76247-7.

BATES, D., MÄCHLER, M., BOLKER, B. et WALKER, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*. Vol. 67, n° 1, p. 1‑48. DOI 10.18637/jss.v067.i01.

BLAND, J.M. et ALTMAN, D.G., 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. Vol. 327, n° 8476, p. 307‑310. DOI 10.1016/S0140-6736(86)90837-8.

BOLINGER, D.J., ALBRIGHT, J.L., MORROW-TESCH, J., KENYON, S.J. et CUNNINGHAM, M.D., 1997. The Effects of Restraint Using Self-Locking Stanchions on Dairy Cows in Relation to Behavior, Feed Intake, Physiological Parameters, Health, and Milk Yield1, 2. *Journal of Dairy Science*. Vol. 80, n° 10, p. 2411‑2417. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(97)76193-9.

BRAGHIERI, A., PACELLI, C., GIROLAMI, A. et NAPOLITANO, F., 2011. Time budget, social and ingestive behaviours expressed by native beef cows in Mediterranean conditions. *Livestock Science*. Vol. 141, n° 1, p. 47‑52. DOI 10.1016/j.livsci.2011.05.001.

CAMPAN, R. et SCAPINI, F., 2002. *Ethologie : approche systémique du comportement*. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université. Ouvertures psychologiques. ISBN 2-8041-3765-1.

DE BOYER DES ROCHES, A., FAURE, M., LUSSERT, A., HERRY, V., RAINARD, P., DURAND, D. et FOUCRAS, G., 2017. Behavioral and patho-physiological response as possible signs of pain in dairy cows during Escherichia coli mastitis: A pilot study. *Journal of Dairy Science*. Vol. 100, n° 10, p. 8385‑8397. DOI 10.3168/jds.2017-12796.

DELAVAL SA. Présentation de produits : Farm actuel - Automne 2015 [en ligne]. p. 14. [Consulté le 28 juin 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.delaval.com/fr-ch/a-propos-de-delaval/fr-ch/farm-actuel/.

DE OLIVEIRA, D., FRANKO, M.A. et KEELING, L.J., 2015. A sequential analysis of body regions and body positions during mechanical brush use by dairy cattle. Communication présentée à la *Third Dairycare Conference*. Zadar, Croatia. 6 octobre 2015.

DEVRIES, T.J., VANKOVA, M., VEIRA, D.M. et VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2007. Short Communication: Usage of Mechanical Brushes by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. Vol. 90, n° 5, p. 2241‑2245. DOI 10.3168/jds.2006-648.

DOWN, P.M., GREEN, M.J. et HUDSON, C.D., 2013. Rate of transmission: A major determinant of the cost of clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 10, p. 6301‑6314. DOI 10.3168/jds.2012-6470.

EKESBO, I. et GUNNARSSON, S., 2018. *Farm Animal Behaviour : characteristics for assessment of health and welfare*. 2. Wallingford, Royaume Uni : CABI. ISBN 978-1-78639-139-1.

ESSLEMONT, R.J. et KOSSAIBATI, M.A., 1997. Culling in 50 dairy herds in England. *Veterinary Record*. Vol. 140, n° 2, p. 36‑39. DOI 10.1136/vr.140.2.36.

Etude Agrinaute 2018: équipements et usages des agriculteurs sur internet [en ligne]. Étude Agrinautes 2018 réalisée par BVA pour Terre-net Média et Hyltel. [Consulté le 28 juin 2019]. Disponible à l'adresse : http://fichiers.hyltel.fr/PDF/AGRINAUTES_2018.pdf.

FITZPATRICK, C.E., CHAPINAL, N., PETERSSON-WOLFE, C.S., DEVRIES, T.J., KELTON, D.F., DUFFIELD, T.F. et LESLIE, K.E., 2013. The effect of meloxicam on pain sensitivity, rumination time, and clinical signs in dairy cows with endotoxin-induced clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 5, p. 2847‑2856. DOI 10.3168/jds.2012-5855.

FOGSGAARD, K. K., RØNTVED, C. M., SØRENSEN, P. et HERSKIN, M. S., 2012. Sickness behavior in dairy cows during Escherichia coli mastitis. *Journal of Dairy Science*. Vol. 95, n° 2, p. 630‑638. DOI 10.3168/jds.2011-4350.

FOGSGAARD, K.K., BENNEDSGAARD, T.W. et HERSKIN, M.S., 2015. Behavioral changes in freestall-housed dairy cows with naturally occurring clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*. Vol. 98, n° 3, p. 1730‑1738. DOI 10.3168/jds.2014-8347.

FORIS, B., ZEBUNKE, M., LANGBEIN, J. et MELZER, N., 2018. Evaluating the temporal and situational consistency of personality traits in adult dairy cattle. *PLoS ONE* [en ligne]. Vol. 13, n° 10. [Consulté le 11 septembre 2019]. DOI 10.1371/journal.pone.0204619. Disponible à l'adresse : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6166944/.

FOURICHON, C., SEEGERS, H., BAREILLE, N. et BEAUDEAU, F., 2001. Estimation des pertes et de l'impact économiques consécutifs aux principaux troubles de santé en élevage bovin laitier. Communication présentée aux *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*. Centre des Congrès de La Villette, Paris : INRA, UMR Gestion de la Santé Animale. 5 - 6 décembre 2001. p. 137‑143.

FRANCOZ, D. et COUTURE, Y., 2014. *Manuel de médecine des bovins*. Paris : Editions Méd'com. ISBN 978-2-35403-186-2.

GEA FARM TECHNOLOGIES GMBH, Allemagne. Présentation du produit : GEA CowView : Innovative Health and Fertility Management. [en ligne]. Allemagne. [Consulté le 9 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.gea-cowview.com/.

GEARY, U., LOPEZ-VILLALOBOS, N., BEGLEY, N., MCCOY, F., O'BRIEN, B., O'GRADY, L. et SHALLOO, L., 2012. Estimating the effect of mastitis on the profitability of Irish dairy farms. *Journal of Dairy Science*. Vol. 95, n° 7, p. 3662‑3673. DOI 10.3168/jds.2011-4863.

GOMEZ, A. et COOK, N.B., 2010. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *Journal of Dairy Science*. Vol. 93, n° 12, p. 5772‑5781. DOI 10.3168/jds.2010-3436.

HART, B.L., 1988. Biological basis of the behavior of sick animals. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. Vol. 12, n° 2, p. 123‑137. DOI 10.1016/S0149-7634(88)80004-6.

HART, B.L., 2000. Role of Grooming in Biological Control of Ticks. *Annals of the New York Academy of Sciences*. Vol. 916, n° 1, p. 565‑569. DOI 10.1111/j.1749-6632.2000.tb05337.x.

