

Les émissions de méthane entérique en Vendée : acquisition de valeurs de référence et recherche de solutions pour les réduire au sein de la filière bovine allaitante

Travaux de recherche conduits sur la ferme
expérimentale des Établières



Collection

Résultats

Responsables de la rédaction :

Jean-Jacques BERTRON et Bertrand DEROCHE (Institut de l'Élevage)

Sixtine FAUVIOT, (Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, Responsable de la ferme expérimentale des Etablières)

Avec la collaboration de l'ensemble de l'équipe technique de la ferme expérimentale des Etablières.

Sommaire

Résumé

1 – **Contexte** : apport d'éléments de contexte et de bibliographie, pour déployer un appareil de mesures de méthane entérique des ruminants sur le site de la ferme expérimentale des Etablières, en Vendée.

2 – **Références, méthodes, mesures et outils actuels** : adaptation du GREENFEED à la ferme des Etablières : suivi, ingénierie et plans, installation, paramétrage, tests

- dans les bâtiments : équipements de stabilité, fixation et protection de l'appareil + double trémie
- au pâturage : besoin de mobilité via une remorque adaptée et autonome (énergie, internet, protection)

3 – **Résultats obtenus sur 4 séries d'animaux** :

Démarrage et suivi de la collecte des données dans les essais sur 12 mois, analyse et traitement des données, compte rendu technique,

- en bâtiment
- au pâturage

4 – **Premiers travaux d'inventaire de solutions de réduction des émissions de CH₄ entérique** : éléments bibliographiques

Etat des connaissances pour identifier des solutions à intérêt dans le cadre des contextes de production de bovins viande régionaux

5 – **Un projet d'amorce pour un programme de grande envergure : lien entre ce projet et le programme Méthane2030** : programme national multi-partenarial soutenu financièrement par France 2030 via BPI France dont la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire et la ferme expérimentale des Etablières sont partenaires. Eléments de ces tests qui ont contribué à construire le programme national avec INRAE : Méthane 2030.

Conclusion

Résumé

Depuis 1900, la température moyenne de l'air a augmenté de 1°C dans le monde et serait liée à une hausse de la quantité de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. En France, 19% des gaz à effet de serre proviennent du secteur agricole. Le méthane entérique (CH₄) est le 1^{er} gaz émis dans ce secteur et provient à 87% des bovins, qui le produisent naturellement au cours de leur processus digestif. Malheureusement, trop peu d'études ont été menées en France dans des contextes représentatifs de la diversité des systèmes d'élevage bovin allaitant.

42% de la viande bovine française est produite dans le Grand Ouest, principalement dans la région Pays de la Loire. Il existe donc un enjeu d'évaluation et de réduction des émissions de CH₄ important en Pays de la Loire.

A la demande du Conseil Départemental de Vendée et avec son soutien financier, une première étude exploratoire sur les émissions de CH₄ en élevage bovin allaitant a été conduite entre 2021-2023 sur la ferme expérimentale des Etablières, à la Roche Sur Yon.

L'objectif consistait à acquérir des références sur plusieurs catégories de bovins allaitants Charolais (jeunes bovins, vaches suitées, génisses de renouvellement) et des rations représentatives (en bâtiment et au pâturage) des systèmes de Vendée / Pays de la Loire.

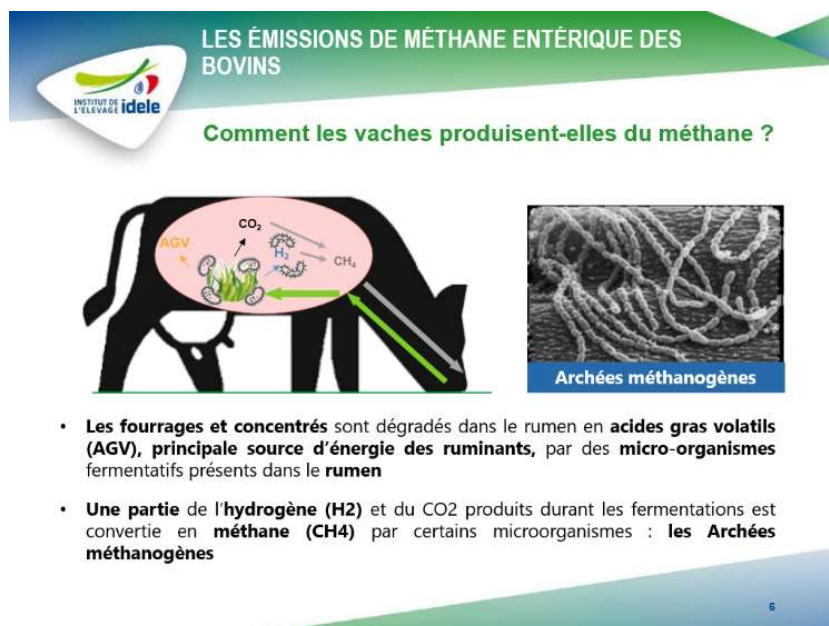
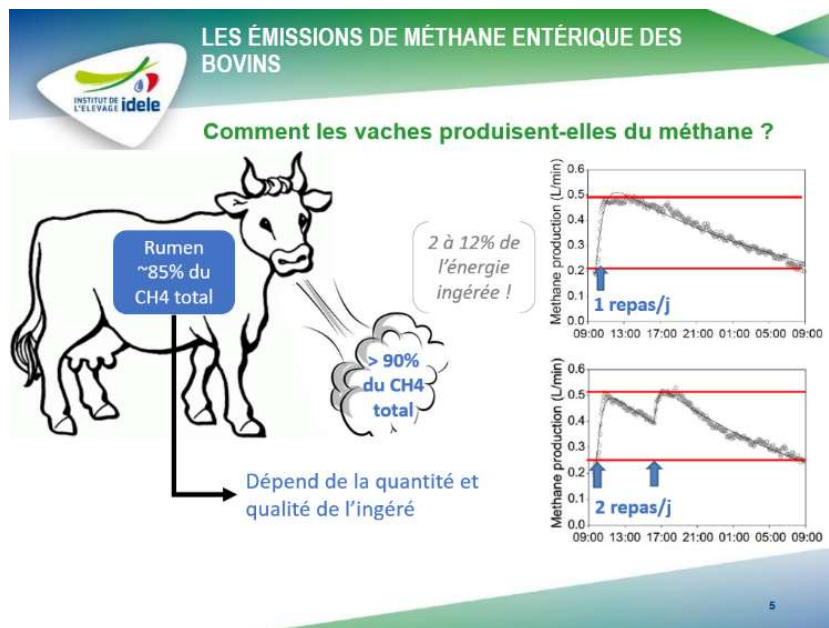
Les mesures de CH₄ ont été réalisées grâce à un Greenfeed qui est un distributeur automatique de petites quantités de concentré couplé à des outils de quantification du CH₄ éructé. Un dispositif de protection de cet outil en bâtiment et un dispositif de protection + mobilité au pâturage ont été spécialement conçus et construits localement en Vendée et dans le Choletais.

Les premières références de CH₄ obtenues montrent une plage de variation comprise entre 157 et 263 g/j/jeune bovin charolais (444 kg vif et 10,7 mois) et entre 179 et 272 g/j/jeune bovin charolais (370 kg vif et 8,5 mois) à l'engraissement avec des rations à base d'ensilage de maïs seul ou associé à de l'ensilage d'herbe. Au pâturage, les vaches suitées (4,1 ans) ont émis entre 236 et 294 g/j/vache au printemps, tandis que les génisses de renouvellement (22,7 mois et 629,3 kg vif) ont émis entre 213 et 277 g/j/animal en période estivale (affouragées avec du foin et enrubannage en majorité) puis entre 274 et 346 g/j/animal en période automnale (accès à l'herbe fraîche + affouragées avec du foin et enrubannage).

Ces premiers essais de mesures de CH₄ avec un GreenFeed sur des bovins allaitants ont apporté énormément d'expertise à l'équipe des Etablières et à IDELE, sur la faisabilité technique de telles mesures, récentes en France dans le domaine de la recherche appliquée. Forts de ces enseignements et de ces apports techniques, la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire a pu se positionner comme partenaire d'un projet national d'envergure, Méthane 2030, multi-partenarial, encadré par deux Instituts Techniques nationaux (INRAE et IDELE) et financé par France 2030 (BPI France). Dès lors, la ferme expérimentale des Etablières va conduire 4 essais expérimentaux (nationaux) dans le cadre de ce projet entre 2024 et 2026 et ainsi mobiliser les connaissances et compétences acquises grâce à ce projet d'étude.

Contexte

Depuis plusieurs décennies, un lien étroit entre la hausse de la température moyenne de l'air et celle des GES a été démontré (Hartmann et al., 2013). Le CH₄ est le second gaz responsable du réchauffement climatique. Son pouvoir de réchauffement global est 28 à 34 fois supérieur à celui du CO₂ rapporté sur 100 ans et sa durée de vie moyenne dans l'atmosphère est de 12,4 ans (Myhre et al., 2013). Pour la France en 2018, l'agriculture représentait 19,2% des émissions de GES rapporté en équivalent CO₂. Le CH₄ était le 1^{er} gaz émis par ce secteur, dont 87% de ses émissions provenaient de l'élevage de bovins (Citepa, 2023). Chaque individu de cette espèce produit naturellement entre 93 et 455 g de CH₄ par jour, principalement issu du rumen (Hammond et al., 2016; Murray et al., 1976), par la voie métabolique de fermentation des glucides. En effet, l'hydrogène libérée au cours de ce processus est captée par les *Archaea* méthanogènes pour produire du CH₄ (Broucek, 2014).



En France, 42% de la production de viande bovine est réalisée dans le grand Ouest (Bretagne, Pays de la Loire, Normandie), soit près de 10% de la production européenne. Les Pays de la Loire sont au premier rang dans cette grande région, avec une production majoritairement issue des bovins allaitants (*Pôle économie et prospective des Pays de la Loire, 2015*).

Compte-tenu de l'impact de l'élevage de bovin allaitant sur le réchauffement climatique, la réduction des émissions de CH₄ par les bovins allaitants représente donc un enjeu important dans cette région.

L'évaluation du CH₄ chez les bovins allaitants est moins représenté qu'en élevage laitier au niveau mondial et français (*Della Rosa et al., 2022*). Les études françaises sur cette thématique et catégorie de ruminant ont investigué certaines rations, mais manque d'exhaustivité pour être représentatives de la majorité des situations françaises (*e.g. Martin et al., 2007*).

Plusieurs pistes ont été identifiées pour réduire les émissions de CH₄ chez les bovins : la génétique de l'animal, sa conduite, sa ration et l'utilisation de compléments dans la ration (*Beauchemin et al., 2020*). Toutefois, avant de vouloir réduire ces émissions, il est primordial de les quantifier selon les caractéristiques intrinsèques des élevages de bovins allaitants du département de la Vendée.

