



HAL
open science

Prédiction et géolocalisation des principaux comportements des vaches laitières à partir de capteurs accéléromètres et GPS embarqués, une approche pertinente pour relier le comportement avec les conditions de pâturage

Lucile Riaboff, Sébastien S. Couvreur, Aurélien Madouasse, Sébastien Aubin, P. Massabie, Nicolas Bédère, Alain Chauvin, Guy Plantier

► To cite this version:

Lucile Riaboff, Sébastien S. Couvreur, Aurélien Madouasse, Sébastien Aubin, P. Massabie, et al.. Prédiction et géolocalisation des principaux comportements des vaches laitières à partir de capteurs accéléromètres et GPS embarqués, une approche pertinente pour relier le comportement avec les conditions de pâturage. 25. Rencontres autour des recherches sur les ruminants (3R), Dec 2020, En ligne, France. pp.38-41. hal-02927298

HAL Id: hal-02927298

<https://hal.science/hal-02927298v1>

Submitted on 5 Jun 2024

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

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

Prédiction et géolocalisation des principaux comportements des vaches laitières à partir de capteurs accéléromètres et GPS embarqués, une approche pertinente pour explorer le comportement en lien avec l'environnement au pâturage

RIABOFF L. (1, 3), COUVREUR S. (2), MADOUASSE A. (4), AUBIN S. (1), MASSABIE P. (3), CHAUVIN A. (4), BEDERE N. (2, 5), PLANTIER G. (1)

- (1) ESEOTech – LAUM, 49000, Angers, France
- (2) URSE, Ecole Supérieure d'Agricultures, Univ. Bretagne Loire, 49000, Angers, France
- (3) Terrena Innovation, 44150, Ancenis, France
- (4) INRAE, BIOEPAR, Oniris, 44307, Nantes, France
- (5) INRAE, AGROCAMPUS OUEST, PEGASE, F-35590, Saint-Gilles, France

RESUME - La prédiction en continu des comportements des vaches laitières associés à leur position devrait constituer une approche pertinente pour explorer les comportements des vaches laitières en lien avec leur environnement. Nous décrivons une méthodologie qui permet de prédire de façon robuste les principaux comportements des vaches laitières au pâturage à partir d'accéléromètres embarqués. La méthodologie développée s'appuie sur des techniques de traitement du signal non explorées en reconnaissance de comportements de ruminants, associées à une combinaison d'algorithmes qui met en jeu la complémentarité entre des méthodes de *machine learning* et des modèles probabilistes. Elle garantit une prédiction fiable pour un large spectre de comportements des vaches laitières au pâturage (pourcentage de bon classement : 98 % ; Kappa de Cohen : 0,96). La méthodologie, couplée avec des données de position des animaux dans la prairie, est un moyen de mieux comprendre les interactions entre les animaux et leur environnement. Les résultats de ces travaux méthodologiques ouvrent vers de nombreux champs d'études et d'application : observation et amélioration des performances, de la santé et du bien-être des vaches laitières au pâturage, évaluation et réduction des impacts environnementaux.

Prediction and geolocation of the main behaviours of dairy cows from on-board accelerometer and GPS sensors: a relevant approach to explore environment-related behaviour on pasture

RIABOFF L. (1, 3), COUVREUR S. (2), MADOUASSE A. (4), AUBIN S. (1), MASSABIE P. (3), CHAUVIN A. (4), BEDERE N. (2, 5), PLANTIER G. (1)

- (1) ESEOTech – LAUM, 49000, Angers, France

SUMMARY - Continuous prediction of dairy cow behaviours associated with their position should be a relevant approach to explore dairy cow behaviours in relation to their environment. Our study proposes a methodology that allows robust prediction of the main grazing behaviours of dairy cows using on-board accelerometers. The methodology developed is based on unexplored signal processing techniques for recognizing ruminant behaviours, combined with a combination of algorithms involving the complementarity between machine learning methods and probabilistic models. It guarantees reliable prediction for a wide range of dairy cow grazing behaviours (percentage of accuracy: 98%; Cohen's Kappa: 0.96). The methodology, coupled with data on the position of the animals in the pasture, is a way to better understand interactions between animals and their environment. The results of this methodological work open up many fields of study and application: observation and improvement of the performance, health and welfare of dairy cows on pasture, evaluation and reduction of environmental impacts.

