

Test d'un protocole d'estimation du méthane entérique, avec le Laser Methane Detector, pour des vaches laitières au pâturage

GAUTIER L. (1), BORE R. (2), ROUILLE B. (3)

(1) Ecole Supérieure d'Agricultures, 55 Rue Rabelais, 49000 Angers, France

(2) Institut de l'Élevage, 42 rue Georges Morel, 49071 Beaucouzé Cedex, France

(3) Institut de l'Élevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu Cedex, France

RESUME

Les émissions de méthane (CH_4) du secteur agricole représentent 7,6% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) de l'Union Européenne (UE). Parmi ces émissions, 90% sont dues aux fermentations entériques des ruminants. La réduction du méthane émis par ces élevages est donc un véritable enjeu. Afin d'estimer ces émissions, il est primordial de disposer d'outils permettant de quantifier le méthane émis. Pour cela, plusieurs outils existent tel le Laser Methane Detector (LMD). Cet appareil est récent et son utilisation au pâturage a été très peu étudiée. Cette étude a donc eu pour objectif de tester un protocole d'estimation du méthane émis par les vaches laitières au pâturage, avec le LMD. Dans un second temps, ce protocole a été testé dans un essai de l'Institut National de la Recherche Agronomique et de l'Environnement (INRAE) dans le cadre du projet ERA NET GrASTech. Cet essai étudiait trois traitements alimentaires (T0, T4 et T8) sur des vaches laitières au pâturage. Les vaches recevant T0, T4 et T8 avaient respectivement un apport complémentaire en ensilage de maïs et tourteau de soja (EMS) au pâturage de 0, 4 et 8 kg de MS (Matière Sèche) d'EMS/vache/jour. La définition des paramètres d'estimations au LMD s'est déroulée dans une phase de pré-essai. Un protocole de mesures contenant la durée de mesure ainsi que la distance et la position de l'opérateur par rapport à l'animal a été établi. La position, l'activité et le comportement de l'animal étaient renseignés pour chaque mesure. L'application de ce protocole pendant l'essai a permis de mettre en avant sa faisabilité pratique sur des vaches laitières au pâturage. Les émissions de méthane ont été étudiées avec les variables « moyenne des pics » (en ppm*m) et « nombre de pics » sur une séquence de 4 minutes. L'influence de plusieurs facteurs comme les conditions climatiques, l'heure de mesure, l'animal étudié et l'opérateur a pu être mise en évidence et la variabilité des émissions a pu être observée. En revanche, les mesures d'émissions de méthane, au LMD, n'ont pas permis de classer les vaches en fonction de leur apport complémentaire en EMS. A la suite de cette étude, il serait pertinent de reconduire ce protocole dans d'autres essais, et de comparer les données avec celles d'un autre outil de mesure du méthane. Cela pourrait ensuite donner lieu à l'extension de ce protocole dans des fermes commerciales.

Development of a protocol for measuring enteric methane, with the Laser Methane Detector, for dairy cows on pasture

GAUTIER L. (1)

(1) Ecole Supérieure d'Agricultures, 55 Rue Rabelais, 49000 Angers, France

SUMMARY

Methane emissions from the agricultural sector represent 7.6% of total greenhouse gas (GHG) emissions in the European Union (EU). Of these emissions, 90% are due to enteric fermentation in ruminants. Reducing the methane emitted by these farms is therefore a real issue. To estimate these emissions, it is essential to have tools to quantify the methane emitted. For this, several tools exist such as the Laser Methane Detector (LMD). This device is recent and its use in pasture has been little studied. The objective of this study was therefore to construct a protocol for measuring the methane emitted by dairy cows on pasture, with the LMD. Secondly, this protocol was tested in a trial by the National Institute for Agronomic Research and the Environment (INRAE). This trial studied 3 feed treatments (T0, T4 and T8) on grazing dairy cows. Cows receiving T0, T4 and T8 respectively obtained a complementary intake of corn silage and soybean meal (EMS) to the pasture of 0, 4 and 8 kg of DM (dry matter) of EMS / cow / day. The definition of measurement parameters at the LMD took place in a pre-test phase. Then, a measurement protocol containing the measurement time as well as the distance and position of the operator from the animal was established. The position, activity and behavior of the animal was recorded for each measurement. Application of this protocol during the trial demonstrated its reliability in pasture, on dairy cows. The methane emissions were translated by the variables "average of peaks" (in ppm * m) and "number of peaks". The influence of several factors such as climatic conditions, time of measurement, the animal studied and the operator could be observed. On the other hand, measurements of methane emissions at LMD did not make it possible to characterize the cows according to their complementary intake of EMS. As a result of this study, it would be relevant to test this protocol in other trials and to compare the data with those of another methane measurement tool. This could then lead to the use of this protocol on commercial farms.