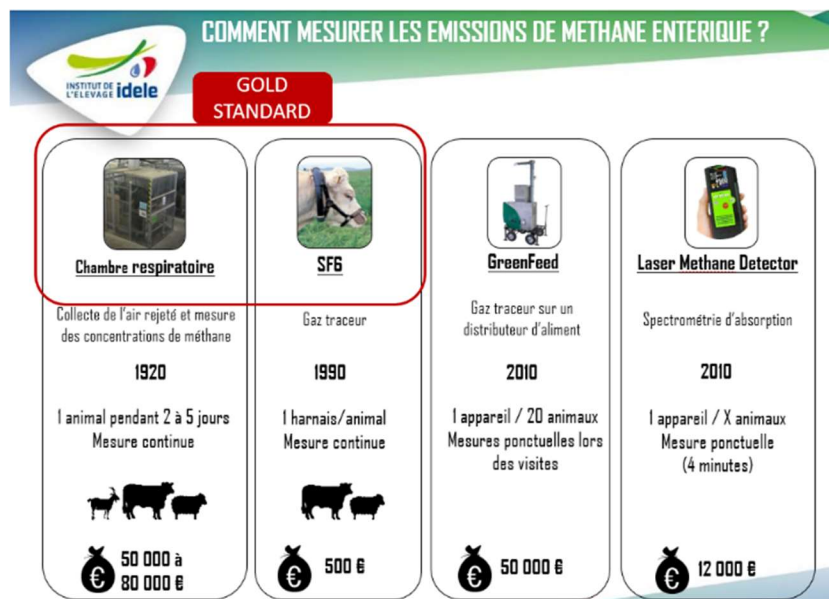
Dans ce département et plus globalement dans le Grand Ouest de la France, la ration des bovins en élevage de type naisseur est principalement composée d'herbe pâturée ou conservée. La part de maïs ensilage dans la ration des bovins augmente légèrement dans les élevages de type naisseur-engraisseur, tandis qu'elle prédomine dans les élevages de type engraisseur (*Inosys Réseau d'élevage, 2022*). En plus de cet ensilage, l'ensilage d'herbe est parfois incorporé en faible proportion dans la ration des jeunes bovins et des vaches allaitantes en engraissement. Les génisses allaitantes sont également engraisées majoritairement avec de l'ensilage de maïs en bâtiment ou au pâturage. Leur ration peut parfois comporter de l'ensilage ou de l'enrubannage d'herbe (*Douhay and Brouard, 2021*).

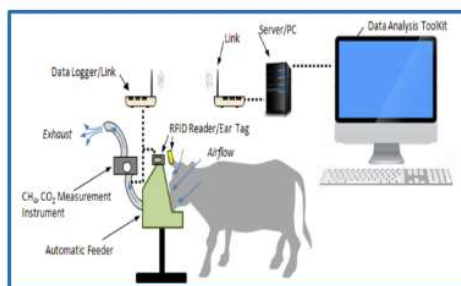
A ce jour, il existe peu de références bibliographiques sur les émissions de CH₄ au pâturage par les bovins allaitants dans le monde et encore moins en France. De plus, il n'existe pas de données de référence sur les émissions de CH₄ des bovins allaitants en Vendée selon la catégorie de bovin et la ration distribuée.

Références, méthodes, mesures et outils actuels

La méthode de référence pour mesurer les émissions de CH₄ des ruminants existe depuis près d'un siècle : il s'agit de la chambre respiratoire. C'est une chambre au flux d'air contrôlé qui quantifie les gaz entrants et sortants, dont le CH₄. Hormis la précision de la mesure obtenue, cette méthode comporte de nombreux inconvénients, comme son coût d'utilisation, la contrainte pour l'animal enfermé dans cet outil, un lieu fixé ou encore un faible nombre d'animaux étudiés. Pour y pallier, d'autres outils d'estimation du CH₄ existent (Hammond et al., 2016; Pickering et al., 2015).

Le système « GreenFeed » est l'appareil de mesure des émissions de CH₄ des ruminants, alternatif à la chambre respiratoire, le plus utilisé en expérimentation animale (C-Lock Inc, 2021 ; Hammond et al., 2016; Pickering et al., 2015). Il permet de réaliser de nombreuses mesures « spot » (3 minutes minimum) sur 20 à 25 animaux maximum. La littérature scientifique recommande de recueillir au minimum 21 mesures par animal réparties sur 2 à 3 semaines. L'émission de CH₄ individuelle sur une journée (en grammes/jour) est ainsi estimée de façon fiable et répétable. Le GreenFeed associe un distributeur automatique de concentré avec un système d'analyse de l'air situé dans l'auge où s'alimente l'animal. Ce système identifie chaque animal à partir de sa boucle électronique, puis quantifie le CH₄ qu'il émet lorsqu'il s'y alimente. Pour cela, une quantité précise et limitée de concentré lui est distribuée à intervalle de temps prédéfini, afin de maintenir l'attractivité de l'animal et qu'il conserve sa tête à l'intérieur de l'auge au minimum 3 minutes.





Distributeur d'aliment
couplé à différents capteurs
(composition gaz, position tête,
anémomètre)

Mesures « spot » de
quelques **min (3-4 min)**

21 mesures « spot » pour
une **estimation fiable**

~20-25 animaux en
simultané

$$\text{CH}_4 \text{ (g/j)} = \text{flux d'air} \times [\text{CH}_4]$$

D'autres outils de mesures ou proxys de moindre qualité de quantification du CH₄ existent (Laser Méthane Detector, SNIFFER, infrarouge des fèces), mais nécessitent d'autres études pour espérer les utiliser ultérieurement en élevage commercial. A ce jour, d'autres programmes de recherche collaboratifs visent à compléter les lacunes sur ce sujet.

Choix de l'équipement GreenFeed et travail sur la faisabilité à la ferme expérimentale des Etablières

L'installation de cet appareil sur la ferme expérimentale des Etablières a nécessité des adaptations dans les bâtiments, notamment pour le protéger contre les chocs éventuels provoqués par les bovins, mais aussi assurer une stabilité de l'outil et assurer ainsi la qualité des mesures. Il a donc été créé un « dispositif de protection » sur lequel l'appareil a été fixé pour pouvoir le déplacer facilement de case en case.

Ce projet conduit a permis la concrétisation d'un dispositif de protection du GreenFeed avec un couloir d'isolement du bovin en amont et un espace de protection de l'opérateur à l'arrière de l'outil (cf. photo) :

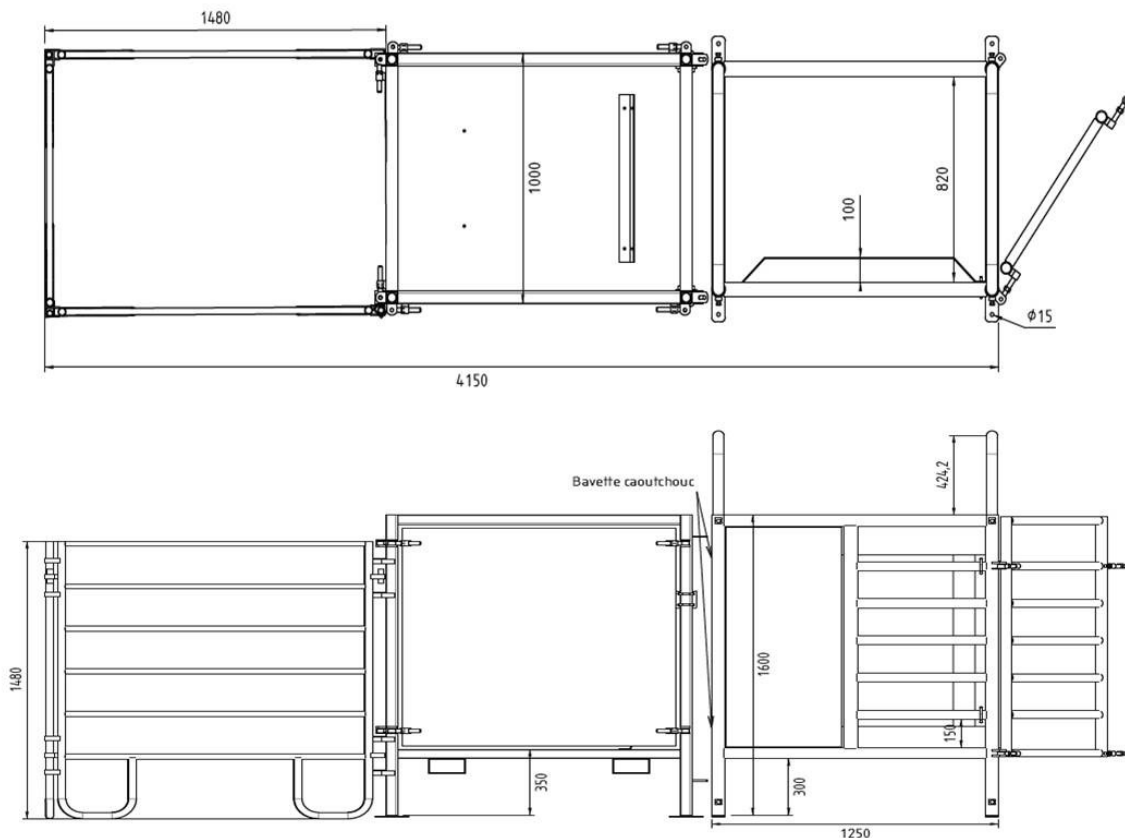


Un prototype de ce dispositif de protection a été fabriqué sur mesure au cours de plusieurs échanges et allers-retours du matériel auprès de

l'entreprise fabricante (Société DG Agri Services - Magaud – 85170 Saligny). L'utilisation de ce dispositif en conditions réelles dans les bâtiments et avec les bovins de la ferme des Etablières a permis un

ajustement de l'équipement pour, à la fois assurer la sécurité des hommes et des animaux, et maintenir l'attraction des bovins pour qu'ils se présentent et conservent volontairement leur tête dans l'appareil pour collecter leurs émissions de CH₄. Ce prototype et l'expertise accumulée à la suite de son utilisation ont été utilisés comme base de réflexion pour fabriquer d'autres dispositifs de protection des appareils GreenFeed, dont les plans sont présentés ci-dessous.

Figure : Plan des dispositifs de protection pour GreenFeed réalisés à la suite des tests effectués sur la ferme expérimentale des Etablières



Les bovins allaitants passent le plus clair de leur temps en extérieur, au pâturage. Pour réaliser des mesures d'émissions de CH₄ au pâturage, il a fallu créer un « dispositif de mobilité » du GreenFeed qui intègre sur une remorque : une alimentation électrique autonome associée à une connexion internet à distance de ce système.

Figure : Prototype de remorque servant à la fois de support au GreenFeed, pour le déplacer de parcelle en parcelle, pour le protéger vis-à-vis des animaux, pour lui assurer une totale autonomie en énergie (panneaux photovoltaïques et batteries de stockage embarqués) et en connexion internet.



La mise au point de ce dispositif de mobilité, adaptée au GreenFeed et conditions au pâturage, a nécessité plusieurs échanges et allers-retours du matériel auprès de l'entreprise fabricante (Société Matuboc, 49620 Mauges-sur-Loire).



Ce dispositif de mobilité prototype ainsi que l'expérience acquise grâce à ces premières mesures ont été utilisés et partagés avec INRAE pour la fabrication d'autres dispositifs de mobilité des GreenFeed mieux adaptés qui seront utilisées dans un programme de recherche plus large au niveau français (Méthane 2030).

Figure : Photo de deux dispositifs de mobilité pour GreenFeed réalisés à la suite des tests effectués sur la ferme expérimentale des Etablères



Un mode opératoire de l'utilisation du GreenFeed, avec tous les détails nécessaires à son utilisation, a été formalisé et rédigé grâce à ce projet (cf. Annexe 1).

Résultats obtenus sur 4 séries d'animaux

Le GreenFeed a été mis en place au sein des lots d'animaux présentés dans le tableau ci-dessous. Ce tableau récapitule les périodes de l'année, les lieux de mesure, la catégorie d'animaux étudiée et la ration distribuée à chaque lot de bovins. Le Greenfeed a été installé pendant des périodes assez longues, incluant un temps d'adaptation de 7 jours des animaux à cet outil, et permettant un minimum d'une visite par jour par animal répartie sur 21 jours de mesures. Compte tenu des problèmes techniques auxquels nous avons été confrontés, les durées des périodes de mesures ont été assez longues permettant ainsi à un maximum d'animaux de s'habituer à l'appareil, et donc de venir régulièrement.