HART, B.L., HART, L.A., MOORING, M.S. et OLUBAYO, R., 1992. Biological basis of grooming behaviour in antelope: the body-size, vigilance and habitat principles. *Animal Behaviour*. Vol. 44, n° 4, p. 615‑631. DOI 10.1016/S0003-3472(05)80290-8.

HIXSON, C.L., KRAWCZEL, P.D., CALDWELL, J.M. et MILLER-CUSHON, E.K., 2018. Behavioral changes in group-housed dairy calves infected with Mannheimia haemolytica. *Journal of Dairy Science*. Vol. 101, n° 11, p. 10351‑10360. DOI 10.3168/jds.2018-14832.

HORVATH, K.C. et MILLER-CUSHON, E.K., 2019. Characterizing grooming behavior patterns and the influence of brush access on the behavior of group-housed dairy calves. *Journal of Dairy Science*. Vol. 102, n° 4, p. 3421‑3430. DOI 10.3168/jds.2018-15460.

HOUPT, K.A., 2011. Aggression and Social Structure. *Domestic Animal Behavior for Veterinarians and Animal Scientists*. Singapour : Wiley-Blackwell. p. 34. ISBN 978-0-8138-1676-0.

JOHNSON, R.W., 2002. The concept of sickness behavior: a brief chronological account of four key discoveries. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. Vol. 87, n° 3, p. 443‑450. DOI 10.1016/S0165-2427(02)00069-7.

KAKUMA, Y., TAKEUCHI, Y., MORI, Y. et HART, B.L., 2003. Hormonal control of grooming behavior in domestic goats. *Physiology & Behavior*. Vol. 78, n° 1, p. 61‑66. DOI 10.1016/S0031-9384(02)00942-3.

KOHARI, D., KOSAKO, T., FUKASAWA, M. et TSUKADA, H., 2007. Effect of environmental enrichment by providing trees as rubbing objects in grassland: Grazing cattle need tree-grooming. *Animal Science Journal*. Vol. 78, n° 4, p. 413‑416. DOI 10.1111/j.1740-0929.2007.00455.x.

KOHARI, D., SATO, S. et NAKAI, Y., 2009. Does the maternal grooming of cattle clean bacteria from the coat of calves? *Behavioural Processes*. Vol. 80, n° 2, p. 202‑204. DOI 10.1016/j.beproc.2008.11.003.

MANDEL, R., HARAZY, H., GYGAX, L., NICOL, C.J., BEN-DAVID, A., WHAY, H.R. et KLEMENT, E., 2018. Short communication: Detection of lameness in dairy cows using a grooming device. *Journal of Dairy Science*. Vol. 101, n° 2, p. 1511‑1517. DOI 10.3168/jds.2017-13207.

MANDEL, R. et NICOL, C.J., 2017. Re-direction of maternal behaviour in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. Vol. 195, p. 24‑31. DOI 10.1016/j.applanim.2017.06.001.

MANDEL, R., NICOL, C.J., WHAY, H.R. et KLEMENT, E., 2017. Short communication: Detection and monitoring of metritis in dairy cows using an automated grooming device. *Journal of Dairy Science*. Vol. 100, n° 7, p. 5724‑5728. DOI 10.3168/jds.2016-12201.

MANDEL, R., WHAY, H.R., NICOL, C.J. et KLEMENT, E., 2013. The effect of food location, heat load, and intrusive medical procedures on brushing activity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 10, p. 6506‑6513. DOI 10.3168/jds.2013-6941.

MARTIN, P. et BATESON, P., 2007. *Measuring behaviour : An introductory guide*. 3. New York, U.S.A. : Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-53563-2.

MCCONNACHIE, E., SMID, A.M.C., THOMPSON, A.J., WEARY, D.M., GAWORSKI, M.A. et VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2018. Cows are highly motivated to access a grooming substrate. *Biology Letters* [en ligne]. Vol. 14, n° 8. [Consulté le 2 janvier 2019]. DOI 10.1098/rsbl.2018.0303. Disponible à l'adresse : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6127119/.

MEDRANO-GALARZA, C., GIBBONS, J., WAGNER, S., DE PASSILLÉ, A.M. et RUSHEN, J., 2012. Behavioral changes in dairy cows with mastitis. *Journal of Dairy Science*. Vol. 95, n° 12, p. 6994‑7002. DOI 10.3168/jds.2011-5247.

MEUNIER, B., DELVAL, E., CIRIE, C., RICHARD, M.M., PRADEL, P., GAUDRON, Y., LEDOUX, D. et VEISSIER, I., 2017. Automated measurement of dairy cow grooming behaviour from real time location system. Communication présentée à la *8. European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF)*. Nantes, France. 14 septembre 2017. p. 77‑83.

MEUNIER, B., PRADEL, P., SLOTH, K.H., CIRIÉ, C., DELVAL, E., MIALON, M.M. et VEISSIER, I., 2018. Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. *Biosystems Engineering*. Vol. 173, p. 32‑44. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2017.08.019.

MILNER, P., PAGE, K.L. et HILLERTON, J.E., 1997. The Effects of Early Antibiotic Treatment Following Diagnosis of Mastitis Detected by a Change in the Electrical Conductivity of Milk. *Journal of Dairy Science*. Vol. 80, n° 5, p. 859‑863. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(97)76008-9.

MILNER, P., PAGE, K.L., WALTON, A.W. et HILLERTON, J.E., 1996. Detection of Clinical Mastitis by Changes in Electrical Conductivity of Foremilk Before Visible Changes in Milk. *Journal of Dairy Science*. Vol. 79, n° 1, p. 83‑86. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(96)76337-3.

MOORING, M.S., GAVAZZI, A.J. et HART, B.L., 1998. Effects of castration on grooming in goats. *Physiology & Behavior*. Vol. 64, n° 5, p. 707‑713. DOI 10.1016/S0031-9384(98)00130-9.

MOORING, M.S. et HART, B.L, 1997. Self grooming in impala mothers and lambs: testing the body size and tick challenge principles. *Animal Behaviour*. Vol. 53, n° 5, p. 925‑934. DOI 10.1006/anbe.1996.0341.

MOORING, M.S., MCKENZIE, A.A. et HART, B.L., 1996. Grooming in impala: Role of oral grooming in removal of ticks and effects of ticks in increasing grooming rate. *Physiology & Behavior*. Vol. 59, n° 4, p. 965‑971. DOI 10.1016/0031-9384(95)02186-8.

MOUNIER, L., 2009. Comportement animal. Introduction à son observation chez les bovins. *Nouveau Praticien Vétérinaire Elevages et Santé*. Vol. 3, n° 12, p. 11‑16.

NEAVE, H.W., COSTA, J.H.C., WEARY, D.M. et VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2018. Personality is associated with feeding behavior and performance in dairy calves. *Journal of Dairy Science*. Vol. 101, n° 8, p. 7437‑7449. DOI 10.3168/jds.2017-14248.