INTRODUCTION

En 2018, au sein de l'UE, 7,6% des émissions totales de GES correspondaient aux émissions de CH_4 du secteur agricole. 90% de ce méthane émis provenaient des fermentations entériques des ruminants, et en particulier de celles des bovins (CITEPA, 2020). Ce gaz est un GES puissant et un

précurseur de l'ozone. Ainsi, pour limiter les problèmes environnementaux actuels, les élevages bovins ont comme enjeu de réduire leurs émissions de CH_4 . Plusieurs solutions, telles que l'alimentation ou la génétique, existent déjà (Knapp et al., 2014). Cependant, pour mesurer l'effet de ces dernières, le méthane émis doit pouvoir être quantifié. Pour cela, le LMD s'avère être un outil fiable, facile d'utilisation

(outil portable de 20cm de long) et qui ne perturbe par l'animal. Cet appareil mesure une concentration de méthane dans l'air (en ppm*m), par spectroscopie d'absorption, entre le LMD et le point cible du laser. A l'heure actuelle, plusieurs protocoles de mesures au LMD existent pour des vaches en bâtiment (Chagunda et al., 2013 ; Sorg et al., 2018). Des études ont également mis en évidence l'influence de certains facteurs sur les mesures faites avec cet outil. Ceux-ci peuvent être les conditions climatiques, l'heure de mesure mais aussi le comportement de la vache mesurée (Chagunda et al., 2013, Ricci et al., 2014). Cependant, à l'heure actuelle, peu d'études ont été menées au pâturage. En effet, dans ces conditions, le LMD a uniquement été testé sur des vaches qui se reposaient (Mapfumo et al., 2018), ruminaient (Grobler et al., 2014), ou bien sur des chèvres (Roessler et al., 2021). Ainsi, le nombre de mesures récoltées et les paramètres expérimentaux étudiés, avec un LMD, au pâturage, sont très faibles et nécessitent d'être approfondis (Grobler et al., 2014). Cette étude vise donc à définir un protocole de mesures précis avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage. Celui-ci permettra d'estimer le méthane émis à différents moments de la journée et sur des vaches dans différentes activités et positions. Sa capacité à classer ces vaches, en fonction de leur ration, sera également étudiée lors de son application dans un essai de l'INRAE.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. PRE-ESSAI

La phase de pré-essai s'est déroulée sur 36 jours dans l'Installation Expérimentale de Production Laitière (IEPL) de Méjusse (35). Les mesures ont été réalisées sur les vaches laitières qui participaient ensuite à l'essai. Cette phase a permis de prendre en main le LMD et l'équipement de mesure (télémètre laser, chronomètre, smartphone, fiche d'observation). Elle a également permis de tester différents paramètres de mesures afin de choisir les plus adaptés à l'essai. Ces paramètres étaient : la distance, la position et l'orientation de l'homme par rapport à l'animal, la durée de mesure, le type d'activité et la position de la vache pendant la mesure. Sur cette période, l'opérateur allait au moins 3 fois par semaine sur la ferme, avec des habits similaires, afin d'habituer les animaux à sa présence.