Période de l'année	Lieu de mesure	Catégorie d'animal	Ration
10/12 au 22/12/2021	Bâtiment	Jeunes bovins	70% ensilage herbe + 30% ensilage de maïs + blé + tourteau de colza
18/09 au 08/12/2022	Bâtiment	Jeunes Bovins	100% ensilage maïs + blé + tourteau de colza
24/05 au 15/10/2022	Pâturage	Génisses de 2 ans	Pâturage été et automne + foin et enrubannage au râtelier extérieur
28/03 au 17/06/2022	Pâturage	Vache allaitante suitées avec veaux d'automne	Pâturage herbe de printemps

EN BATIMENT

1/ Premier test sur Jeunes Bovins à l'engraissement d'octobre à décembre 2021

Le dispositif de protection construite sur mesure par l'entreprise DG Agri Services Magaud (85) nous semble suffisamment solide pour assurer la protection de l'appareil et la qualité des mesures (coût d'un GreenFeed : 70 000 €). Nous avons donc démarré les mesures avec l'installation du dispositif avec GreenFeed pour la première fois dans une case d'engraissement contenant 8 Jeunes Bovins. Nous nous sommes rendu compte très rapidement que les animaux s'approchaient peu de l'appareil ; en cause, probablement un couloir trop long et fermé sur la totalité de la longueur. De plus, une plateforme dans le couloir (légère surélévation) semble gênante pour faciliter l'entrée des animaux. Le personnel de la ferme des Etablières a passé beaucoup de temps pour accompagner les animaux au sein de l'appareil, sans les forcer à rentrer dans le couloir (dépose d'aliment dans le milieu du couloir et sur les côtés du GreenFeed...). Peu de visites ont été enregistrées les premiers jours. Toutefois après l'habituation de quelques animaux, les premières mesures ont été collectées. Tous les animaux ne se sont pas habitués à l'appareil. C'est un demi-échec, en grande partie à cause du dispositif de protection, solide certes (une priorité), mais avec les contraintes précédemment décrites pour les animaux.

Bilan sur les données collectées :

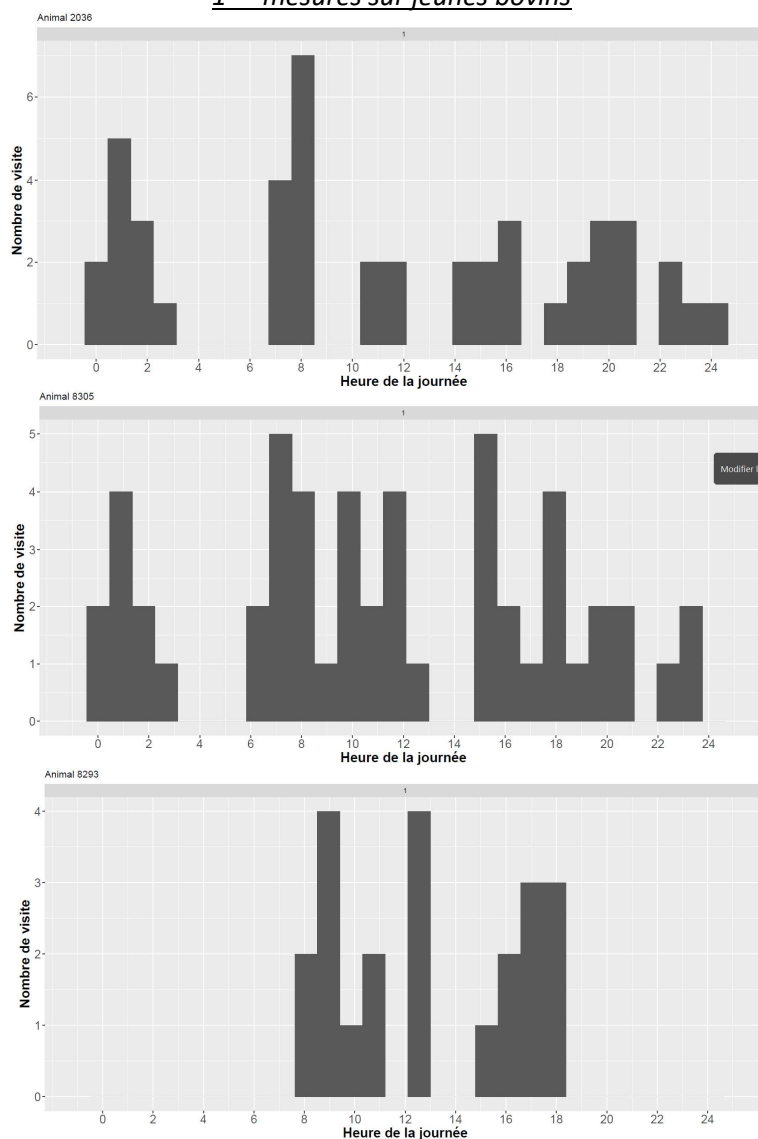
202 visites d'animaux enregistrées par 6 animaux, qui sur la 2^{ème} partie du test, venaient tous les jours ou presque au GreenFeed.

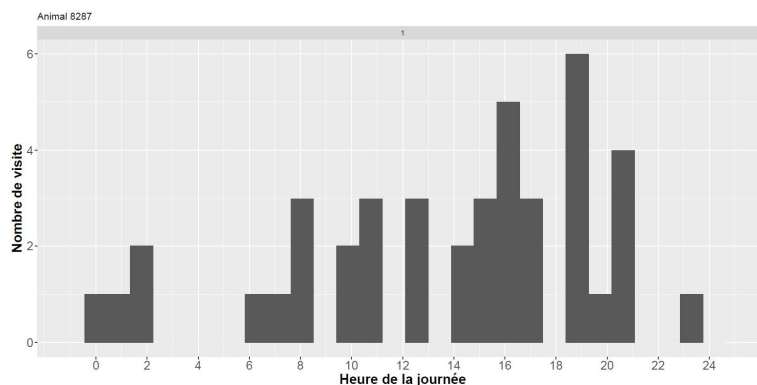
Des visites éliminées selon la méthodologie de nettoyage des données recommandée par la littérature scientifique (données aberrantes, écart sur les résidus...).

Ainsi, sur cette période, seulement 4 animaux ont obtenu 21 visites valides. Ces 4 animaux étaient âgés de 10,7 mois ($\pm 0,6$) et pesaient 444 kg (± 31) en moyenne.

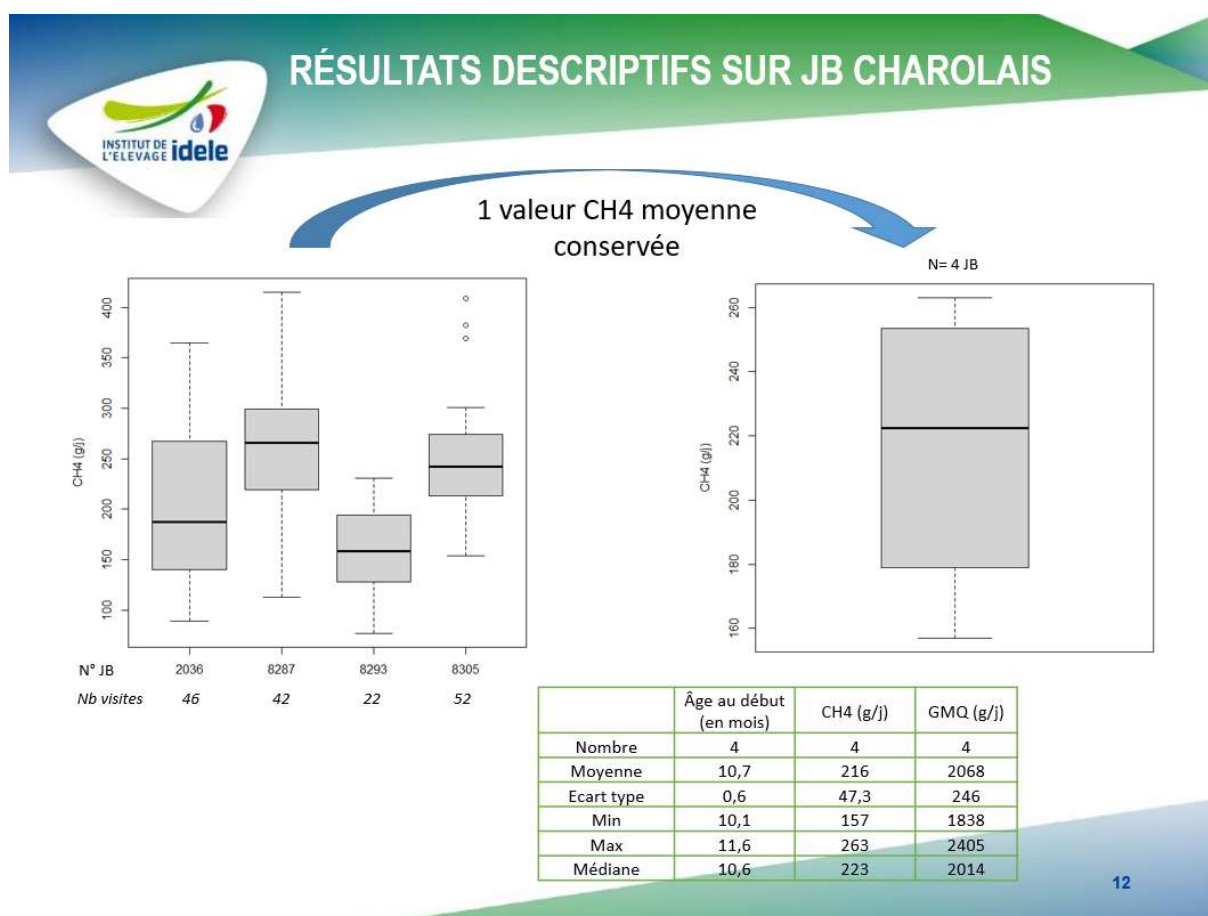
Les visites des animaux sont relativement étalées dans la journée, permettant d'assurer la fiabilité des données collectées. L'animal 8293 concentre toutefois ses visites entre 8 et 18H, soit pendant la période d'ingestion et rumination habituelle d'un bovin. Les émissions de CH₄ sont plus importantes quelques heures après l'ingestion, puisque leur quantité dépend du volume digéré dans le rumen. La distribution de la ration n'a lieu qu'une seule fois par jour, le matin. Les animaux ingèrent alors la plus grande quantité de ration de la journée. Prendre des mesures d'émissions de méthane tout au long de la journée permet de se rapprocher au plus près de la réalité des émissions des animaux au cours d'une journée de 24h.

Figure : nombre de visites réalisées par animal dans le GreenFeed selon l'heure de la journée – 1^{ères} mesures sur jeunes bovins





Les premières données mesurées indiquent un niveau d'émission moyen de **CH₄ est de 216 g/j/animal**, pour des valeurs comprises entre 157 et 263 g/j sur les 4 jeunes bovins Charolais recevant une ration à base d'ensilage d'herbe et de maïs. Ces valeurs sont inférieures à celles de Bes et al. (2022) qui observent une moyenne de CH₄ qui croit de 263 à 286 g/j/animal avec la hausse du poids vif de leurs jeunes bovins alimentés avec de l'ensilage d'herbe et des concentrés. Il aurait pu être supposé des valeurs de CH₄ supérieures dans ce 1^{er} test puisque nos animaux étaient plus lourds - soit une capacité d'ingestion supérieure - donc des émissions de CH₄ accrues selon le système d'alimentation des ruminants INRA 2018 (Nozière et al., 2018). L'ingestion n'a cependant pas pu être mesurée dans cet essai, ne permettant pas de valider cette hypothèse. Le faible effectif collecté ainsi que l'importance des variabilités individuelle constatées peut en partie expliquer ce résultat par manque de représentativité. Aussi ces premières indications restent-elles à conforter sur des effectifs plus importants avant de pouvoir annoncer une référence solide sur le plan scientifique.



2/ 2^{ème} suivi GreenFeed sur Jeunes Bovins Charolais, à l'engraissement en bâtiment de septembre à décembre 2022

Un nouveau dispositif de protection a été réalisé par l'entreprise DG Agri Services Magaud (85), avec une partie du couloir d'accès au GreenFeed composée de tubes et non des tôles pleines sur toute la longueur, un couloir plus court, sans plateforme surélevée, une solidité maintenue grâce aux tubes carrés en hauteur et des joues en plastique entre le couloir et la partie où est fixé le GreenFeed.