INTRODUCTION

La transition agroécologique vise à développer de nouveaux systèmes d'élevage qui optimisent la productivité tout en améliorant la santé des animaux et en maximisant les services écologiques susceptibles d'être fournis par les agrosystèmes (Gliessman, 2018). A ce propos, une meilleure compréhension des interactions entre le comportement exprimé par les ruminants au pâturage et leur environnement, notamment la végétation, les caractéristiques structurelles, l'humidité du sol, etc. pourrait permettre d'accompagner cette transition en adoptant de nouvelles pratiques de pâturage qui répondent aux objectifs visés. Comme l'explique (Carvalho, 2013), la surveillance du comportement des ruminants est un moyen de mieux comprendre leur dynamique en réponse à l'évolution du couvert végétal afin d'obtenir une ressource en herbe, une consommation de fourrage et des performances animales optimales. Une meilleure compréhension des comportements individuels en lien avec l'environnement

permettrait aussi de traiter spécifiquement les animaux à risque de contracter certaines pathologies selon les zones qu'ils visitent (Agoulon et al., 2012). Une remontée d'information fine et continue sur le comportement des animaux en relation avec leur environnement constitue également une approche pertinente pour étudier les changements de comportement dus à des situations difficiles au pâturage (stress thermique, stress physique, ressource limitante, etc.) (Wechsler, 1995), dans une perspective d'amélioration du bien-être animal. Afin de répondre à ces objectifs, il est nécessaire de remonter automatiquement et en continu des informations sur le comportement et la position des ruminants dans la prairie. Des capteurs GPS embarqués sur les ruminants ont déjà été utilisés dans la littérature pour remonter leur position (Putfarken et al., 2008) avec une résolution suffisante pour répondre aux applications envisagées (Ganskopp and Johnson, 2007). Cependant, ces capteurs ne permettent pas de prédire le comportement des ruminants de manière fiable (Schlecht et al., 2004). A ce propos, les capteurs accéléromètres à trois dimensions

semblent plus appropriés puisqu'ils permettent de discriminer à la fois des comportements avec un pourcentage de bon classement supérieur à 90 % (Robert et al., 2009). Bien que le spectre des comportements prédits ne soit actuellement pas suffisamment large pour étudier les relations entre comportement et environnement de manière fine, une approche prometteuse pour étudier les interactions entre les ruminants et leur environnement serait de combiner (i) les comportements prédits avec des données accéléromètres avec (ii) la position obtenue par GPS.

Cette étude, réalisée dans le cadre du projet Vagabond impliquant la coopérative Terrena, l'École Supérieure d'Electronique de l'Ouest, l'École Supérieure d'Agricultures et l'UMR BIOEPAR (Oniris / INRAE), vise ainsi à (i) mettre en place une méthodologie qui permette de prédire automatiquement et de façon robuste un large spectre de comportements des vaches laitières au pâturage à partir de données accéléromètres brutes et à (ii) coupler les comportements avec la position des animaux pour relier les comportements exprimés avec l'environnement au pâturage, en vue de mieux comprendre ces interactions.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1 COLLECTE DE DONNEES