1.2. ESSAI

1.2.1. Animaux, traitements alimentaires et schéma expérimental

L'essai s'est déroulé sur deux mois, du 16 avril au 18 mai 2021. Il comptait 24 vaches laitières de race Prim'Holstein, multipares et en milieu de lactation au début de l'essai. Trois niveaux d'apport en EMS ont été testés avait une proportion de 87% de maïs et de 13% de tourteau de soja. 0 kg de MS d'EMS/vache/jour étaient donnés aux vaches recevant le traitement T0 (témoin) et respectivement 4 et 8kg de MS d'EMS/vache/jour aux traitements T4 et T8. Les rations des lots T4 et T8 étaient distribuées une fois par jour, par un automate de distribution, en complément du pâturage. Les vaches de ces lots avaient accès 2 fois par jour à l'EMS, pendant 1h, après les deux traites du matin et du soir. Le reste du temps, elles étaient au pâturage, dans un nouveau paddock chaque jour, pour chaque traitement. Cet essai était un carré latin 3*3, répété 8 fois, avec 4 carrés qui tournaient dans un sens et 4 dans le sens opposé. Il y a eu 3 périodes de 21 jours (P1, P2, P3) dans cet essai et chaque vache a reçu tous les traitements alimentaires.

1.2.2. Application du protocole de mesure du LMD

Pendant l'essai, 24 jours de mesures ont été réalisés avec le protocole du LMD. Pour chacune des trois périodes, 4 jours de mesures étaient réalisés par l'opérateur principal et 4 jours par l'opérateur principal et secondaire. Les mesures se

déroulées de 9h à 16h, sur la période de pâturage diurne des vaches. Chaque vache était mesurée 2 fois par jour et par opérateur (une fois le matin et une fois l'après-midi). L'ordre des mesures a été défini aléatoirement tous les matins, pour chaque opérateur. Cet ordre était conservé l'après-midi pour avoir un laps de temps similaire entre les deux mesures de chaque vache. Les mesures de méthane ont pu être réalisées grâce au protocole de mesure du LMD, défini dans la phase de pré-essai. Ce protocole contient plusieurs critères de mesure. Tout d'abord, l'opérateur se plaçait à une distance de 2m et à un angle de 90° par rapport à l'axe de la tête de l'animale en visant les naseaux. En effet, c'est au niveau du naseau que le méthane est mesuré, grâce à la visualisation du laser vert du LMD. Ce naseau devait être du côté opposé au soleil, si possible, afin que le point vert du laser soit plus visible. La distance de 2m était contrôlée grâce au télémètre laser, fixé sur le LMD. Cette distance permettait une mesure précise, sans perturber l'animal. L'enregistrement de chaque mesure était de 4'10" pour assurer une durée de 4min par mesure. Cette durée permettait de récolter un nombre maximal de données, et de faire toutes les mesures prévues, par jour, dans l'essai. La position de l'animal (debout ou couchée) ainsi que son activité (pâturage, rumine, rien) étaient renseignées sur une fiche d'observation à l'issue de chaque mesure. Lorsqu'un évènement particulier (la vache se lèche, avance, boit, change de position, interagit avec une autre vache, ...) survenait pendant la mesure, l'opérateur devait noter cette information sur la fiche d'observation, ainsi que le laps de temps associé. L'opérateur devait également réagir au mieux lors de ces évènements, afin de respecter le protocole de mesure et de ne pas effrayer l'animal. Toutes les données mesurées avec le LMD étaient enregistrées simultanément sur un smartphone. Chaque mesure contenait une mesure de méthane (en ppm*m) par ½ seconde. Ces données, et celles renseignées sur la fiche d'observation, ont été intégrées dans une base de données. Des mesures faites par l'INRAE ont également été ajoutées à cette base. Celles-ci sont les conditions météorologiques par heure, pour chaque jour de mesures et la production laitière (en kg de lait/vache/jour). Les données sur les émissions de méthane ont été étudiées grâce aux variables « moyenne des pics » et « nombre de pics ». Un pic correspond à une concentration de méthane mesurée sur 1/2s (en ppm*m) qui est supérieure à celle de la 1/2s précédente et à celle de la suivante (Sorg et al., 2018). Une analyse descriptive a été faite sur l'ensemble des données. Une ANOVA (Analysis of variance) a été faite uniquement sur les données de l'opérateur 1. Le modèle a comme variable à expliquer la moyenne des pics. Ses variables explicatives sont le traitement alimentaire (effet fixe), la période (effet fixe) et l'animal (effet aléatoire).