Photos : 2^{ème} version du dispositif de protection du GreenFeed en bâtiment avant galvanisation



Le dispositif a été installé dans une case de 12 jeunes bovins Charolais en engraissement. 100% des animaux se sont adaptés et ont donc visité l'appareil.

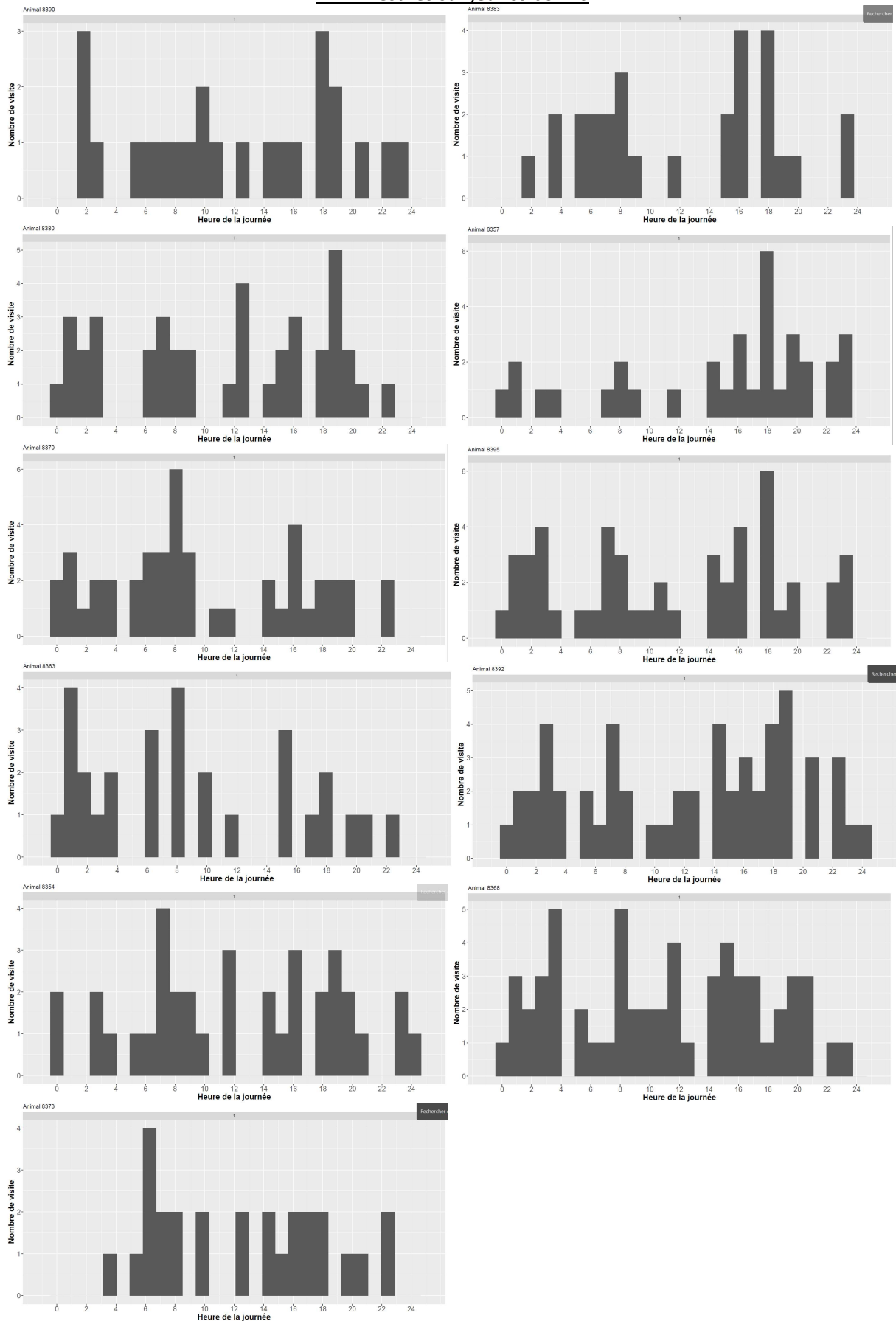
473 visites ont été collectées sur les 12 jeunes bovins.

Après le nettoyage des données, **11 jeunes bovins** ont atteint les 21 visites minimums requises pour établir une valeur de CH₄ valide sur la période considérée. Ils pesaient 370 ± 42 kg de poids vif et étaient âgés de $8,5 \pm 0,9$ mois en début d'essai.

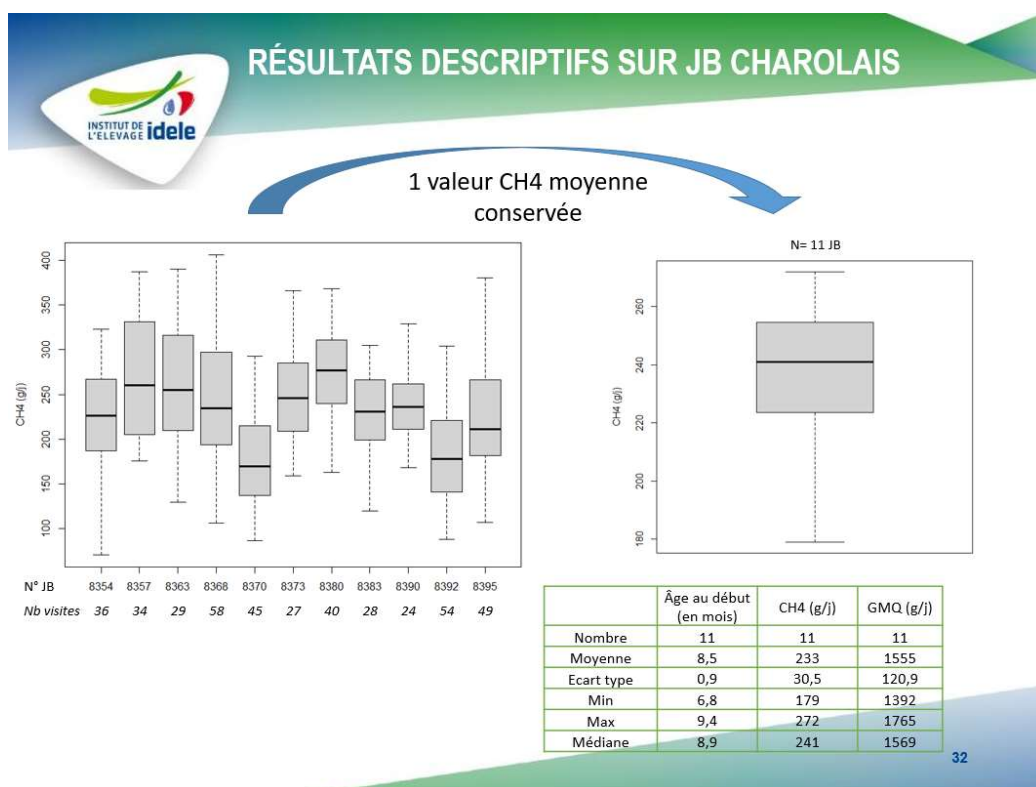
Bilan sur les données collectées :

On observe une bonne répartition des visites sur la journée pour les 11 animaux, ce qui est une première satisfaction. Nos données sont donc représentatives des émissions sur 24h, avec des pics après de fortes ingestions, et inversement de faibles émissions après des périodes sans ingestion ou presque des animaux

*Figure : nombre de visites réalisées par animal dans le GreenFeed selon l'heure de la journée –
2^{èmes} mesures sur jeunes bovins*



La moyenne mesurée de CH4 sur ce lot de 11 jeunes bovins Charolais en engraissement est 241 g/j/animal, pour des valeurs comprises entre 179 et 272 g/j/animal. Ces résultats sont conformes à la littérature française acquise sur des rations relativement proches (ensilage de maïs, céréales, tourteau de soja) et ce même type d'animal. En effet, Martin et al. (2007) mesurent une moyenne de 227 g/j/animal, contre une hausse comprise entre 250 et 270 g/j/animal pour Bes et al. (2022) lorsque le poids vif du bovin augmente. Bien que le 1^{er} et 2^{ème} tests ne soient pas comparables, il aurait pu être supposé observer des valeurs de CH4 plus faibles dans ce 2^{ème} test, compte tenu des plus faibles poids de ces 11 nouveaux animaux, ainsi que d'un niveau d'émission de CH4 moindre avec de l'ensilage de maïs comme seul fourrage de la ration de base (Bes et al., 2022). Ces premiers résultats confirment ainsi que les données de CH4 acquises au sein de la littérature française sur jeunes bovins nécessitent d'être complétées avec de multiples conditions d'acquisition, donc de rations et catégories animales.



AU PATURAGE

3/ Suivi GreenFeed au pâturage : sur vaches suitées de veaux nés l'automne au pâturage de printemps, d'avril à juin 2022

Monté sur une remorque adaptée (dispositif de mobilité), le GreenFeed a été laissé à disposition d'un lot de 8 vaches et leurs 8 veaux nés automne entre le 28 mars au 17 juin 2022.

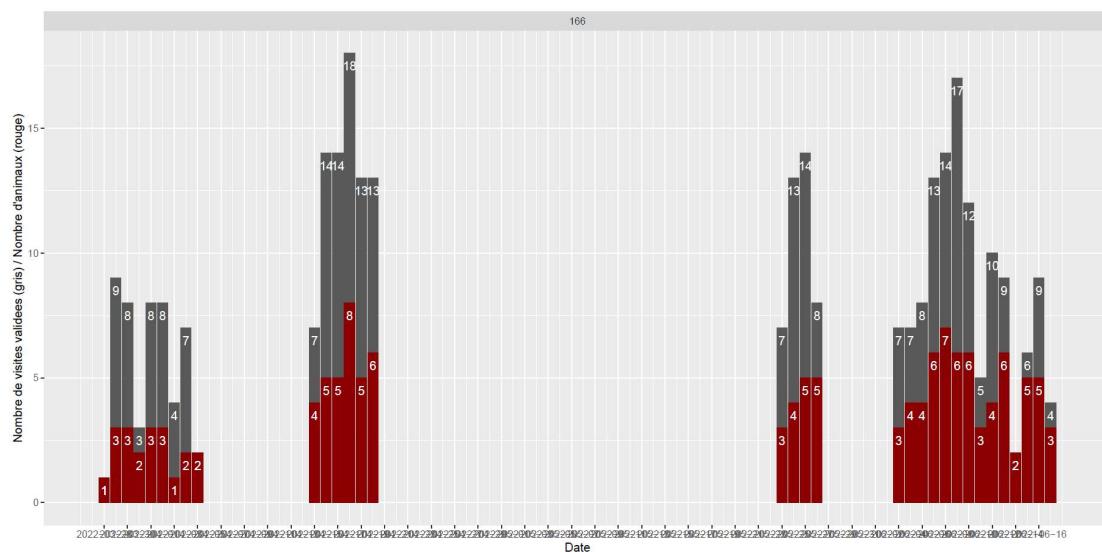
295 visites ont été collectées en 81 jours de présence, mais avec seulement 29 jours d'accès réel au GreenFeed. En effet, plusieurs événements ont empêché le bon fonctionnement de l'outil, donc l'acquisition de mesures valides.

Des problèmes d'énergie tout d'abord, avec des tensions trop fortes issues des panneaux photovoltaïques non limitées en raison de l'absence d'un régulateur de tension lors des journées ensoleillées estivales, et inversement, un manque d'autonomie due à une faible capacité de production d'énergie au printemps (jours courts et peu ensoleillés) et une capacité de stockage des batteries embarquées finalement insuffisantes pour tamponner la faible productivité. La connexion internet a aussi fait parfois défaut. Enfin, la protection du GreenFeed avec du fil électrique tout autour de la remorque n'a pas toujours bien fonctionné et certaines parties du GreenFeed ont parfois été endommagées par les animaux, comme les portes permettant de former un couloir d'isolement de chaque bovin qui se présente dans le GreenFeed. Le positionnement du GreenFeed dans la(es) parcelle(s) a fait l'objet de plusieurs tests. Il s'avère que la proximité systématique du point d'eau reste le plus efficace, même si les visites ont lieu de manière plus groupées (lors des périodes d'abreuvement des animaux qui se font très souvent en commun).