NEWBY, N.C., DUFFIELD, T.F., PEARL, D.L., LESLIE, K.E., LEBLANC, S.J. et VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2013. Short communication: Use of a mechanical brush by Holstein dairy cattle around parturition. *Journal of Dairy Science*. Vol. 96, n° 4, p. 2339‑2344. DOI 10.3168/jds.2012-6016.

NINOMIYA, S., 2019. Grooming Device Effects on Behaviour and Welfare of Japanese Black Fattening Cattle. *Animals*. Vol. 9, n° 4, p. 186. DOI 10.3390/ani9040186.

RADOSTITS, O.M., GAY, C.C., BLOOD, D.C. et HINCHCLIFF, K.W., 2003. *Veterinary Medicine : A Textbook of the Diseases of Cattle, Sheep, Pigs, Goats and Horses*. 9. Édimbourg, Écosse : Saunders Elsvier. ISBN 0-7020-2604-2.

RÉALE, D., READER, S.M., SOL, D., MCDOUGALL, P.T. et DINGEMANSE, N.J., 2007. Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. Vol. 82, n° 2, p. 291‑318. DOI 10.1111/j.1469-185X.2007.00010.x.

ROCHE, D.G., CAREAU, V. et BINNING, S.A., 2016. Demystifying animal 'personality' (or not): why individual variation matters to experimental biologists. *Journal of Experimental Biology*. Vol. 219, n° 24, p. 3832‑3843. DOI 10.1242/jeb.146712.

SCHMIED, C., BOIVIN, X. et WAIBLINGER, S., 2008. Stroking Different Body Regions of Dairy Cows: Effects on Avoidance and Approach Behavior Toward Humans. *Journal of Dairy Science*. Vol. 91, n° 2, p. 596‑605. DOI 10.3168/jds.2007-0360.

SCHWINN, A.-C., KNIGHT, C.H., BRUCKMAIER, R.M. et GROSS, J.J., 2016. Suitability of saliva cortisol as a biomarker for hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation assessment, effects of feeding actions, and immunostimulatory challenges in dairy cows. *Journal of Animal Science*. Vol. 94, n° 6, p. 2357‑2365. DOI 10.2527/jas.2015-0260.

SIIVONEN, J., TAPONEN, S., HOVINEN, M., PASTELL, M., LENSINK, B.J., PYÖRÄLÄ, S. et HÄNNINEN, L., 2011. Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*. Vol. 132, n° 3, p. 101‑106. DOI 10.1016/j.applanim.2011.04.005.

SIMONSEN, H.B., 1979. Grooming behaviour of domestic cattle. *Nordisk Veterinaermedicin*. Vol. 31, n° 1, p. 1‑5.

SUTHERLAND, M.A., BRYER, P.J., KREBS, N. et MCGLONE, J.J., 2008. Tail docking in pigs: acute physiological and behavioural responses. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*. Vol. 2, n° 2, p. 292‑297. DOI 10.1017/S1751731107001450.

TIMSIT, E., ASSIÉ, S., QUINIOU, R., SEEGERS, H. et BAREILLE, N., 2011. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *The Veterinary Journal*. Vol. 190, n° 1, p. 136‑142. DOI 10.1016/j.tvjl.2010.09.012.

TOAFF-ROSENSTEIN, R.L., GERSHWIN, L.J. et TUCKER, C.B., 2016. Fever, feeding, and grooming behavior around peak clinical signs in bovine respiratory disease. *Journal of Animal Science*. Vol. 94, n° 9, p. 3918‑3932. DOI 10.2527/jas.2016-0346.

TOAFF-ROSENSTEIN, R.L., VELEZ, M. et TUCKER, C.B., 2017. Technical note: Use of an automated grooming brush by heifers and potential for radiofrequency identification-based measurements of this behavior. *Journal of Dairy Science*. Vol. 100, n° 10, p. 8430‑8437. DOI 10.3168/jds.2017-12984.

WEARY, D.M., HUZZEY, J.M. et VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2009. Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. *Journal of Animal Science*. Vol. 87, p. 770‑777. DOI 10.2527/jas.2008-1297.

WILSON, S.C., MITLÖHNER, F.M., MORROW-TESCH, J., DAILEY, J.W. et MCGLONE, J.J., 2002. An assessment of several potential enrichment devices for feedlot cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. Vol. 76, n° 4, p. 259‑265. DOI 10.1016/S0168-1591(02)00019-9.

YEISER, E.E., LESLIE, K.E., MCGILLIARD, M.L. et PETERSSON-WOLFE, C.S., 2012. The effects of experimentally induced Escherichia coli mastitis and flunixin meglumine administration on activity measures, feed intake, and milk parameters. *Journal of Dairy Science*. Vol. 95, n° 9, p. 4939‑4949. DOI 10.3168/jds.2011-5064.

ZIMMERMAN, P.H., BOLHUIS, J.E., WILLEMSEN, A., MEYER, E.S. et NOLDUS, L.P.J.J., 2009. The Observer XT: a tool for the integration and synchronization of multimodal signals. *Behavior Research Methods*. Vol. 41, n° 3, p. 731‑735. DOI 10.3758/BRM.41.3.731.

ZOBEL, G., NEAVE, H.W., HENDERSON, H.V. et WEBSTER, J., 2017. Calves Use an Automated Brush and a Hanging Rope When Pair-Housed. *Animals*. Vol. 7, n° 11. DOI 10.3390/ani7110084.

ANNEXES

Annexe 1. Brochure constructeur de la brosse rotative pivotante DeLaval SCB, DeLaval, Suède.

DeLaval

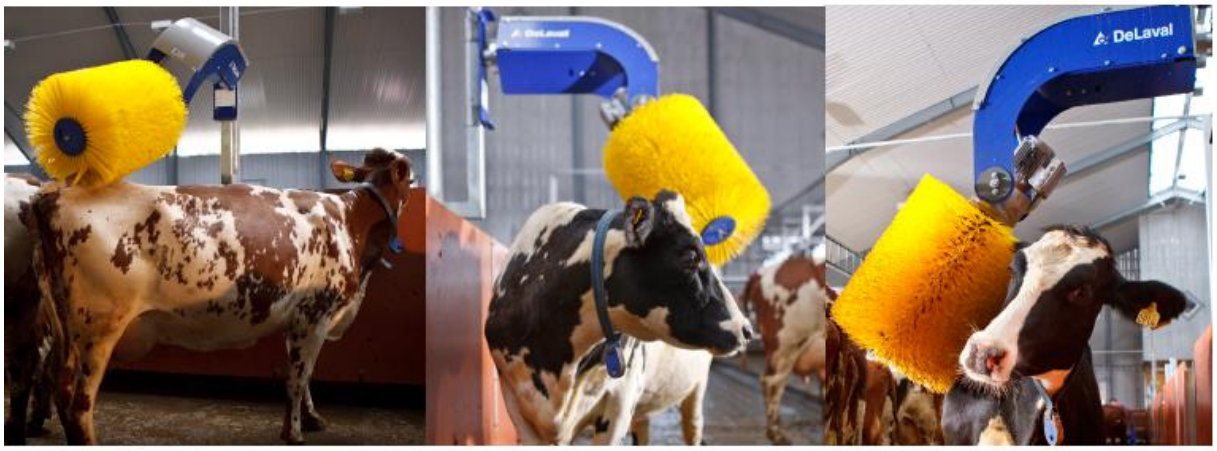
DeLaval snc
OMEGA PARC – Bât. 5
CS 40604
3 Boulevard Jean Moulin
F-78990 Elancourt
France
Téléphone : 01.30.81.81.82
www.delavalfrance.fr