2. RESULTATS

2.1. UN PROTOCOLE AU PATURAGE DEFINI PENDANT LE PRE-ESSAI

Le pré-essai a permis de réaliser 344 mesures, étalées sur 15 jours. Différentes durées, distances et positions entre l'homme et l'animal ont pu être testées. Le pré-essai a mis en évidence la possibilité d'estimer le méthane émis par des vaches dans différentes positions et activités. Tous ces éléments ont permis de construire un protocole précis de mesures au pâturage avec le LMD. Ce protocole correspond à celui détaillé dans le matériel et méthodes de l'essai. Cette phase de pré-essai a également permis d'établir une relation de confiance réciproque entre l'animal et l'opérateur. Au début les vaches étaient craintives, ou intriguées, ce qui compliquait les mesures. Puis, les vaches ont fini par ignorer la présence de l'opérateur. Ainsi, les mesures au LMD pouvaient être réalisées sur vaches dans leur comportement naturel. Dans ce pré-essai, l'opérateur a également défini les réactions à adopter pendant la mesure, selon les comportements de l'animal. Par exemple, si une vache

interagissait avec la vache mesurée, il devait la repousser docilement. En effet, cette vache pouvait biaiser la concentration du méthane émis par la vache et mesuré au LMD. Pour d'autres événements tels qu'un déplacement de la vache, l'opérateur devait la suivre au mieux, puis renseigner le laps de temps associé sur la fiche d'observations. Pour chaque situation, l'opérateur devait un compromis entre des mesures qui respectent le protocole défini, et qui n'apeurent pas l'animal. L'objectif étant *in fine* d'avoir des mesures fidèles à la réalité du méthane émis par les vaches.

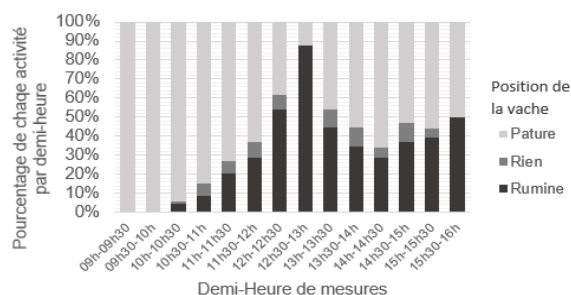
2.2. DES MESURES REALISEES DANS DIVERSES CONDITIONS

L'application du protocole de mesures à l'essai a permis de réaliser 1650 mesures. 81% de ces mesures ont été réalisées sur des vaches debout, 17% sur des vaches couchées et 2% ont changé de position pendant la mesure. 66% des mesures ont été faites sur des vaches qui pâturaient, 22% sur des vaches qui ruminaient et 6% sur des vaches qui avaient une autre activité (activités mixtes ou d'abreuvement).

La position debout représentait 99% des mesures au pâturage, 36% de celles en rumination et 52% de celles qui ne faisaient rien. Au cours d'une journée de mesure, la proportion de chaque activité, par demi-heure de mesures, était très variable (Figure 1).

Figure1 : Répartition des activités principales des vaches, par demi-heure de mesures, au cours d'une journée

Les mesures se sont étalées de mi-avril à mi-juin 2021 et les conditions météorologiques ont été très variables sur les 3 périodes (Figure 2). L'humidité moyenne était plus importante

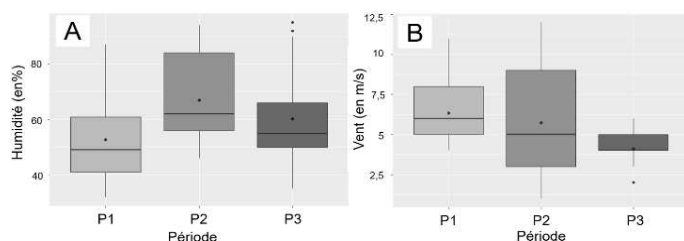


en P2 qu'en P1 (Figure 2-A). Le vent moyen était maximal en P1 et minimal en P3. En P2, le vent moyen était intermédiaire aux deux autres périodes mais il était bien plus variable (Figure 2-B). Les variations de climat, visibles ici par période, l'étaient également sur une même journée, pendant tout l'essai.