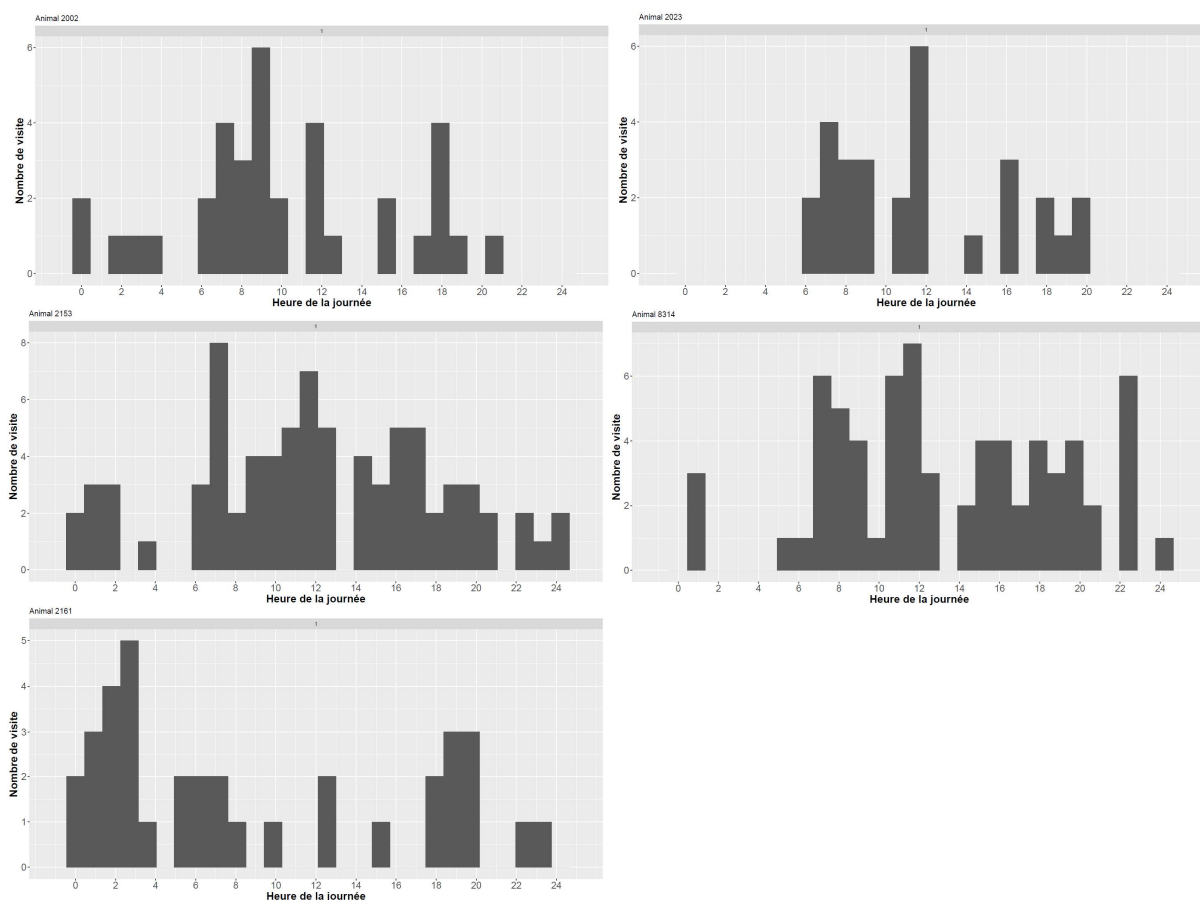
Sur cette première période au pâturage, seules 5 vaches et 4 veaux se sont bien habitués au GreenFeed et enregistraient assez régulièrement des visites. Toutefois, seules **4 vaches et 1 veau** ont obtenu des visites valides sur la période (avec la nécessité méthodologique de regroupement nécessaire des visites GreenFeed pour 1 animal).

Bilan sur les données collectées :

La répartition ci-dessous montre une habitude lente, partielle et non permanente selon les individus au cours de la période, avec des trous dus aux dysfonctionnements ci-dessus.

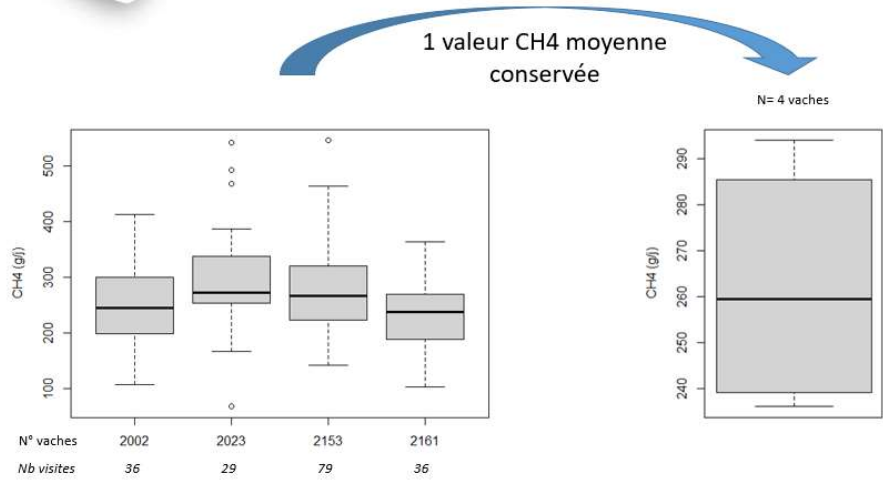


La répartition au cours de 24h est bonne ce qui valide la représentativité des mesures réalisées.



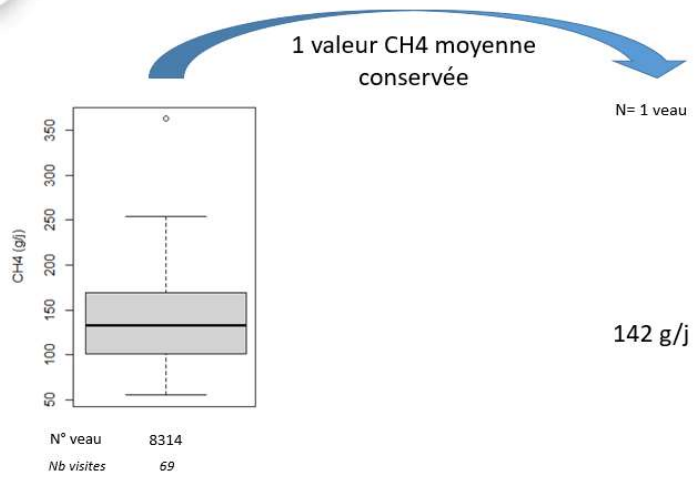
Les premiers résultats indiquent des valeurs de CH₄ proches entre les 4 vaches Charolaises suitées (4,1 ± 1,1 ans ; poids non mesuré) avec une moyenne de **259 g/j/animal**, et pour des valeurs comprises entre 236 et 294 g/j/animal. Ceci correspond à la partie haute des valeurs de CH₄ mesurées par Pinares-Patiño et al. (2003) sur des vaches Charolaises recevant une partie de fléole des prés à différents stades de maturité. Ces auteurs trouvent ainsi une valeur de 204,4 g CH₄/j/animal au stade végétatif habituellement utilisé à la ferme des Etablières. La composition botanique des prairies sur lesquelles les vaches suitées ont pâturé étaient majoritairement composées de ray grass et trèfle violet, pouvant affecter ces émissions. La sélection génétique réalisée à la ferme des Etablières a conduit à produire des vaches adultes en moyenne plus lourdes que celles d'élevage extérieurs, notamment lors des abattages (observation au sein d'essais sur vaches de réforme comportant des vaches originaires de la ferme des Etablières et achetées).

RÉSULTATS DESCRIPTIFS SUR VACHE CHAROLAISE



Sur le seul veau ayant obtenu les 21 visites valides au GreenFeed, le CH4 moyen mesuré était de **142 g/j/animal**, pour un veau mâle âgé de 7,5 mois et pesant environ 300 kg vif lors des mesures. Nous n'avons pas identifié d'essai dans la littérature française sur les veaux suivis au pâturage permettant de critiquer cette donnée obtenue.

RÉSULTATS DESCRIPTIFS SUR VEAU



Contrairement à nos précédents tests en bâtiment où le taux d'adaptation était de 100% pour 92% de jeunes bovins avec une valeur de CH4 conservée sur quelques semaines uniquement, le faible taux d'adaptation au pâturage de bovins naïfs (les vaches suitées avec leur veau dans notre cas) est un frein pour la collecte de données dans ces conditions. Il a été observé, lors d'un retour de ce dispositif au sein d'un lot où certaines vaches avaient déjà connu le GreenFeed au pâturage, que ces animaux déjà habitués revenaient plus facilement. Cette expérience et expertise acquises ont permis de construire le planning expérimental du projet Méthane 2030 en intégrant cette contrainte, notamment en prévoyant une phase de mesure avec GreenFeed en bâtiment où le taux d'adaptation est supérieur.

4/ Suivi GreenFeed au pâturage : sur génisses charolaises de 2 ans au pâturage estival, de juin à octobre 2022

Tester le GreenFeed sur des pâtures d'été, souvent sèches, puis d'automne, faisait également partie des objectifs de ce projet. Ce travail s'est déroulé sur la période de juin à octobre 2022.

Là encore des difficultés de mises en œuvre ont été rencontrées : autonomie de l'appareil à fonctionner « seul », survoltage des panneaux non filtré (appareil disjoncté régulièrement).

L'apprentissage des animaux fut difficile au début compte tenu de la présence d'herbe à pâturer et d'une grande taille de la parcelle, en raison de la taille de lot d'animaux volontairement important : 28 génisses. Ceci a notamment permis de tester la compétition entre animaux pour accéder au GreenFeed (distribution d'aliments). L'apprentissage a ensuite augmenté à partir de la période sèche (herbe grillée) qui a nécessité d'apporter dans la prairie du fourrage conservé dans les râteliers collectifs.



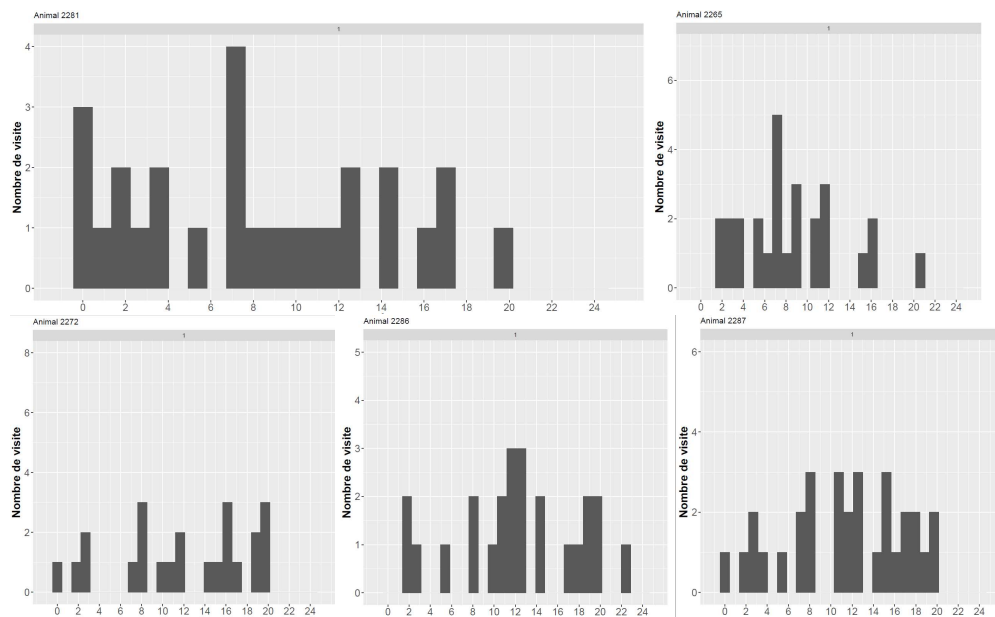
Les animaux stationnaient beaucoup plus longtemps autour du GreenFeed, qui était positionné non loin du point d'eau et de la zone d'affouragement. Le blocage de l'accès au GreenFeed par certains animaux dominants a été problématique ainsi que le manque de solidité du système d'origine, comme le montre la photo ci-contre. De plus, l'accès étroit pour les bovins peureux ainsi que le changement « ombre / lumière » lorsque les animaux mettent la tête dans l'outil peuvent aussi les avoir perturbés.