Afin de répondre à la première problématique (i), 86 vaches Holstein issues de 4 élevages laitiers commerciaux avec traite en robot de la région Pays-de-la-Loire ont été équipées sur les printemps/étés 2017 et 2018 avec un dispositif composé d'un accéléromètre 3D (fréquence d'échantillonnage : 59,5 Hz) et d'un système GPS (fréquence d'échantillonnage : 1 Hz) fixés sur un collier. Afin de pouvoir coupler le signal accéléromètre avec le comportement des vaches laitières, chacun des animaux équipés a été observé alternativement par deux expérimentateurs pendant des sessions continues de 15 minutes. Sur chacune de ces sessions, les comportements réalisés, l'heure de début et l'heure de fin associée (précision à la seconde) ont été encodés. Les comportements encodés par les expérimentateurs correspondent aux principaux comportements d'états exprimés par les vaches laitières (ingestion au pâturage, déplacement, rumination et repos, avec distinction des postures couchées et debout pour ces deux derniers). Les comportements sociaux ou de toilettage, correspondant à des comportements brefs, n'ont pas été encodés. Chacun des comportements a été défini au préalable dans un éthogramme. Lorsque l'animal réalisait un comportement non défini, ce comportement était encodé comme comportement « autre ». La durée d'observation de chaque comportement et nombre de vaches correspondant sont fournis dans le tableau 1. Au total, 86 animaux ont été observés, correspondant à plus de 57 heures d'observations.

Tableau 1 Durée des comportements observés et nombre de vaches associées.

Comportement	Durée (HH:MM:SS)	Nombre vaches
Ingestion	27:38:57	62
Marche	01:10:19	60
Rumination couchée	08:05:26	44
Rumination debout	03:34:27	35
Repos couchée	08:00:00	57
Repos debout	03:40:10	66
Autre	05:12:38	79
Total	57:21:57	86

En vue de répondre à la seconde problématique (ii), 26 vaches Holstein représentatives des 71 vaches du troupeau en termes de parité et de stade de lactation ont été équipées dans l'un des 4 élevages avec le même dispositif que précédemment. Les animaux ont été équipés pendant 5 jours, correspondant à une rotation complète et à l'autonomie de la batterie. Au cours de cette rotation, les vaches laitières ont

pâturé alternativement deux prairies (offre disponible : 27,5 kg matière sèche (MS)/vache/jour) : une prairie temporaire (PT) de 2,3 ha de 11h30 à 18h et une prairie permanente (PP) de 1,6 ha de 6h à 11h30. La régulation de l'accès entre les deux prairies était assurée par un portail en sortie du robot de traite. Les animaux recevaient également une complémentation de fourrage de luzerne (1,5 kg MS/vache), un mélange triticales – pois – féverole au distributeur automatique de concentrés (1,83 kg MS/vache) et de féverole après passage au robot (0,13 kg MS/vache). Les caractéristiques structurelles (arbres, haies, zones humides, pentes, présence du bâtiment, etc.) ont été relevées et géolocalisées dans chacune des deux prairies, comme illustré dans la Figure 1. Les caractéristiques floristiques ont également été relevées dans chaque zone dans les deux prairies (méthode des poignées).

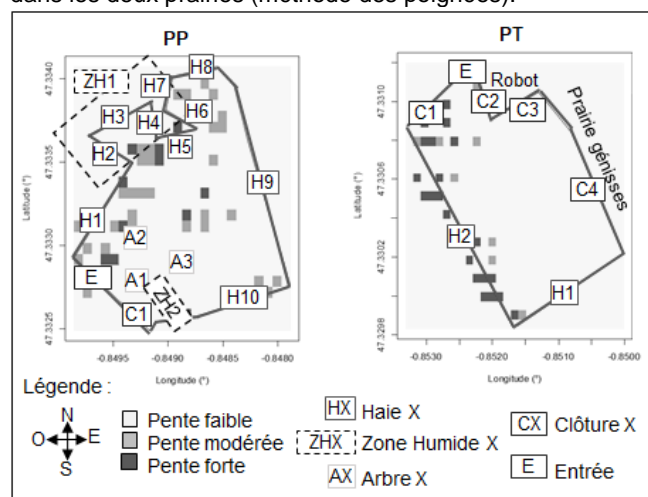


Figure 1 Caractéristiques structurelles identifiées dans la prairie permanente (PP) et temporaire (PT)