Figure 2 Boxplots de l'humidité (A) et du vent (B) par période

2.3. DES EMISSIONS DE METHANE QUI VARIENT SELON PLUSIEURS FACTEURS

Sur la totalité des mesures faite au LMD, la moyenne des pics par mesure était de 97ppm*m et l'écart-type de 60ppm*m. Le nombre de pics moyen par mesure était de 138 pics et l'écart-

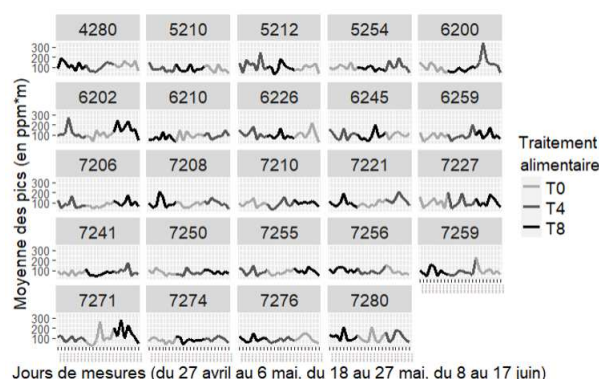


type de 10 pics. Les résultats obtenus sur les émissions de méthane des vaches laitières, en fonction de leur apport complémentaire en EMS, au pâturage, sont illustrés dans le Tableau 1. Les moyennes des pics diffèrent pour les trois périodes. La moyenne maximale est atteinte en P3 et la

minimale en P2. Les différences de moyennes de pics entre les traitements varient selon les périodes. Pour les vaches recevant T0, les émissions de méthane sont minimales en P1 et P3 et elles sont maximales en P2. En P1 et P2, les vaches recevant T4 ont des émissions inférieures à celles recevant T8. En P3, ces émissions sont égales. En P3, les écart-types sont plus importants pour les trois traitements. En P2, les moyennes de pics, pour les trois traitements, sont très proches. La réalisation de l'ANOVA a mis en évidence un effet période très significatif avec une p-value<0,001 (Tableau 1). Le modèle de cette analyse est un modèle de cross over. Ainsi, l'analyse statistique du traitement alimentaire n'a pu être faite que sur la première période de mesures. A l'issu de ce test, le résultat montre un effet non significatif (p-value =0,443) du traitement alimentaire sur les émissions de méthane mesurées par le LMD.

Période	P1			P2			P3		
Traitement alimentaire	T0	T4	T8	T0	T4	T8	T0	T4	T8
Moyenne	89	98	99	77	75	77	102	107	107
Ecart-type	45	56	57	42	42	38	64	65	67
Résultats statistique de l'ANOVA									
Effet Période							p-value<0,001		
Effet Traitement alimentaire en P1							p-value = 0,443		

Tableau 1 Moyenne des pics (en ppm*m) par période et par traitement alimentaire, pour l'opérateur principal.



Jours de mesures (du 27 avril au 6 mai, du 18 au 27 mai, du 8 au 17 juin)

Figure 3 Evolution des moyennes de pics (en ppm*m) par animal en fonction des jours et du traitement alimentaire.

En plus des différences d'émissions observées par période, tous traitements confondus, les résultats ont mis en évidence des différences d'émissions entre les jours de mesures. D'autre part, des évolutions extrêmement hétérogènes entre les animaux ont également pu être observées (Figure 3). Des vaches ont par exemple des émissions moyennes importantes (6202, 7227) et d'autres très faibles (7276, 7241). Ces différences sont également visibles pour des animaux recevant un même traitement alimentaire en même temps (5210, 5212).

Enfin, les émissions étaient également différentes en fonction de la position et de l'activité de la vache (Tableau 2).