La période a été découpée en deux sous-périodes : été et automne.

Sur les 28 génisses du lot, seules 13 génisses ont visité au moins 1 fois le GreenFeed, et seulement 7 génisses ont collecté 21 visites valides, dont 6 génisses sur la 1^{ère} période et 5 sur la 2^{ème} période. Ces animaux étaient âgés de $22,7 \pm 0,6$ mois pour $629,3 \pm 16,9$ kg

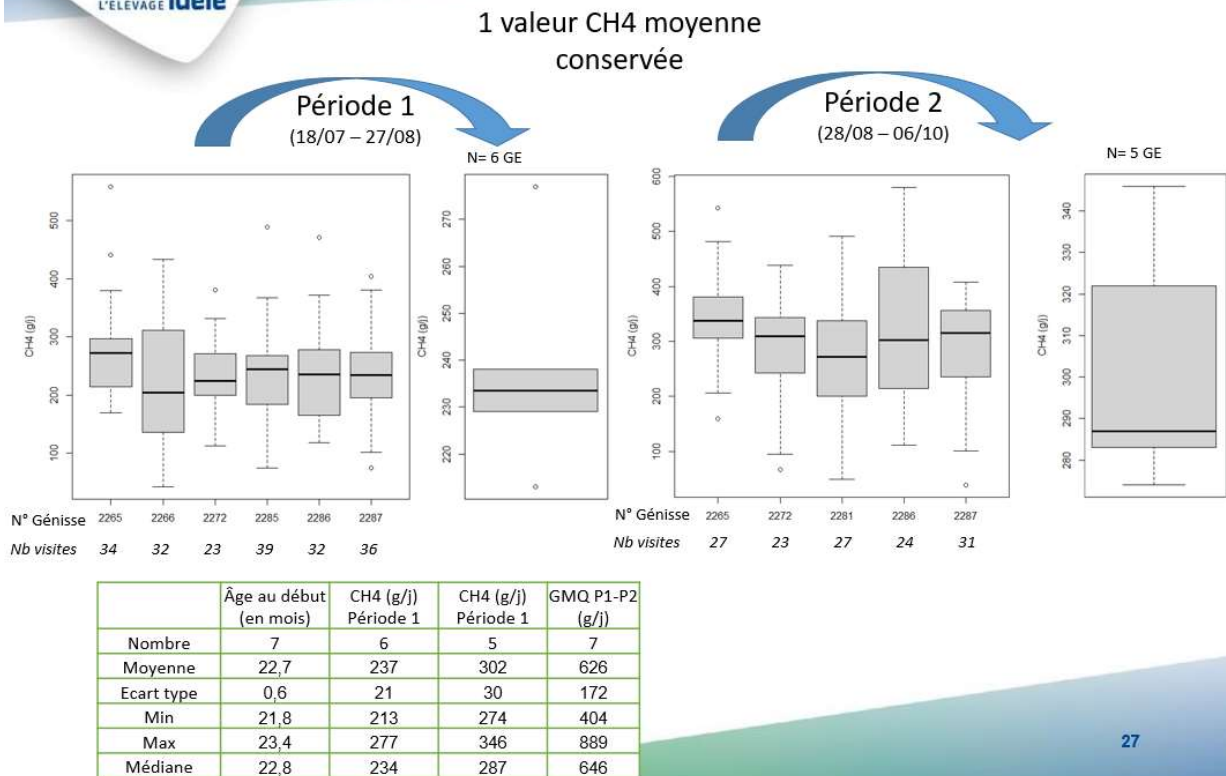
vif au début de la 1^{ère} période de mesure.

Période 2 :



Bilan sur les données collectées :

Le CH₄ était en moyenne de 237 g/j/animal (213 à 277 g/j/animal) en 1^{ère} période (l'été, avec foin et enrubannage majoritaire), puis 302 g/j/animal (274 à 346 g/j/animal) en 2^{ème} période (automne, avec présence de foin et enrubannage, mais surtout un peu d'herbe de repousse d'automne). Bien que la hausse de CH₄ semble logique au regard d'une hausse du poids vif des génisses, donc de la capacité d'ingestion (Nozière et al., 2018), l'écart entre les 2 périodes est important (2 fois l'écart type de chaque période). En moyenne, plus les animaux vont ingérer un fourrage tardif, moins il émettra de CH₄, car le fourrage sera moins riche en nutriments rapidement dégradables, ce qui ralentira le processus de digestion et d'ingestion (Eugène et al., 2021; Nozière et al., 2018). En 1^{ère} période, le foin et l'enrubannage distribués ont été récoltés plus tardivement. En 2^{ème} période, la présence d'herbe fraîche pâturée à un stade précoce a ainsi pu stimuler l'ingestion (non mesurée) et favoriser une production supérieure de CH₄. Les résultats de ces 2 périodes ne sont pas comparables et l'on ne peut envisager de conseiller d'affourager les animaux dans l'objectif de réduire les émissions de CH₄.



Quels enseignements et retours d'expérience tirés de ces 4 séries de mesures ?

Les difficultés de mises en œuvre rencontrées nous ont permis de dégager des recommandations :

S'il manque de l'aliment dans le GreenFeed ou qu'il dysfonctionne sans pouvoir donner de l'aliment aux bovins (coupure électricité, problème matériel, coupure internet ...), il faut fermer l'accès du GreenFeed aux bovins pour conserver leur adaptation à l'outil plutôt qu'ils ne perdent la motivation en visitant un outil inintéressant (pas de granulé = pas de visite).

Une adaptation des bovins en bâtiment en premier serait nécessaire pour améliorer le taux de visite au pâturage par la suite.

Le dispositif de mobilité au pâturage est à améliorer en termes de solidité, d'alimentation électrique, d'isolation contre les bovins, de gestion des hauses de voltage et de confort pour l'utilisateur. Les piquets sont notamment à supprimer pour faciliter la mobilité en condition de sol sec (difficile de les enfoncer ou retirer). La programmation d'un fonctionnement restreint du GreenFeed au pâturage permet d'économiser de l'électricité.

Il est nécessaire d'orienter la remorque et les panneaux en direction du Sud pour capter un maximum de lumière. Il faut également éviter de l'installer derrière une haie ou un tracteur. Créer un système de panneaux mobiles améliore la production d'électricité.

Si l'intervalle entre 2 périodes de mesure au pré est court, le retour vers le GreenFeed est rapide (2 jours). Si l'intervalle est d'1 mois, le retour vers le GreenFeed est de l'ordre d'1 semaine. Toutefois, malgré l'adaptation de certains animaux, une coupure intermédiaire peut supprimer leur envie de retourner au GreenFeed. D'autres animaux en cours d'adaptation pendant 1 période peuvent néanmoins s'habituer pendant une autre période.

Parquer les bovins sur une parcelle parking améliore l'adaptation au pré. Toutefois, en été, le sol se transforme en poussière et nécessite davantage de nettoyage / changement de filtre au risque de perdre des données !

4 – Premiers travaux d’inventaire de solutions de réduction des émissions de CH₄ entérique : éléments bibliographiques

Concernant le volet des solutions, ce projet s’est attaché à étudier l’état des connaissances afin d’identifier des solutions à intérêt dans le cadre des contextes locaux de production de viande bovine. Une partie d’entre elles seront testée dans le programme Méthane2030.

Pour commencer, quelques éléments scientifiques sur les mesures des émissions de méthane

Au sein des GES, le méthane entérique (CH₄) exprimé en CO₂ équivalent représente 16 % de la production française. Ce gaz provient en premier lieu du secteur agricole, plus particulièrement des ruminants, qui en produisent naturellement via les éructations (Citepa, 2023). Pour enrayer ces émissions de GES, des décisions politiques à tous les niveaux ont été prises pour les réduire (e.g. COP26, e.g. stratégie Carbon Farming, e.g. Stratégie Nationale Bas Carbone).

Plusieurs solutions existent pour réduire le CH₄, avec des effets variables selon la solution étudiée (Popova et al., 2011 ; Beauchemin et al., 2020). En France, un déficit de références apparaît chez les bovins allaitants et dans des situations de pâturage. La diversité des catégories de ruminants, des systèmes d’élevage et des rations existantes sur notre territoire n’est pas représentée. De plus, l’étude de solutions nutritionnelles est restée partielle et davantage orientée chez les bovins laitiers alimentés à l’auge. L’acquisition de références d’émission de CH₄ dans les systèmes français avec ou sans utilisation des solutions nutritionnelles existantes est essentiel pour appliquer les résultats scientifiques à des situations rencontrées en élevage commercial.

Depuis plusieurs années, des méthodes de mesures directes du CH₄ se sont développées. Le GreenFeed est un distributeur automatique de concentré couplé à des capteurs de quantification du CH₄. Non invasives, ses mesures sont de très bonne qualité en comparaison des valeurs obtenues avec la chambre respiratoire (Doreau et al, 2018 ; Jonker et al., 2020), un outil plus invasif. De ce fait, le GreenFeed fournira les valeurs de CH₄ de référence pour ce projet. Malgré ses avantages, le GreenFeed ne peut être utilisé en élevage commercial pour évaluer les émissions de CH₄ à grande échelle. Pour les quantifier à l’échelle de l’élevage mais aussi à l’échelle de la ferme France, il est utile d’investiguer des outils d’évaluation du CH₄, plus facilement utilisables en fermes commerciales. La littérature scientifique rapporte plusieurs pistes prometteuses (Negussie et al., 2017 ; Martin, 2021), telles que les indicateurs relatifs à la composition des gaz expirés (sniffer, LMD), des fèces (SPIR fécale, microbiote), du lait (MIR, acides gras).

85% du CH₄ est produit via les fermentations ruminales (Murray et al., 1976) issues du processus de digestion. Le microbiote ruminal qui assure la valorisation de ressources fibreuses non digestibles par l’être humain est responsable de la formation du CH₄ à partir du CO₂ et H₂. Bien que les archaea méthanogènes soient incriminées dans cette dernière étape de la méthanogenèse, c’est l’ensemble de l’écosystème ruminal qui leur fournit les éléments précurseurs (CO₂ et H₂) à la suite de la dégradation et fermentation de la ration ingérée (Popova et al., 2011). Des investigations dans des situations spécifiques d’alimentation sont pertinentes pour mieux comprendre ces mécanismes et trouver des solutions efficaces contre ce gaz à effet de serre.