1.2 DEVELOPPEMENT

La problématique (i) vise à développer une méthodologie qui permette de classifier de façon robuste un large spectre de comportements des vaches laitières observés au pâturage. Pour cela, les données accélérométriques des 86 vaches laitières issues des 4 élevages couplées aux 57 heures d'observations ont été utilisées. Selon (Riaboff et al., 2019) les composantes statiques et dynamiques du signal accélérométrique brut ont été conservées dans l'analyse et chaque série temporelle a été segmentée avec une taille de fenêtre de 10 s et un recouvrement entre fenêtres de 90 %. Nous référons à (Riaboff et al., 2019) pour une explication détaillée sur le pré-traitement du signal accéléromètre. Le jeu de données a ensuite été séparé en 75 % (jeu de données d'entraînement) et 25 % (jeu de données test). Une stratification sur les comportements a été appliquée lors de la séparation du jeu de données, en faisant également en sorte que les fenêtres de signal du jeu de données test soient issues de périodes d'observation différentes de celles utilisées pour l'ajustement. Quatre modèles de *machine learning* ont ensuite été ajustés sur le jeu de données d'entraînement (*Support Vector Machine* (SVM), *random forest* (RF), *AdaBoost* (ADA) et *eXtreme Gradient Boosting* (XGB)) via une procédure de validation croisée (10 blocs, 3 répétitions) à partir d'une grille de valeurs préalablement définie pour chaque hyperparamètre. Le modèle ajusté pour chaque algorithme correspond au modèle ayant conduit aux meilleures performances par validation croisée. Chacun des modèles ajustés a ensuite évalué sur le jeu de données test. Afin de prendre en compte la structure temporelle existant au sein d'une séquence continue de comportements, un lissage a été réalisé sur les comportements prédits par les modèles de *machine learning* avec l'algorithme de Viterbi basé sur un modèle de Markov caché (HMM). Dans ce HMM, les états cachés sont les comportements observés expérimentalement et les états observés sont les comportements prédits par les

modèles de *machine learning*. Les métriques de performance suivantes ont été calculées avant et après cette étape de lissage pour tous les modèles : pourcentage de bon classement, Kappa de Cohen ainsi que la sensibilité et la spécificité par comportement. L'ensemble du développement est décrit dans (Riaboff et al., 2020a). La combinaison aboutissant aux meilleures performances de classification sera appelée par la suite « la méthodologie ».

La problématique (ii) consiste à utiliser la méthodologie, couplée à la position des vaches laitières, pour relier les comportements exprimés avec les conditions de pâturage. Pour cela, la méthodologie a été appliquée sur les données accéléromètres collectées sur les 26 vaches laitières pendant les 5 jours de pâturage afin de prédire les comportements par fenêtre de 10 secondes pour chaque vache équipée et chaque jour de pâturage. Les données GPS collectées ont ensuite été utilisées pour coupler les comportements prédits avec la position des animaux dans la parcelle (**comportements géolocalisés**). Les deux prairies ont été divisées en zones régulières de 8 m * 8 m. Chacune des zones a été caractérisée à partir des données floristiques et structurelles relevées dans les prairies. A partir des comportements géolocalisés, le temps passé dans chacun des comportements a été calculé dans chacune des zones de 8 m * 8 m dans les deux prairies, pour chaque vache et chaque jour de pâturage. Afin d'évaluer l'effet de chacune des caractéristiques des prairies sur la durée d'expression des comportements par jour, un modèle linéaire mixte suivi d'une analyse de la variance a été utilisé. Le détail de la méthode utilisée est fourni dans (Riaboff et al., 2020b).

2. RESULTATS

2.1 COMBINAISON OPTIMALE ET PERFORMANCES

La combinaison ayant abouti aux meilleures performances est celle qui comprend une taille de fenêtre de 10 secondes avec un recouvrement entre fenêtres de 90 %, qui applique l'algorithme XGB suivi du lissage par Viterbi (Tableau 2). Cette combinaison aboutit à pourcentage de bon classement de 98 % et à un Kappa de Cohen de 0,96. La spécificité est supérieure à 99 % pour chacun des comportements et la sensibilité est systématiquement supérieure à 80 %, à l'exception du comportement « repos en position debout » (sensibilité : 74 %).