DeLaval N.V.
Industriepark – Drongen 10
B-9031 Gent
Belgique
Téléphone : 09.280.9100
Télécopie : 09.280.9130
www.delaval.be

DeLaval SA
Case postale 553
CH-6210 Sursee
Suisse
Téléphone : 041.926.6611
Télécopie : 041.921.3876
www.delaval.ch

DeLaval Inc.
2020, Fisher Drive
Peterborough, ONT K9J 7B7
Canada
Téléphone : 705.741.3100
Télécopie : 705.741.3150
www.delaval.ca

www.delaval.com



Confort assuré
Avec la brosse SCB DeLaval, vous avez la garantie d'une brosse aux poils de bonnes longueurs et suffisamment fermes pour stimuler la circulation sanguine. Cela améliore la santé de vos animaux et leurs performances. Des recherches récentes ont d'ailleurs prouvé une baisse significative de mammites cliniques et jusqu'à un litre de lait en plus par jour pour des vaches utilisatrices de la brosse rotative pivotante SCB DeLaval (Source : Ynte H. Schukken and G. Douglas Young.) La brosse SCB DeLaval peut maintenir propres et en bonne santé jusqu'à 60 vaches, dans un environnement confortable.

Meilleure circulation des vaches
Un espace minimum est requis pour l'installation de la brosse rotative pivotante DeLaval, elle ne bloque donc pas la circulation des animaux. Bien au contraire, comme la brosse a beaucoup de succès, elle aide à améliorer le flux d'animaux. La brosse permet également que les vaches ne se grattent plus sur des surfaces pouvant être blessantes.

Sûre et performante
La brosse comporte une sécurité intégrée avec une protection contre les surcharges : elle tourne à une vitesse non agressive pour les vaches et s'arrête immédiatement lorsqu'une résistance survient. Une protection contre la surchauffe est également incluse ainsi qu'une protection IP55.

Facile à installer et à entretenir
La brosse rotative pivotante DeLaval est livrée pré-montée. Elle est facile à installer sur un mur ou sur un poteau. Son entretien est simple et le cylindre peut être rapidement enlevé pour être nettoyé ou remplacé en cas d'usure.

Economie d'énergie
Le dispositif de mise en service automatique à économie d'énergie actionne le mouvement de la brosse à la demande et l'arrête dans les 10 secondes après son utilisation. La conception de la nouvelle génération de brosse rotative pivotante a aussi permis une diminution d'environ 1/3 de la consommation électrique.

Votre solution au quotidien !
- Facile à installer et à entretenir
- Brossage complet
- Confort assuré
- Sécurité
- Moins de mammites
- Plus de lait
- Meilleure circulation
- Faible consommation

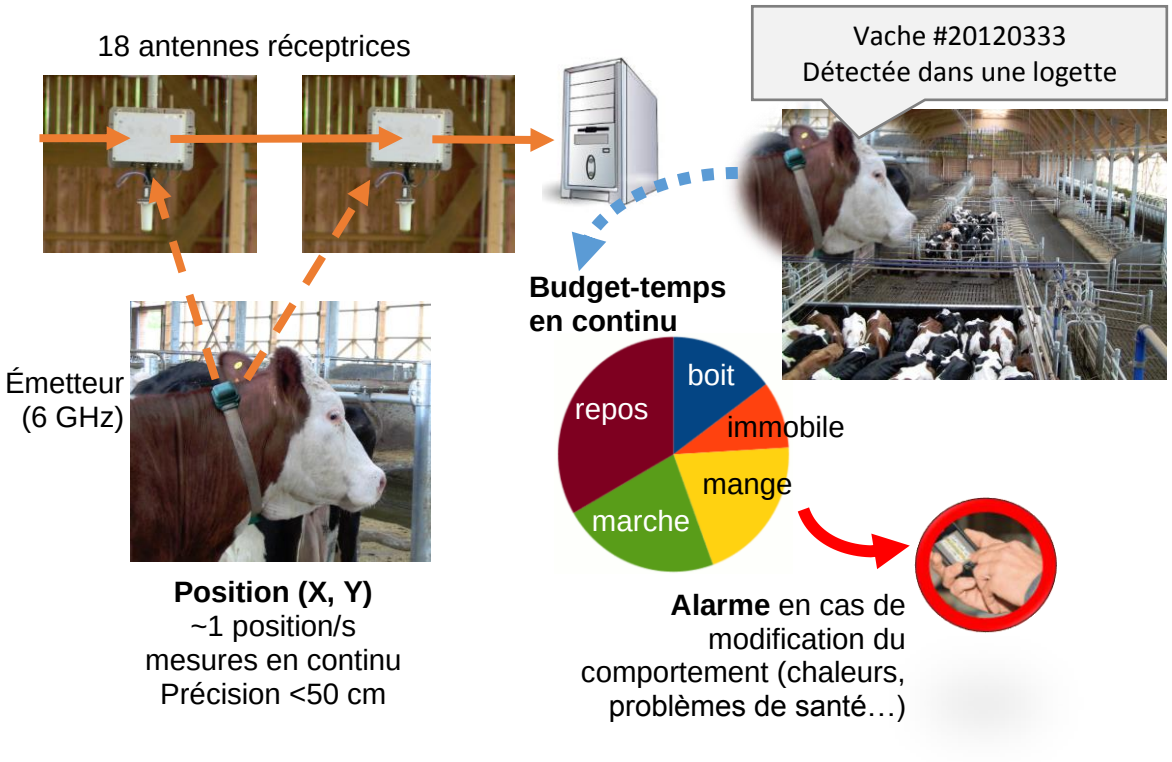
Données techniques
Longueur : 100 cm
Largeur : 50 cm
Hauteur : 132 cm
Diamètre de la brosse : 50 cm
Longueur des poils de brosse : 18 cm
Vitesse de rotation : 26 trs/min
Fonctionnement on/off automatique
Niveau de protection moteur : IP55
Protection contre les surcharges
Tension : 230 V AC
Puissance : 0,14 kW
Poids total (brosse + support) : 70 kg

Production laitière durable

La brosse rotative pivotante SCB soutient l'engagement de Delaval vers une production laitière durable : des solutions qui répondent aux objectifs environnementaux, au respect du bien être des animaux et aux avantages pour les clients et la société.