Position	Activité	Moyenne des pics		Nombre de pics	
		Moyenne	Ecart-Type	Moyenn-e	Ecart-Type
Debout	Rumine	100	45	141	13
	Rien	105	39	140	15
	Pâturage	100	66	138	9
Couchée	Rumine	85	43	139	12
	Rien	80	44	136	14
	Pâturage	58	12	137	4
Demi-Journée	Matin	104	70	137	10
	Après-midi	91	48	140	10

Tableau 2 Moyenne de pics (en ppm*m) et nombre de pics (en pics) par position et activité et par demi-journée

Sur l'ensemble des mesures, les vaches ont une moyenne et un nombre de pics supérieurs quand elles sont debout (significatif). Dans cette position, elles émettent autant de méthane qu'elles pâturent ou ruminent. En revanche, en position couchée, elles émettent plus de méthane quand elles ruminent (non significatif).

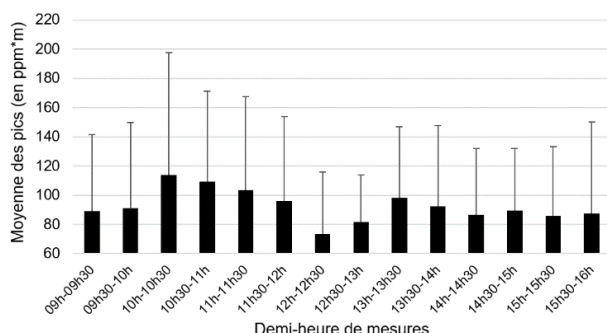


Figure 4 Evolution de la moyenne des pics (en ppm*m) sur une journée

Les émissions étaient également différentes selon le moment de la journée. Les vaches émettaient plus de méthane le matin que l'après-midi. En revanche, le nombre de pics était plus élevé l'après-midi (Tableau 2). Lorsque les émissions étaient observées à l'échelle de la demi-heure de mesures, pour toutes les vaches, un maximum d'émission apparaissait entre 10 et 11h (Figure 4). Finalement, les vaches n'ont pas pu être classées par leur apport complémentaire d'EMS grâce au méthane mesuré par le LMD. En revanche, les résultats obtenus par l'INRAE sur la production laitière des vaches ont montré un effet significatif de ce traitement. Sur chaque période, la production laitière était supérieure pour les vaches recevant un apport complémentaire d'EMS au pâturage.

3. DISCUSSION

3.1. UN PROTOCOLE FIABLE AU PÂTURAGE ET ADAPTE A L'ESSAI

Le pré-essai a permis de construire et de valider un protocole de mesures, avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage pour prédire le méthane émis. Grâce à la présence régulière de l'opérateur pendant cette période, les vaches se sont habituées et l'ont ignoré. Ainsi, leur comportement au pâturage était habituel, comme le souhaitait plusieurs auteurs (Ricci et al., 2014). Ce protocole a ensuite pu être appliqué à l'essai et respecté sur toute sa durée. Ainsi, une large base de données de 110h d'enregistrements répartis en 70 mesures/vache (position et activité associées) a pu être construite. Ce protocole a donc permis de contribuer au besoin d'élargir le nombre de mesures, faites avec un LMD, au pâturage (Grobler et al., 2014). La moyenne des pics obtenue (97 ppm*m) était légèrement inférieure à celle obtenue par Sorg et al. en 2018 (129 ppm*m) et l'écart-type (60 ppm*m) était supérieur à celui de Sorg et al. (54 ppm*m). Cependant, dans cette étude, les mesures avaient été faites dans un bâtiment. Or, la concentration de méthane mesurée dans l'air par le LMD peut être diluée par le vent (Chagunda et al., 2013) et cet élément n'est normalement pas présent en bâtiment. Ceci pourrait donc expliquer une moyenne de pics inférieure au pâturage. Ces auteurs avaient également montré que la concentration de CH₄ mesurée sur des vaches qui se déplacent était plus faible que sur des vaches inactives. Or, au pâturage, les vaches se déplaçaient fréquemment. Enfin, ces auteurs avaient observé, à l'instar de cette étude, des émissions de CH₄ plus faibles pour des vaches qui ruminent debout plutôt que couchées. Pour la variable « nombre de pics », la moyenne était de 138 pics par mesure de 4min, soit 35 pics/min. Ceci correspond au taux respiratoire des bovins (Thompson et al., 2011).