Tableau 2 Performance de classification avec et sans lissage par Viterbi pour chaque algorithme

Lissage	% bon classement		Kappa de Cohen	
	Sans	Avec	Sans	Avec
XGB	97	98	0,96	0,96
RF	97	97	0,95	0,95
SVM	96	97	0,94	0,95
ADA	95	95	0,91	0,92

Le lissage avec l'algorithme de Viterbi a surtout amélioré la sensibilité du comportement « repos en position debout » (+ 4 %) sans détériorer les sensibilités et les spécificités des autres comportements.

2.2 EFFET DES CARACTERISTIQUES DES PRAIRIES SUR LE COMPORTEMENT

Dans PT, la clôture C4 à proximité des génisses et celle proche du robot de traite (Figure 1) ont été significativement plus visitées ($P < 0,05$). Les éléments structurants ont significativement influencé le comportement des vaches laitières dans PP ($P < 0,001$). L'arbre A2 (Figure 1) a été significativement privilégié pour les comportements de repos ($P < 0,001$) et de rumination ($P < 0,001$) tandis que le couvert riche en houlque laineuse a été préférentiellement pâturé ($P < 0,001$), au même titre que les zones à proximité d'une

source d'eau ($P < 0,001$; ZH2 ; Figure 1). Au contraire, la zone marécageuse ZH1 (Figure 1) a été rejetée quel que soit le comportement exprimé ($P < 0,01$). Les résultats de cette étude sont détaillés dans (Riaboff et al., 2020b).

3. DISCUSSION

3.1 UNE PREDICTION ROBUSTE DES COMPORTEMENTS PRINCIPAUX DES VACHES LAITIÈRES AU PATURAGE

Les performances de classification obtenues sur un jeu de données test (pourcentage de bon classement : 98 % ; Kappa de Cohen : 0,96) sont supérieures à celles obtenues dans les études visant à prédire plusieurs comportements (Martiskainen et al., 2009). Ces résultats montrent qu'un large spectre de comportements des vaches laitières au pâturage peut être prédit avec la méthodologie (Rushen et al., 2012) et de façon robuste (Rahman et al., 2018), levant ainsi les deux leviers méthodologiques majeurs exposés dans la littérature.

3.2 UNE METHODOLOGIE PERTINENTE POUR MIEUX COMPRENDRE LES RELATIONS ENTRE LES ANIMAUX ET LES CONDITIONS DE PATURAGE

L'application réalisée a mis en évidence une organisation différente du comportement des vaches laitières selon les deux prairies pâturées. Bien que les résultats obtenus sur le comportement ne doivent en aucun cas être généralisés compte tenu du protocole utilisé (pâturage de chaque prairie sur les mêmes créneaux horaires, expérimentation de 5 jours seulement, absence de répétitions de l'expérimentation, etc.), ceux-ci sont facilement interprétables avec la littérature sur le comportement, attestant ainsi du potentiel de la combinaison GPS/accéléromètre pour étudier les interactions entre les ruminants et leur environnement au pâturage. Dans la prairie temporaire qui présentait peu de caractéristiques structurelles et un couvert végétal limité aux espèces semées (ray-grass anglais, trèfle blanc, brome) et aux adventives, le comportement des vaches laitières a surtout été influencé par l'environnement extérieur, en cohérence avec la littérature. Ainsi, l'attrait pour les zones à proximité des génisses peut s'interpréter par le comportement grégaire des bovins (Arave and Albright, 1981). L'aire d'accès au robot de traite est quant à elle un passage obligé, expliquant la fréquentation plus élevée dans cette zone.

Dans la prairie permanente, très diversifiée d'un point de vue structurel et floristique, le comportement des vaches laitières semble avoir été influencé par les caractéristiques intrinsèques à la prairie. L'expression privilégiée des comportements d'ingestion, de rumination et de repos à proximité d'un arbre est cohérente avec les études comportementales basées sur l'observation (Schütz et al., 2010). Les animaux ont aussi passé plus de temps à pâturer autour des points d'eau. Les vaches laitières ont également privilégié les zones riches en houlque laineuse. Comme la prairie temporaire pâturée en parallèle était riche en ray-grass anglais et en trèfle blanc, il est possible que les animaux aient privilégié d'autres espèces sur la prairie permanente, la recherche d'une ration mixte étant un résultat déjà souligné (Rutter et al., 2004).