A. est une marque déposée de la société Tetra Laval Holdings & Finance S.A. et DeLaval est une marque déposée/marque de service de la société DeLaval Holding AB. Le fabricant se réserve le droit de modifier ses produits sans préavis. 53571028BR/fr-201003

Annexe 2. Schéma de fonctionnement du système CowView (GEA CowView UWB-RTLS, 6x5x4 cm³,146 g, GEA Farm Technologies, Allemagne), d'après Meunier et al., 2017.



La méthode de Bland et Altman (1986) pour comparer les méthodes "CV+AC" et "vid" nécessite une distribution normale des données. Une transformation en logarithme décimal des durées et en racine carrée des nombres d'utilisation permet la normalisation des distributions (Figure 25).

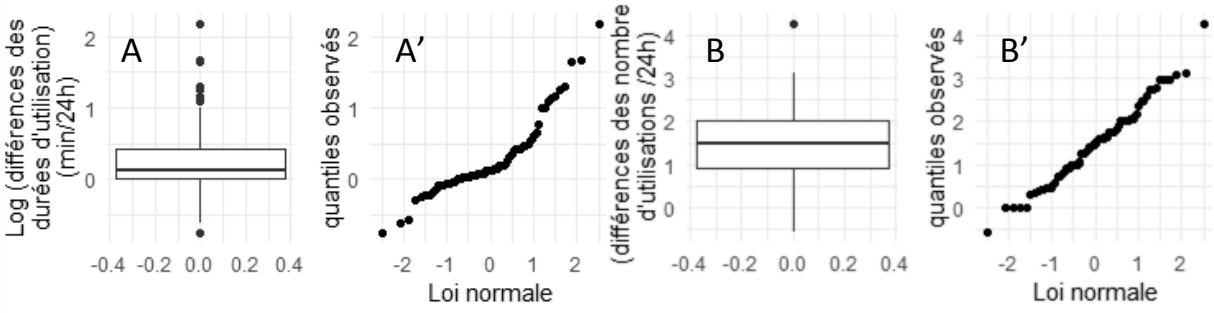


Figure 25. Distributions de la différence des logarithmes décimaux des durées (A, A') et des racines carrées des nombres (B, B') d'utilisations de la brosse *par 27 vaches estimés par vidéo et par l'outil "CV+AC", représentées par un diagramme en boîte (A, B) et un diagramme quantile-quantile des différences (A', B').*

La méthode d'évaluation de la concordance entre deux outils est graphique, et nécessite de calculer, par exemple pour les durées (transformation logarithmique) :

- Pour l'ordonnée :
  - Différences des données fournies par chaque méthode pour chaque individu i

$$diff_i = log10(d_{i\ CV+AC}) - log10(d_{i\ vid})$$

  - Moyenne de ces différences

$$dmoy = {\sum_{i=1}^{27} diff_i}/{27}$$

  - Écart-type de ces différences

$$dsd = \sqrt{\frac{1}{27}\sum_{i}^{27}(diff_i - dmoy)^2}$$

- Pour l'abscisse : moyennes des données pour chaque individu i

$$moy_i = \frac{log10\ (d_{i\ vid}) + log10(d_{i\ CV+AC})}{2}$$

La représentation graphique qui en résulte est donnée en Figure 15. Le résultat numérique fournis par cette méthode est la moyenne ± écart-type ($10^{dmoy} \pm 10^{dsd}$). Pour le nombre d'utilisations, les calculs sont similaires, en remplaçant le $log10$ par une racine carrée. Dans ce cas, la moyenne ± écart-type est donnée par ($dmoy^2 \pm dsd^2$).

Annexe 4. Description du brossage par zone corporelle : médiane, quartiles et valeurs extrêmes.

Tableau XXII. Quartiles et valeurs extrêmes des durées d'utilisation de la brosse par zone corporelle (min/24h).

Zone	Jour	Minimum	1er quartile	Médiane	3ème quartile	Maximum
Tête	J1	0	0,495	0,8	2,915	20,9
	J2	0	0,3	0,95	2,41	7,15
	J3	0	0,685	1,37	2,615	11,05
Tronc	J1	0	0	0,18	0,62	11,85
	J2	0	0	0,18	0,625	10,05
	J3	0	0,08	0,18	0,71	5,52
Croupe	J1	0	0	0,07	1,175	11,25
	J2	0	0	0,03	0,46	8,57
	J3	0	0	0,07	0,665	13,35
Partout	J1	0	0	0	0	1,38
	J2	0	0	0	0	1,48
	J3	0	0	0	0	1,28
Tête+Tronc	J1	0	0,61	0,97	3,905	32,75
	J2	0	0,325	1,12	3,175	17,2
	J3	0	1,05	2,16	3,525	16,57
Tronc+Croupe	J1	0	0	0,58	2,745	23,1
	J2	0	0,085	0,55	1,565	13,8
	J3	0	0,15	0,54	1,75	16,42

Tableau XXIII. Quartiles et valeurs extrêmes des nombres d'utilisation de la brosse par zone corporelle (/24h).

Zone	Jour	Minimum	1er quartile	Médiane	3ème quartile	Maximum
Tête	J1	0	1,5	3	5	14
	J2	0	1	3	4,5	13
	J3	0	2	3	5	12
Tronc	J1	0	0	1	2	10
	J2	0	0	1	2,5	11
	J3	0	1	1	2,5	5
Croupe	J1	0	0	1	1,5	7
	J2	0	0	1	2	7
	J3	0	0	1	2	4
Partout	J1	0	0	0	0	3
	J2	0	0	0	0	2
	J3	0	0	0	0	1
Tête+Tronc	J1	0	2	5	6	23
	J2	0	2	5	7	23
	J3	0	3	5	8	13
Tronc+Croupe	J1	0	0	2	5	17
	J2	0	0,5	2	4,5	18
	J3	0	1	2	4	8

Les zones "Tête+Tronc" et "Tronc+Croupe" sont ajoutées pour permettre la comparaison des données avec celles fournies par la localisation temps-réel + détection des mouvements de la brosse. "Tronc+Croupe" contient les données des zones "Tronc", "Croupe" et "Partout" définies pour l'observation vidéo.

Annexe 5. Graphes de Bland et Altman (1986) des durées d'utilisations de la brosse pour chaque zone corporelle.