En considérant les activités et positions des animaux, le protocole a également permis d'observer la dynamique journalière des animaux. En effet, les vaches pâturaient toutes debout en arrivant dans la parcelle. Puis, entre 10h et 13h la proportion de vache en rumination augmentait. L'après-midi, le comportement du troupeau était plus hétérogène et les émissions de méthane plus faibles. Le matin, les émissions de méthane étaient supérieures à celles de l'après-midi, avec un pic atteint entre 10h et 11h. En 2014, Ricci et al. avaient mis en avant que ce pic d'émissions survenait juste après le repas. Enfin, de fortes différences d'émissions ont pu être observées à l'échelle des individus. Ceci pourrait être lié à l'heure de mesure, ou bien au comportement de l'animal qui pouvait faciliter ou non la réalisation de la mesure. D'autre part, l'explication pourrait être génétique (Denninger et al., 2020). Au regard des résultats et de ces différentes études, la fiabilité des mesures réalisées avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage, a donc pu être validée.

3.2. DES EMISSIONS DE METHANE SIMILAIRES ENTRE LES DIFFERENTS NIVEAUX D'APPORT EN EMS

Les mesures faites au LMD n'ont pas permis de différencier les vaches selon leur traitement alimentaire. Les moyennes de pics étaient néanmoins supérieures pour T4 et T8, en P1 et P3. Ceci pourrait s'expliquer par la quantité réelle ingérée en EMS (qui était parfois inférieure à la quantité offerte), et par la qualité de l'ensilage de maïs (Knapp et al., 2014). L'ingestion réelle d'herbe ainsi que sa qualité pourrait également être une explication. Toutes ces données sont analysées par l'INRAE et il serait donc intéressant de les croiser avec les mesures du LMD. A l'inverse de l'effet du traitement alimentaire, l'effet période s'est montré très significatif sur les mesures de méthane. En croisant ces données avec les conditions climatiques des corrélations ont pu être établies. Par exemple, en P2 les émissions de méthane étaient minimales et le vent était intense et très variable. En P3, les émissions étaient maximales et le vent minimal. Ceci confirme donc l'impact du vent et de l'humidité sur les mesures faites au LMD par Chagunda et al. (2013). La météo pourrait également expliquer les variations journalières observées pour toutes les vaches. Des différences avaient aussi été observées entre les mesures de l'opérateur principal et secondaire. Ainsi, dans le cadre de l'exploitation des mesures faites avec un LMD, il sera pertinent de prendre en compte tous ces facteurs.

CONCLUSION

Ces premiers résultats ont donc permis la construction d'un protocole de mesure, avec le LMD, sur des vaches laitières au pâturage. Son application est fiable et pratique mais sa fiabilité devra être précisée par des mesures de répétabilité. Le protocole n'a pas permis de différencier les vaches en fonction de leur apport complémentaire en EMS. Cependant, il a été montré que de nombreux facteurs pouvaient influencer les émissions de méthane enregistrées à l'aide du LMD. Ces derniers devront être pris en compte pour de nouvelles mesures au LMD.

Je remercie les partenaires du projet GrASTech ainsi que le programme européen, ERA-NET SUSAN, qui le finance. Je remercie Benoît Rouillé pour son encadrement sur cette étude, l'Institut de l'Elevage et l'INRAE pour leur accueil.

CITEPA, 2020. Rapport national d'inventaire
Chagunda M.G.G., et al., 2013. Ani. Sci., 63, 68-75
Denninger T.M., Jou. of dai. Sci. 103, 2024-2039
Grobler S.M.,et al.,2014. Sou. Afr. Jou. Ani. Sci., 44, 12-16.
Knapp J.R., et al., 2014. Jou. of Dai. Sci., 97, 3231-3261
Mapfumo M.F., et al., 2018. Pastoralism, 8, 1-8.
Ricci P., et al., 2014. Jou. of Dai. Sci.,92, 5239 5250
Roessler R., Schlecht E., 2021. Animal, 15, 100070
Sorg D., et al., 2018. Com. and Elec. in Agr., 153, 285-294
Thompson V.A.,et al., 2011. Jou. Ani. Sci, 89,3973-3982.