3.3 PERSPECTIVES : DIFFERENTES DECLINAISONS DE LA METHODOLOGIE POUR REpondre A DIFFERENTS VOILETS DE L'AGROECOLOGIE

Amélioration des performances animales. En couplant les données sur le comportement (temps d'ingestion, temps de rumination, durée des séquences, etc.) avec les données de production individuelle, il devrait être possible d'améliorer les performances animales *via* un meilleur ajustement de la complémentation par exemple. Dans le cas des élevages avec robot de traite, une compréhension fine du comportement de chaque animal vis-à-vis du robot est certainement une façon d'envisager une gestion plus individualisée de celui-ci afin

d'augmenter sa fréquentation, tout en continuant à pratiquer le pâturage.

Amélioration du bien-être et de la santé. La méthodologie est aussi une façon de calculer un ensemble de variables originales dérivées du comportement (distance parcourue pendant l'ingestion, durée d'ingestion à proximité de l'abreuvoir, etc.). A ce titre, elle pourrait certainement être mise en œuvre pour explorer des patterns spécifiques à des situations stressantes sur les prairies (Schütz et al., 2010) ou à des troubles de santé (Navarro et al., 2013). Elle constitue donc une approche pertinente pour identifier des indicateurs du bien-être et de la santé au pâturage en vue de les intégrer dans des outils de suivi automatique. Enfin, les trajectoires GPS individuelles à elles-seules sont une façon de repérer les animaux à risque de développer certaines pathologies en fonction des zones qu'ils fréquentent (douve, piroplasmose bovine, etc.) (Agoulon et al., 2012). Un usage plus ciblé des traitements médicamenteux pourrait ainsi être envisagé. A noter que les trajectoires obtenues sur l'ensemble des animaux équipés devraient permettre de reconstituer des plannings de pâturage *a posteriori*, un intérêt certain pour mieux évaluer le risque d'infection à certains strongles gastro-intestinaux (*Ostertagia ostertagi*) en fin de saison de pâturage (Chauvin, 2009).

Réduction des impacts environnementaux. Les plannings de pâturage couplés à la pression de pâturage associée ainsi que l'identification des zones sur-visitées devraient également permettre d'adapter le plan de fertilisation sur la saison suivante. Une connaissance fine des parcelles pâturées, en lien avec leurs caractéristiques structurelles et floristiques, peut enfin servir au développement de nouvelles pratiques qui jouent en faveur du maintien de la biodiversité, à l'échelle de l'exploitation ou du territoire.

Bien que des contraintes technologiques méritent encore d'être levées pour faciliter l'utilisation du système (allongement de l'autonomie de la batterie, remontée automatique des données brutes, etc.), la méthodologie développée constitue une approche prometteuse pour étudier finement les interactions entre les vaches laitières et leur environnement au pâturage.

CONCLUSION

Cette étude a permis de développer une méthodologie assurant une prédiction robuste des principaux comportements des vaches laitières au pâturage à partir d'accéléromètres embarqués. Couplée à la position des vaches laitières dans la prairie, cette méthodologie est un moyen de mieux comprendre les relations entre l'animal et son environnement au pâturage. Les nombreuses déclinaisons envisageables à partir de cette approche devraient permettre de répondre à différents volets de l'agroécologie, incluant amélioration des performances animales, amélioration de la santé et du bien-être, ou réduction des impacts environnementaux.

Nous souhaitons remercier la coopérative Terrena, la Région Pays de la Loire et l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie pour avoir financé ce projet. Nous remercions également les exploitations du GAEC Haute-Roue (La Pommeraye), du GAEC Beloin (Le Lion d'Angers), du GAEC La Perrière (Le Cellier) et du GAEC Harmonie (La Rouxière) où les expériences se sont déroulées, ainsi que Marie Roig-Pons et Jacques Magnier pour leur aide dans la collecte des données.