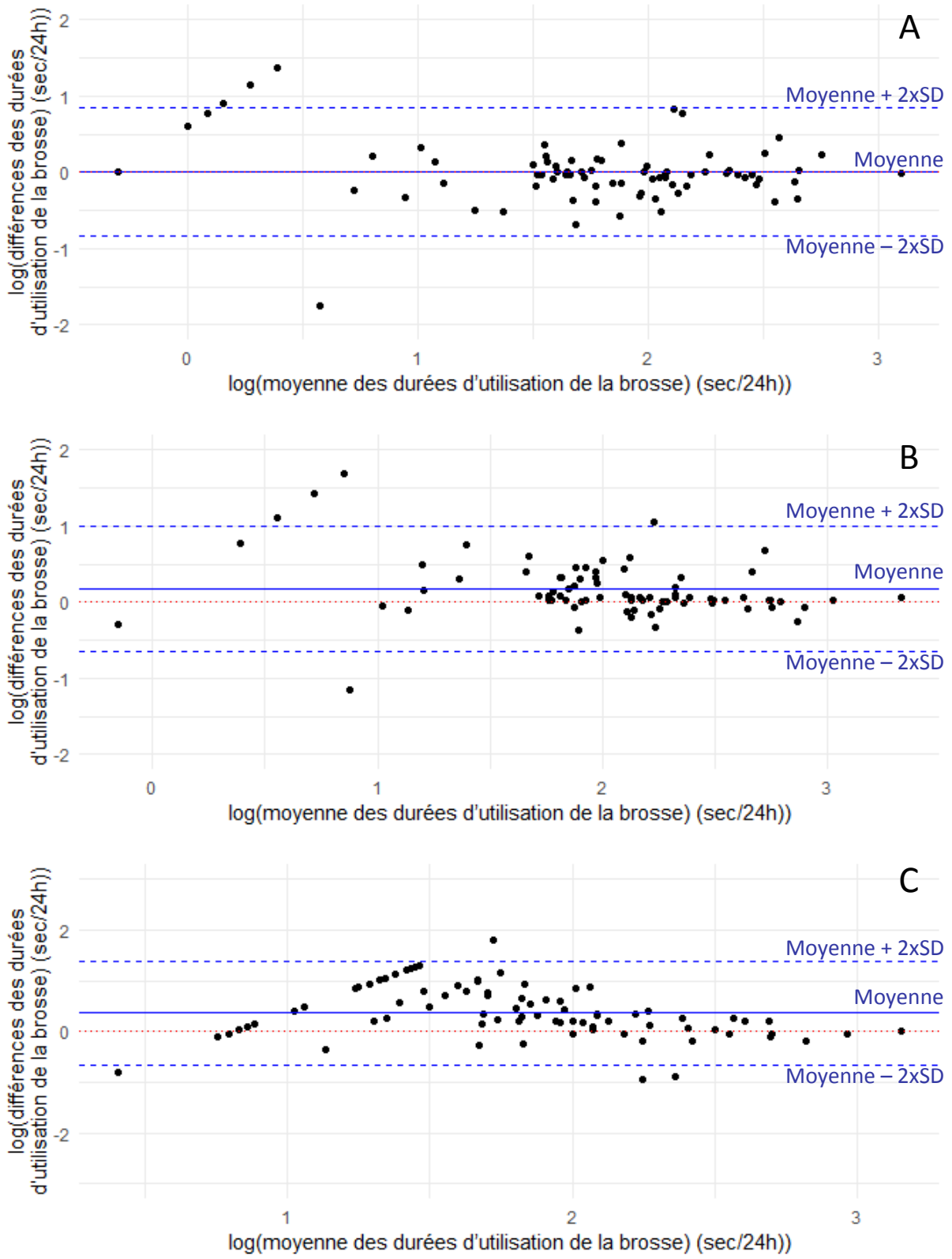


Figure 26. Graphes de Bland et Altman (1986) des différences pour les zones "tête" (A), "tête+tronc" (B) et "tronc+croupe" (C), entre les logarithmes décimaux des durées d'utilisation de la brosse (/24h) *pour 27 vaches laitières, données par les outils "CV+AC"et "vid", en fonction des moyennes des logarithmes décimaux des durées fournies par chaque outil pour chaque individu. Ligne continue : moyenne des différences. Lignes interrompues : moyenne ± 2 écarts-types des différences. Ligne en pointillés d'ordonnée = 0, elle représente la valeur idéale de la moyenne des différences. SD : Standard deviation, écart-type. sec : secondes.*

Annexe 6. Graphes de Bland et Altman (1986) des nombres d'utilisations de la brosse pour chaque zone corporelle.

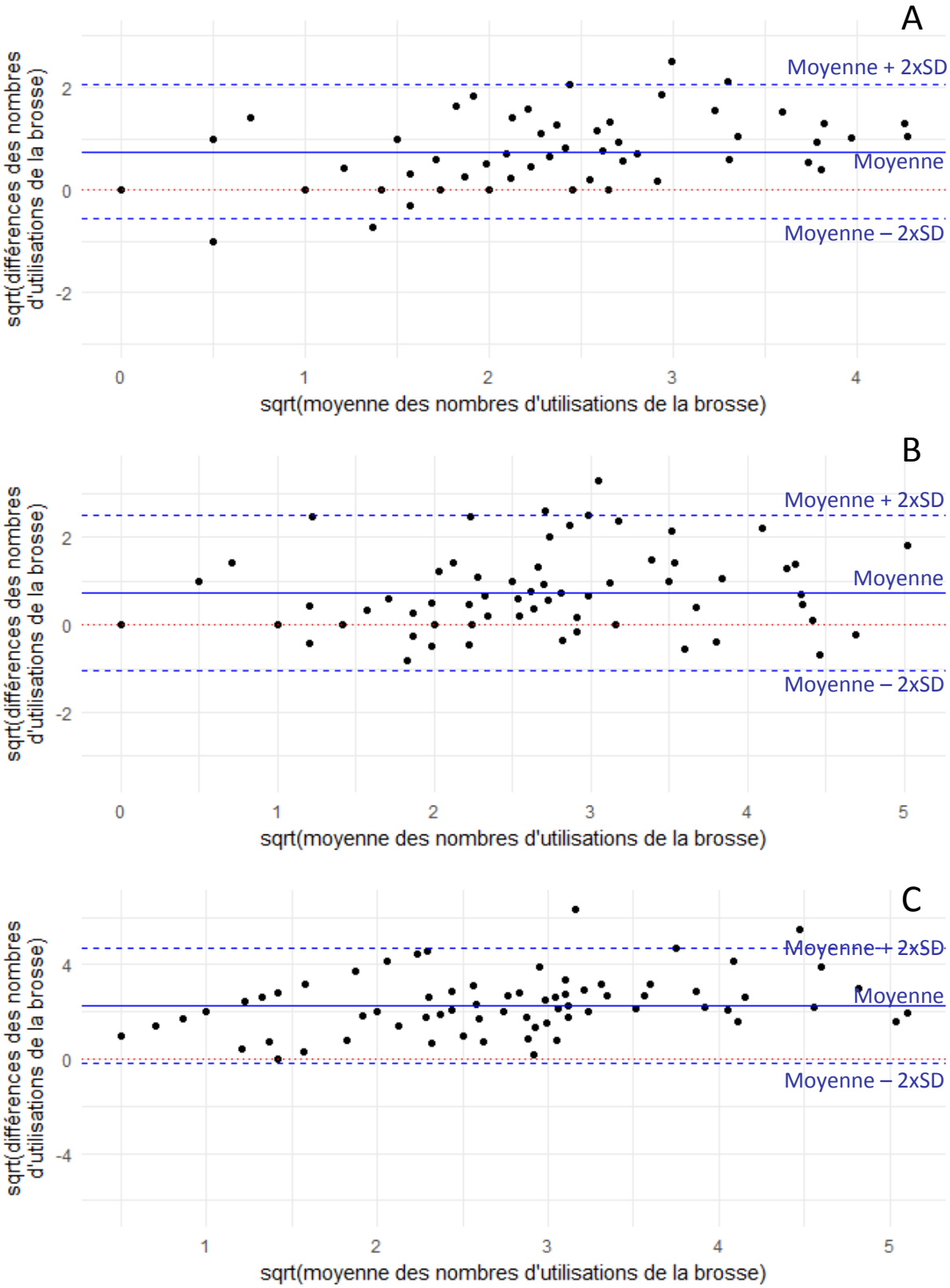
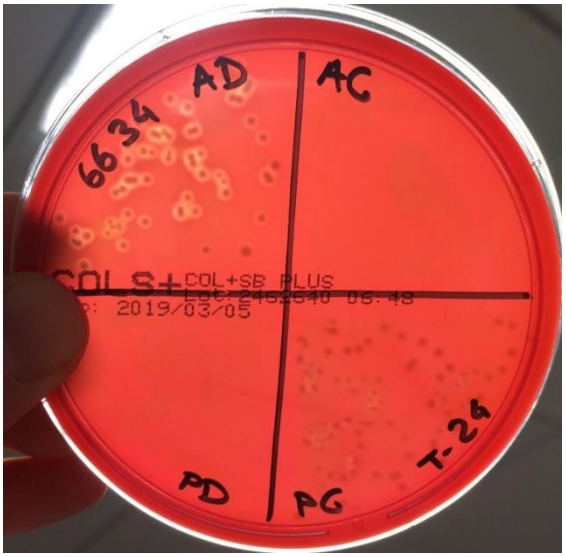