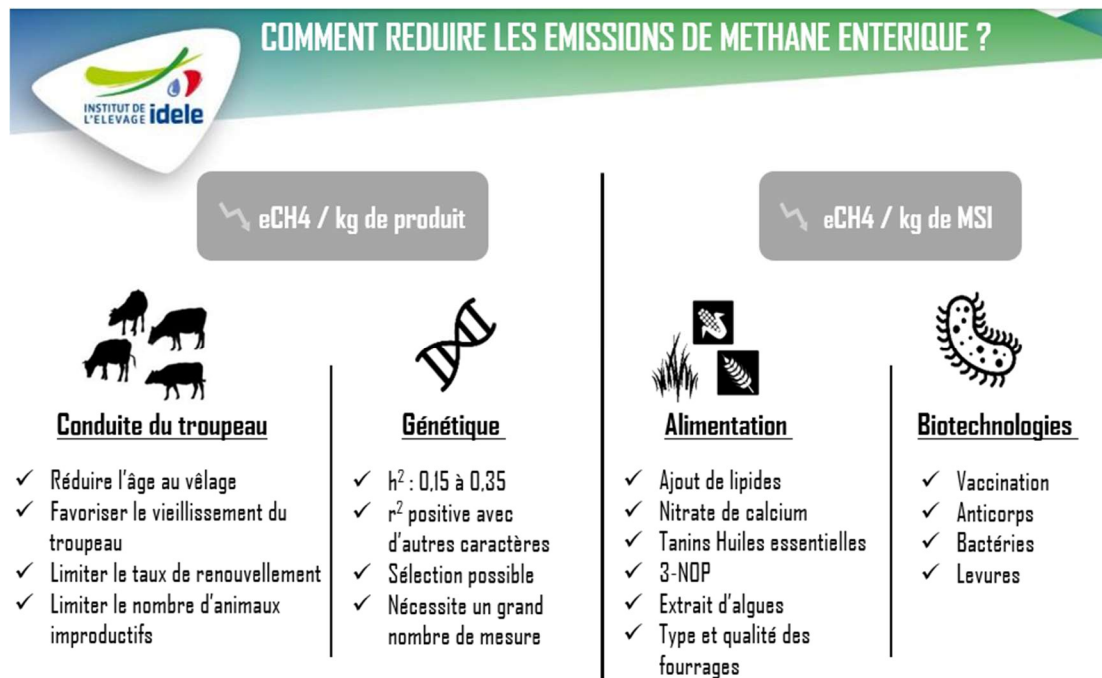
Hormis les solutions nutritionnelles, la sélection génétique d’animaux moins émetteurs de CH₄ constitue également une piste non négligeable avec une réduction potentielle de 10 à 25% en 10 ans (De Haas et al., 2011). Si des outils de sélection sont déjà en cours de développement pour les bovins laitiers (projet METHABREED), il n’existe pas en France, de projet équivalent pour la filière bovins viande. Le méthane prédit par spectres NIR des fèces est, à l’heure actuelle, le seul phénotype

déployable à grande échelle et exploitable par la filière. L'analyse du déterminisme génétique nécessite de développer des populations de référence génomique (animaux dont on connaît le génotype et les émissions de méthane - Meuwissen, 2009) mais aussi de définir le protocole à appliquer en routine en ferme commerciale.

La liste complète des références bibliographiques est donnée en Annexe 3.

Éléments scientifiques sur les solutions de réduction des émissions de méthane

Depuis 1990, divers leviers de réduction des émissions de méthane entérique ont été étudiés essentiellement dans l'ordre décroissant suivant : bovins laitiers, bovins allaitants, puis en ovins et caprins (sans distinguer dans ce cas le lait et la production de viande). Parmi ces leviers, les solutions nutritionnelles sont majoritaires, incluant les compléments alimentaires (Della Rosa et al., 2022). Ces compléments alimentaires constituent théoriquement un outil rapidement mobilisable en élevage pour répondre aux enjeux climatiques. Selon la ration de base, le type et la quantité de complément alimentaire ajouté, la réduction de méthane entérique produit par jour serait située entre 10 et 50% (Abbott et al., 2020; Almeida et al., 2021; Jayanegara et al., 2018; Lean et al., 2021; van Gastelen et al., 2019). Quelques méta analyses ont cherché à généraliser l'effet de ces compléments alimentaires sur les émissions de méthane entérique, voire identifier des interactions non détectées au niveau d'un seul essai. A travers des revues scientifiques, certains chercheurs ont synthétisé les compléments alimentaires existants, leur effet sur la méthanogénèse au niveau du rumen, le potentiel de réduction du méthane entérique escompté, ainsi que les lacunes scientifiques existantes au moment où ils rédigeaient leur revue (Honan et al., 2021). D'autres chercheurs sont allés au-delà des connaissances scientifiques, en projetant le développement de chaque complément alimentaire dans un cadre de production industrielle (Hegarty et al., 2021) ou d'applicabilité en fermes commerciales (Beauchemin et al., 2020). Néanmoins, ces travaux, pour la plupart étrangers et fréquemment étudiés sur le modèle de la vache laitière, sont restés partiels et présentent des lacunes notamment sur les aspects économiques, applicabilité dans nos contextes d'élevages ou encore d'acceptabilité sociétale.



Conclusion

La ferme expérimentale des Etablières a choisi d'engager des travaux de recherche sur les émissions de méthane entérique des bovins allaitants, un sujet majeur pour l'élevage de ruminants, la société française dans son ensemble et plus largement la planète. Entre 2021 et 2023, avec les appuis scientifiques, méthodologiques et techniques de l'Institut de l'Élevage, un appareil de mesures (appelé GreenFeed) a été testé. L'utilisation de cet appareil a nécessité de nombreux tests et mises au point avec des équipements spécifiques construits spécialement : un dispositif de protection pour une utilisation en bâtiment et un dispositif de mobilité pour les mesures au pâturage. Les problèmes rencontrés au cours de ces mesures (outils, manutention animale ...) ont nourri une expertise déjà valorisée au sein d'outils et essais menés sur le CH₄ depuis ces premières séries de mesure. Les données de méthane entérique de ce projet ont été collectées sur des Jeunes Bovins, des génisses de renouvellement et des vaches suitées de race Charolaise conduits selon les pratiques majoritairement rencontrées en Vendée. Ces 1^{ères} données de méthane entérique au sein de la région Pays de la Loire s'ajoutent aux quelques références françaises en bovin allaitant.

Ce projet a permis d'augmenter le niveau technique de l'équipe expérimentale de la ferme expérimentale des Etablières sur le thème du méthane entérique et d'acquérir ainsi les capacités à travailler ce sujet à l'avenir. Ainsi, la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire et la ferme expérimentale des Etablières ont collaboré à la définition d'un programme de recherche national ambitieux, Méthane2030, multi-partenarial et encadré par deux instituts de recherche (INRAE et Institut de l'Élevage), dont l'accompagnement financier national est porté par BPI France au travers de France 2030. Fort de leur nouvelle expertise, la ferme expérimentale des Etablières a été choisie pour être le support de réalisation de 4 essais sur les émissions de méthane entérique des bovins allaitants entre 2024 et 2026. Ce partenariat va permettre à cette ferme de bénéficier des résultats obtenus dans toutes les actions du programme, de l'acquisition de références jusqu'à des outils de conseil utilisables par les éleveurs ou encore d'identifier les leviers de réduction du CH₄, ce qui lui permettra de jouer un rôle central dans la diffusion aux éleveurs localement.

Annexe 1 : Extrait du protocole expérimental des mesures d'émissions de méthane entérique en fermes expérimentales. (BORE R., DEROCHE B., IDELE - 2023)

10. PLAN D'ENTRETIEN ET DE CONTRÔLE DES GREENFEED

En amont de l'arrivée d'un GreenFeed, un échange entre le personnel du site expérimental et le référent Idele sera nécessaire sur :

- Le positionnement de l'outil en bâtiment et au pâturage
 - Accessible
 - Permet « d'isoler » le bovin de ses congénères
 - Protégé des bovins
 - Protégé du matériel (pierre lors du paillage, machines d'affouragement ...)
 - Facilement déplaçable ou fixé mais ne gêne pas le travail (curage, circulation animaux ...)
 - Sécurisé pour l'opérateur
 - Facile d'accès / confortable pour l'opérateur (chargement granulé, accès à l'arrière du GreenFeed ...)
 - Bouteilles de gaz protégées et accessibles à l'opérateur

Si besoin : construire un dispositif / stalle / un couloir de protection du GreenFeed, des bouteilles de gaz et de l'animal (en bâtiment) ou utiliser une remorque (au pâturage)
- *Spécificité au pâturage*
 - *Proche d'un point d'eau*
 - *Orienter les panneaux vers le soleil*
 - *Fil électrique autour du GreenFeed (protection)*
 - *Relief plat*
 - *Disposer d'un outil motorisé (si GreenFeed installé sur une remorque)*
- Le concentré à utiliser
 - Privilégier des matières premières nobles (céréales, co-produits, tourteaux)
 - Pellet de 4 à 7 mm de diamètre
 - Éviter la semoulette
 - Interdiction d'ajouter des extraits de plantes, huiles essentielles substances apéritives (ex : vanilline) ou tout autre métabolite secondaire susceptible de modifier les émissions de CH₄
 - Possibilité d'utiliser de la mélasse / un produit sucré ou salé pour l'appétence
 - Privilégier un concentré dont la valeur nutritionnelle (UF, PDI, MAT, parois ...) est inférieure ou égale à celle de la ration distribuée (pour limiter son effet sur l'alimentation)
 - Limiter la fine / la farine : tamiser si besoin (encrassement du GreenFeed)
 - Éviter au maximum la matière grasse (écoulement granulé dans la trémie, effet sur le CH₄)
- La connexion internet doit être permanente et le réseau de qualité
 - Vérifier la qualité de connexion (3G minimum)
 - Utiliser un outil adapté présent en permanence à côté du GreenFeed avec une connexion Wifi (galet 4G, téléphone portable, wifi du bâtiment)
 - Réaliser un test de connexion au préalable pour s'assurer que le GreenFeed reconnaît, se connecte au signal Wifi et envoie les données
- L'alimentation électrique
 - Prévoir une rallonge électrique ou batterie 120-240V 55W
 - Éviter les coupures d'électricité / s'assurer de la qualité du réseau électrique
- L'identification / la reconnaissance du bovin par le GreenFeed
 - 1 boucle HDX / FDX / RFID posé par bovin mesuré au GreenFeed

Les procédures d'utilisation et d'entretien des greenfeed sont fournies en complément de ce protocole par Idele.

La [ferme expérimentale] assurera le suivi et l'entretien courant des Greenfeed. Il sera prévenu par alertes sur la boîte email suivante [boîte email du référent intra ferme expérimentale]. En cas de panne, contacter le référent GreenFeed Idele associé au site expérimental. La liste des actions d'entretien et suivi est présentée dans le tableau 8.