Agoulon, A., Malandrin, L., Lepigeon, F., Vénisse, M., Bonnet, S., Becker, C.A.M., Hoch, T., Bastian, S., Plantard, O., Beaudeau, F., 2012. A Vegetation Index qualifying pasture edges is related to *Ixodes ricinus* density and to *Babesia divergens* seroprevalence in dairy cattle herds. *Vet. Parasitol.* 185, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.10.022>

Arave, C.W., Albright, J.L., 1981. Cattle behaviour. *J. Dairy Sci.* 64, 1318–1329.

Carvalho, P.C.F., 2013. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Trop. Grassl.* 1, 137–155.

Chauvin, A., 2009. Le risque parasitaire au pâturage et sa maîtrise. *Fourrages* 255–264.

Ganskopp, D.C., Johnson, D.D., 2007. GPS Error in Studies Addressing Animal Movements and Activities. *Rangel. Ecol. Manag.* 60, 350–358.

Gliessman, S., 2018. Defining Agroecology. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 42, 599–600.

<https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1432329>

Martiskainen, P., Järvinen, M., Skön, J.P., Tiirikainen, J., Kolehmainen, M., Mononen, J., 2009. Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119, 32–38.

Navarro, G., Green, L.E., Tadich, N., 2013. Effect of lameness and lesion specific causes of lameness on time budgets of dairy cows at pasture and when housed. *Vet. J.* 197, 788–793. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.05.012>

Putfarken, D., Dengler, J., Lehmann, S., Härdtle, W., 2008. Site use of grazing cattle and sheep in a large-scale pasture landscape: A GPS/GIS assessment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.05.012>

Rahman, A., Smith, D.V., Little, B., Ingham, A.B., Greenwood, P.L., Bishop-Hurley, G.J., 2018. Cattle behaviour classification from collar, halter, and ear tag sensors. *Inf. Process. Agric.* 5, 124–133.

<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.001>

Riaboff, L., Aubin, S., Bédère, N., Couvreur, S., Madouasse, A., Goumand, E., Chauvin, A., Plantier, G., 2019. Evaluation of pre-processing methods for the prediction of cattle behaviour from accelerometer data. *Comput. Electron. Agric.* 165, 104961. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104961>

Riaboff, L., Poggi, S., Madouasse, A., Couvreur, S., Aubin, S., Bédère, N., Goumand, E., Chauvin, A., Plantier, G., 2020a. Development of a methodological framework for a robust prediction of the main behaviours of dairy cows using a combination of machine learning algorithms on accelerometer data. *Comput. Electron. Agric.* 169, 105179. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105179>

Riaboff, L., Couvreur, S., Madouasse, A., Roig-Pons, M., Aubin, S., Massabie, P., Chauvin, A., Bédère, N., Plantier, G., 2020b. Use of Predicted Behavior from Accelerometer Data Combined with GPS Data to Explore the Relationship between Dairy Cow Behavior and Pasture Characteristics. *Sensors* 20, 4741. <https://doi.org/10.3390/s20174741>

Robert, B., White, B.J., Renter, D.G., Larson, R.L., 2009. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. *Comput. Electron. Agric.* 67, 80–84.

Rushen, J., Chapinal, N., de Passillé, A., 2012. Automated monitoring of behavioural-based animal welfare indicators. *Anim. Welf.* 21, 339–350. <https://doi.org/10.7120/09627286.21.3.339>

Rutter, S.M., Orr, R.J., Yarrow, N.H., Champion, R.A., 2004. Dietary Preference of Dairy Cows Grazing Ryegrass and White Clover. *J. Dairy Sci.* 87, 1317–1324. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73281-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73281-6)

Schlecht, E., Hülsebusch, C., Mahler, F., Becker, K., 2004. The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 185–202. <https://doi.org/doi:10.1016/j.applanim.2003.11.003>

Schütz, K.E., Rogers, A.R., Poulouin, Y.A., Cox, N.R., Tucker, C.B., 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93, 125–33.

Wechsler, B., 1995. Coping and coping strategies: a behavioural view. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 43, 123–134. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00557-9](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00557-9)