Figure 27. Graphes de Bland et Altman (1986) des différences pour les zones "tête" (A), "tête+tronc" (B) et "tronc+croupe" (C), entre les racines carrées des nombres d'utilisations de la brosse (/24h) *pour 27 vaches laitières, donnés par les outils "CV+AC"et "vid", en fonction des moyennes des racines carrées des nombres fournis par chaque outil pour chaque individu. Ligne continue : moyenne des différences. Lignes interrompues : moyenne ± 2 écarts-types des différences. Ligne en pointillés d'ordonnée = 0, elle représente la valeur idéale de la moyenne des différences. SD : Standard deviation, écart-type.*

L'absence de bactéries dans un quartier a été vérifiée avant l'infusion de 25 µg de *lipopolysaccharide* (LPS) de *Escherichia coli*- 0111:B4 dans le quartier, par étalement d'une goutte de lait prélevé stérilement et individuellement pour chaque quartier, 24 heures avant l'infusion du LPS, et observation macroscopique de la pousse bactérienne 24 heures après mise à l'étuve à 37°C (Figure 28. La solution de LPS était fournie par le laboratoire de P. Germon (UMR 1282 Infectiologie et Santé Publique, INRA Centre Val de Loire, 37380 Nouzilly). M. P. Germon m'a également formée à la procédure d'ensemencement en conditions stériles des géloses (géloses sang de mouton, ThermoFisher Scientific®, États-Unis), et à la lecture macroscopique du résultat.

La Figure 28 montre une présence de bactéries dans les quartiers antérieur droit et postérieur gauche pour la vache ayant le numéro de travail 6634 (numéro de travail affiché sur la boucle auriculaire). Les quarts de boîtes contenant le lait des quartiers antérieur gauche et postérieur droit sont exempts de colonies bactériennes. Le quartier infusé pour cette vache a donc été le postérieur droit.



© UMRH, Équipe Caraïbe, 2019

Figure 28. Photographie d'une gélose sang de mouton ensemencée par une goutte du lait de chaque quartier prélevé stérilement, 24 heures après mise à l'étuve.

Annexe 8. Paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes des données physiologiques et biochimiques.

***Tableau XXIV. Paramètres[a,b] estimés issus du modèle linéaire mixte du comptage en cellules somatiques dans le lait (CCS), de la température ruminale et de la cortisolémie plasmatique**, en fonction des temps d'observation, pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli à T0.*

Variable	Effets fixes : coefficients du modèle	Estimate	Intervalle de confiance 2,50%	Intervalle de confiance 97,50%	t
Log10[CCS (/mL)]	Intercept (T0, Série 1)	4,08	3,89	4,26	40,28
	T7	3,21	2,99	3,42	28,46
	T24	3,03	2,82	3,25	26,89
	T31	2,99	2,77	3,20	26,49
	T48	2,80	2,58	3,01	24,82
	Série 2	-0,03	-0,20	0,14	-0,32
	Série 3	-0,07	-0,24	0,11	-0,68
	Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
	Animal	0,00	0,00	0,15	
	Résidus	0,09	0,25	0,34	
Température ruminale (°C)	Intercept (T-24, Série 1)	39,01	38,70	39,31	234,02
	T-21	-0,14	-0,44	0,17	-0,84
	T-17	-0,20	-0,51	0,11	-1,24
	T0	0,09	-0,22	0,40	0,57
	T3	0,66	0,36	0,97	4,10
	T7	1,14	0,83	1,44	7,01
	T24	-0,37	-0,68	-0,06	-2,29
	T31	-0,26	-0,57	0,05	-1,59
	T48	-0,21	-0,52	0,09	-1,32
	Série 2	0,43	0,11	0,75	2,53
	Série 3	0,53	0,21	0,85	3,11
	Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
	Animal	0,21	0,08	0,31	
	Résidus	0,43	0,36	0,47	
Log10[Cortisolémie (ng/ml)]	Intercept (T-24)	1,46	1,35	1,57	24,14
	T-21	0,01	-0,06	0,07	0,24
	T-17	-0,02	-0,08	0,05	-0,50
	T0	0,00	-0,06	0,07	0,13
	T3	0,42	0,36	0,48	12,51
	T7	0,07	0,01	0,13	2,10
	T24	-0,01	-0,08	0,05	-0,38
	T31	0,00	-0,06	0,07	0,15
	T48	-0,02	-0,08	0,05	-0,50
	Série 2	-0,08	-0,22	0,06	-1,09
	Série 3	-0,05	-0,19	0,10	-0,60
	Effets aléatoires : déviations standard		**2,50%**	**97,50%**	
	Animal	0,10	0,07	0,16	
	Résidus	0,09	0,08	0,10	

[a] Exemple de code saisi dans R pour le comptage en cellules somatiques dans le lait :
lmer (log10(SCC par ml) ~ Temps + Série d'observation + (1| animal))
[b] Une valeur absolue de t supérieure à 2, ou un intervalle de confiance à 95% ne contenant pas zéro, indiquent que le paramètre estimé est significatif (Bates et al., 2015).
CCS : Comptage en cellules somatiques. Log10 : logarithme décimal.

Annexe 9. Paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes des données comportementales décrites par la durée.

Tableau XXV. Paramètres [a,b] estimés issus du modèle linéaire mixte de la durée par visite (sec) et de la durée d'utilisation de la brosse pour la zone tronc (min/17,32h) *pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation.*

Durée par visite, log10[sec]

		Intervalle de confiance		
Effets fixes : coefficients du modèle	Estimate	2,50%	97,50%	t
Intercept (HC, Série 1)	1,52	1,28	1,76	11,67
C	0,01	-0,16	0,18	0,11
Série 2	-0,03	-0,32	0,27	-0,16
Série 3	0,06	-0,23	0,34	0,37
Effets aléatoires : déviations standard		2,50%	97,50%	
Animal	0,13	0,00	0,23	
Résidus	0,51	0,45	0,57	

Durée d'utilisation au tronc, log10[sec/17,32h]

		Intervalle de confiance		
Effets fixes : coefficients du modèle	Estimate	2,50%	97,50%	t
Intercept (HC, Série 1)	0,34	-0,96	1,64	0,49
C	0,66	-0,38	1,69	1,29
Série 2	-1,05	-2,69	0,58	-1,21
Série 3	-0,75	-2,38	0,88	-0,86
Effets aléatoires : déviations standard		2,50%	97,50%	
Animal	0,89	0,00	1,52	
Résidus	1,35	0,94	1,91	

[a] *Code saisi dans R : lmer (log10(Durée) ~ Statut + Série d'observation + (1| animal))*
[b] *Une valeur absolue de t supérieure à 2, ou un intervalle de confiance à 95% ne contenant pas zéro, indiquent que le paramètre estimé est significatif (Bates et al., 2015).*

Annexe 10. Paramètres estimés issus des modèles linéaires mixtes des données comportementales décrites par le nombre d'utilisations.

Tableau XXVI. Paramètres [a,b] estimés issus du modèle linéaire mixte du nombre d'utilisations de la brosse toutes zones corporelles confondues et pour les zones tête et tronc (/17,32h) *pour 14 vaches Prim'Holstein observées en 3 séries et inoculées avec du LPS d'E. coli : le statut HC correspond aux 17,32 heures avant et le statut C aux 17,32 heures après inoculation.*

Zone corporelle

Toutes zones confondues, sqrt[/17.32h]		Intervalle de confiance		
Effets fixes: coefficients du modele	Estimate	2,50%	97,50%	t
Intercept (HC, Serie 1)	1,27	0,15	2,39	2,10
C	0,57	-0,25	1,39	1,41
Serie 2	-0,24	-1,67	1,19	-0,32
Série 3	0,30	-1,13	1,73	0,39
Effets aléatoires : deviations standard		2,50%	97,50%	
Animal	0,85	0,00	1,37	
Résidus	1,07	0,74	1,56	

Tête, sqrt[/17,32h]

Effets fixes: coefficients du modele	Estimate	2,50%	97,50%	t
Intercept (HC, Serie 1)	1,01	-0,17	2,19	1,59
C	0,59	-0,18	1,37	1,54
Serie 2	-0,03	-1,55	1,49	-0,04
Série 3	0,59	-0,93	2,11	0,72
Effets aléatoires : deviations standard		2,50%	97,50%	
Animal	0,98	0,00	1,50	
Résidus	1,01	0,70	1,49	

Tronc, sqrt[/17,32h]

Effets fixes: coefficients du modele	Estimate	2,50%	97,50%	t
Intercept (HC, Serie 1)	0,72	-0,30	1,73	1,31
C	0,64	-0,18	1,47	1,58
Serie 2	-0,25	-1,51	1,02	-0,36
Série 3	-0,19	-1,46	1,08	-0,27
Effets aléatoires : deviations standard		2,50%	97,50%	
Animal	0,67	0,00	1,17	
Résidus	1,08	0,75	1,51	

[a] *Code saisi dans R : lmer (sqrt(Nombre d'utilisations) ~ Statut + Série d'observation + (1| animal))*
[b] *Une valeur absolue de t supérieure à 2, ou un intervalle de confiance à 95% ne contenant pas zéro, indiquent que le paramètre estimé est significatif (Bates et al., 2015).*

RAUTENBACH Isabelle Mathilde Amélie

UTILISATION DE LA BROSSE DETECTEE PAR UN OUTIL DE LOCALISATION CHEZ LA VACHE LAITIERE PRESENTANT UNE INFLAMMATION INTRA-MAMMAIRE

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, *15 novembre 2019*

RESUME : *L'utilisation d'un outil de localisation temps-réel (CowView, GEA Farm Technologies) porté par 27 vaches laitières, associé à un accéléromètre enregistrant les mouvements d'une brosse automatique (SCB, DeLaval), a permis de détecter des utilisations de la brosse, observées en continu par vidéo pendant 72 heures, avec une sensibilité de 92,78%. L'outil combiné estimait correctement la durée d'utilisation sur 24 heures, avec une meilleure précision à la tête qu'à la croupe. Une vache moyenne se brossait pendant 1,67 (Q1 : 0,42 ; Q3 : 3,95) minutes sur 24 heures, en 2 à 3 visites de 27 (Q1 : 13 ; Q3 : 55) secondes débutées à 88,7% par la tête, certaines vaches se brossant davantage à la tête et d'autres à la croupe. Dans une seconde étude, la description de l'utilisation de la brosse par 14 vaches prim'holstein en lactation, 24 heures avant et 24 heures après inflammation expérimentale d'un quartier à l'aide de 25 µg de LPS d'E.coli, a révélé après challenge une augmentation significative de la durée d'utilisation de la brosse, notamment au niveau de la croupe et dans une moindre mesure de la tête. Ce travail propose un outil de suivi automatisé du comportement d'utilisation de la brosse à grande échelle, et a permis de mettre en évidence une augmentation de l'utilisation de la brosse en cas de mammite. L'installation d'une brosse pourrait donc contribuer à améliorer le bien-être des animaux malades.*

MOTS CLES :

- Vaches laitières
- Mammite
- Toilettage
- Services basés sur la localisation
- Modification du comportement

JURY :

Président :	Monsieur le Professeur THOBOIS Stéphane
1er Assesseur :	Madame le Docteur LEDOUX Dorothée
2ème Assesseur :	Madame le Docteur DE BOYER DES ROCHES Alice
Membre invité :	Monsieur MEUNIER Bruno

DATE DE SOUTENANCE : 15 novembre 2019