Tableau : actions courantes d'entretien et suivi des Greenfeed à réaliser par le site expérimental

Actions	Procédures	Fréquence
Vérification du niveau de remplissage des bouteilles	Visualisation au niveau du manomètre fixé sur les bouteilles <ul style="list-style-type: none"> En cas de baisse rapide du niveau : prévenir le référent GreenFeed Si le niveau atteint ½ : prévenir le référent GreenFeed 	Plusieurs fois par semaine
Taux de récupération du CO ₂	Cf. procédure sur document technique du Greenfeed et vidéo Envoi des poids et heure pour chaque mesure au référent GreenFeed pour saisie sur interface c-lock	1 fois/mois
Changement des filtres	Mettre en veille le GreenFeed le temps de l'opération. Ouvrir la partie arrière du GreenFeed, puis la boîte du filtre, puis l'anneau métallique qui retient le filtre, puis retirer le filtre sale. Installer un filtre propre bien sec en resserrant l'anneau métallique autour de lui. Veiller à ce que cet anneau ne gêne pas la fermeture de la boîte du filtre. Refermer l'ensemble des éléments de protection du filtre et GreenFeed	1 fois/semaine
Lavage des filtres	<ul style="list-style-type: none"> Décoller la poussière (brosse, souffler avec un compresseur depuis l'intérieur du filtre vers l'extérieur) Lavage en soufflant avec un compresseur depuis l'intérieur vers l'extérieur du filtre Séchage (compter 2 jours minimum ; vérifier l'état de séchage avant installation) Si le filtre moisi ou reste sale malgré le lavage : prévenir le référent GreenFeed	1 fois/semaine
Paillage stabulation	Mettre en veille le GreenFeed le temps du paillage pour éviter l'encrassement des filtres Ne pas viser les GreenFeed lors du paillage pour limiter l'accumulation de litière et la projection de pierre Installer un repère visuel sur la cheminée du GreenFeed pour penser à rallumer le GreenFeed après paillage	2 fois/semaine
Nettoyage complet du système	Mangeoire (à démonter puis laver à l'eau) DéTECTEUR de position de la tête (avec un coton tige) Tuyau d'évacuation d'air	1 fois/mois
Pesée des godets de concentré	Appuyer sur le bouton « feed » à plusieurs reprises. Compter le nombre de « drop », récupérer et peser le concentré. Calculer le poids d'un « drop » et le saisir sur le fichier Excel fourni Cf procédure sur document technique du Greenfeed	1 fois/mois
Vérification du niveau et remplissage de la trémie	Ouverture de la trémie, vérification du niveau de concentré S'il manque du concentré ou qu'il va en manquer (surtout avant un week end !) : recharger en concentré en laissant	2 fois/jour

	20 cm entre le haut de la trémie et le haut du sommet du granulé	
Vérification de l'écoulement du granulé depuis la trémie vers l'auge du GreenFeed	Appuyer sur « drop » (déclencher manuellement la chute de granulé depuis la trémie vers l'auge). Si le granulé ne tombe pas ou que la quantité est faible dans l'auge : retirer l'auge en métal et la nettoyer + nettoyer le conduit de descente du granulé vers l'auge en métal.	Plusieurs fois par semaine
Vérification du bon fonctionnement de l'outil	Contrôle visuel (GreenFeed allumé, présence d'internet, aucun message d'erreur, outil en état, propre ...) et auditif (bruits normaux, fonctionnement de la ventilation et aspiration...)	2 fois/jour

Tableau : calendrier d'entretien et contrôle

Semaine calendaire 2017-2018	Date début de semaine	Niveaux de gaz dans les bouteilles	Changement des filtres	Lavage filtres	Pesée des godets de concentré GreenFeed	Taux de récupération du CO ₂	Nettoyage complet du système
1	01/01/2018	Tous les jours	X	X	X	X	X
2	08/01/2018		X	X			
3	15/01/2018		X	X			
4	22/01/2018		X	X			
5	29/01/2018		X	X	X	X	X
6	05/02/2018		X	X			
7	12/02/2018		X	X			
8	19/02/2018		X	X			
9	26/02/2018		X	X	X	X	X
10	05/03/2018		X	X			

X = à faire une fois dans la semaine

Annexe 2 : Extrait du Programme national METHANE2030, qui s'est fortement appuyé sur les premiers résultats obtenus à la ferme expérimentale des Etablères en Vendée : premières mesures obtenues sur bovins allaitant Charolais, tests sur appareils de mesures et difficultés de mise en œuvre terrain.

Lot n° 2	Organisation d'un dispositif d'acquisition de données (CH₄, zootechniques...) harmonisé et mutualisé				
<p>Nature du lot : Coordination des protocoles, conception et mise en œuvre d'une plateforme numérique</p> <table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>RDI = dépenses de recherche développement et innovation</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Investissement = achats de matériels durables, travaux d'infrastructure</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/>	RDI = dépenses de recherche développement et innovation	<input type="checkbox"/>	Investissement = achats de matériels durables, travaux d'infrastructure
<input type="checkbox"/>	RDI = dépenses de recherche développement et innovation				
<input type="checkbox"/>	Investissement = achats de matériels durables, travaux d'infrastructure				
<p>Date de démarrage : T0 Date de fin : T0 + 48 mois Durée (en mois) : 48 mois Objectifs de ce lot / résultats attendus : Les essais et mesures mises en place (lot 4) sont nombreux, sur différents sites, utiliseront des méthodes de mesures variées (lot 2) et les phénotypes réalisés (lot 5) seront eux aussi nombreux. Ce lot consiste à optimiser le dispositif pour une meilleure organisation, centralisation et valorisation des données. De façon opérationnelle, les résultats attendus sont d'une part, la rédaction et harmonisation des protocoles expérimentaux et des outils d'acquisition des données, et d'autre part, la création d'une plateforme de stockage et de gestion des données sur lesquelles reposent directement les lots 3, 4 et 5, et indirectement les lots 6 et 7.</p> <p>Partenaires : - Partenaire responsable : IDELE - Partenaires impliqués : APIS-GENE, INRAE, CRAB</p>					
<p>Description synthétique des tâches qui composent ce lot :</p> <p>Tâche n° 2.1 : Mise en place d'une plateforme multisites d'acquisition de données Cette première tâche est réalisée en lien étroit avec les lots 3, 4 et 5 : elle vise à définir/valider en fonction des besoins expérimentaux et d'acquisition de données, les matériels à acquérir ou à mobiliser, les lieux d'installation et les conditions d'utilisation de ces matériels.</p> <ul style="list-style-type: none"> Le Greenfeed est aujourd'hui considéré comme un gold standard de la mesure de CH₄ sur les animaux et sera utilisé dans les lots 3 et 4. Au-delà, le Laser gun permettant de faire des mesures en grand nombre et plus facilement utilisable en fermes commerciales sera utilisé dans le lot 3. Le Sniffer installé dans les robots de traite collectera également des données. Les spectres moyens infrarouges du lait sont mesurés en routine en élevage laitier par les laboratoires d'analyse, mais ne touchent que les vaches laitières. Les spectres proches infrarouges des fèces sont prometteurs pour prévoir le CH₄ entérique et peuvent être évalués sur l'ensemble des bovins d'un élevage. Les équations fournies par le lot 3 grâce à ces trois derniers outils seront utilisées pour la création d'index génétique dans le lot 4. Cette tâche définira les process liés à l'installation des matériels et dispositifs associés, leur utilisation, leur suivi et leur maintenance : des guides seront rédigés pour documenter et homogénéiser ces éléments. Un inventaire des guides et préconisations existantes sera réalisé en amont. Des modules de formation à l'utilisation des matériels seront construits et des formations seront réalisées sur les sites « utilisateurs » auprès du personnel impliqué dans les essais. <p>Tâche n° 2.2 : Harmonisation des dispositifs d'acquisition des données Cette tâche concerne un nombre important de mesures réalisées et données diversifiées qui seront collectées lors des essais afin d'être utilisées dans l'ensemble des actions techniques.</p>					

L'objectif de ce lot est d'optimiser chaque essai mis en place pour qu'il puisse répondre aux lots 3, 4 et 5.

Chaque essai devra participer à la création de références techniques en lien avec les conditions d'élevages habituelles (lot 4), à la recherche de proxys (lot 3) et aux tests de solutions de réduction du méthane entérique (lot 4).

Les étapes de cette tâche sont les suivantes :

- **Identifier les phénotypes à mesurer et collecter** : il s'agit des données type production laitière, rang de lactation, données brutes de CH₄ émis, d'alimentation, de poids ... Seront aussi définis pour chaque phénotype la fréquence de collecte, l'expression (unité) des données brutes mais aussi des données calculées.
- **Identifier les matériels biologiques à collecter** (sang, microbiote, fèces...), **les méthodes de collecte** (outil de prélèvement, main d'œuvre ...) et les circuits logistiques associés (transport, stockage...)
- **Définir des protocoles harmonisés pour chaque essai** : des protocoles seront rédigés et transmis précisément aux interlocuteurs des lieux d'expérimentation.

Tâche n° 2.3 : Gestion d'un dispositif de stockage et valorisation des données

Cette tâche concerne deux types de données :

- Les données acquises dans ce projet
- Les données déjà acquises dans le cadre d'autres projets et pouvant être "re-valorisées".

Elle définit les conditions de stockage et d'utilisation de ces deux types de données : modèle conceptuel de données, modalités d'interactions avec des bases de données existantes, gestion des profils utilisateurs et des droits d'accès associés,

Les étapes de cette tâche sont les suivantes :

- **Rédaction du cahier des charges sur les données** à intégrer dans la base de données (nature, format, unités, champs calculs éventuels ...)
- **Rédaction du cahier des charges des usages** des données de la base à concevoir
- **Inventaire des sources de données externes** à lier aux données des mesures (contexte, système de production, etc...)
- **Conception du modèle** conceptuel de données de la base
- **Conception de la base de données**
- Mise en place des modalités d'administration de la base dans la durée

Un comité des utilisateurs sera créé et chaque lieu d'expérimentation y sera représenté. Tout au long des suivis, des échanges auront lieu pour améliorer les process de suivi des matériels et de la réalisation des essais. Ce comité se réunira au minimum 2 fois la première année puis tous les ans.

Livrables :

Livrables Lot 2.1

Livrable 2.1.1 : Mise à jour des protocoles d'installation et d'utilisation (suivi, maintenances, calibration) **du GreenFeed** pour mesurer les émissions de méthane entérique - il pourra évoluer en fonction des livraisons de GreenFeed (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 8 mois*)

Livrable 2.1.2 : Protocole d'utilisation du **Laser Méthane Detector** pour mesurer les émissions de méthane entérique des bovins (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 6 mois*)

Livrable 2.1.3 : Protocole d'installation et d'utilisation (suivi, maintenances, calibrations) du **Sniffer** pour mesurer les émissions de méthane entérique des bovins laitiers (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 8 mois*)

Livrable 2.1.4 : modules de formation de l'utilisation des outils de mesure (*date prévisionnelle de disponibilité T0 + 8 mois*)

Livrables Lot 2.2

Livrable 2.2.1 : Protocoles de prélèvements et de traitement des échantillons des fèces, du microbiote et du sang (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 6 mois*)

Livrable 2.2.2 : Liste de phénotypes à collecter et mesurer (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 6 mois*)

Livrable 2.2.3 : Protocole expérimental type (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 12 mois*)

Livrables Lot 2.3

Livrable 2.3.1 : cahier des charges des données et des usages (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 6 mois*)

Livrable 2.3.2 : liste des sources de données externes (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 8 mois*)

Livrable 2.3.3 : Entrepôt de données pour les données générées dans le projet et interopérable avec d'autres bases de données avec ses règles de fonctionnement (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 8 mois*)

Livrables génériques du Lot 2

Les réunions du groupe "utilisateurs" feront l'objet de comptes-rendus (*tout au long du projet*)

Description de la sous-traitance :

Ce volet a un budget de sous-traitance de 150 000 euros : il concerne la création de l'outil de stockage des données du projet.

Description des achats :

Les achats de matériels sont nombreux dans ce volet : ils représentent 1 048 800 € et se répartissent de la façon suivante.

Pour tous les équipements, nous avons calculé les amortissements sur les 4 ans du projet sur les 5 années d'amortissement totaux.

Matériel	Nombre	Prix unitaire	Prix amorti sur 4 ans	Total en euros
GreenFeed	11	80 000 €	64 000 €	704 000 €
Remorques et équipements	6	15 000 €	12 000 €	72 000 €
SNIFFER	1	15 000 €	12 000 €	12 000 €
Petits GreenFeed	3	80 000 €	64 000 €	192 000 €
Dispositif de protection	10	5 000 €	4 000 €	40 000 €
Laser gun	2	18 000 €	14 400 €	28 800 €
TOTAL				1 048 800 €

Idele et INRAE disposent déjà de certains de ces outils. Ils seront ajoutés à la liste des nouveaux équipements ci-dessus pour mener à bien l'ensemble des actions du projet.

Description des investissements à réaliser ou à mobiliser pour le projet :

Non applicable.

Lot n° 3	Consolidation des méthodes de mesure et équations de prédiction des émissions
Nature du lot : Analytique et métrologie pour l'estimation des émissions de méthane entérique dans différentes situations	
<input type="checkbox"/> RDI = dépenses de recherche développement et innovation	
<input type="checkbox"/> Investissement = achats de matériels durables, travaux d'infrastructure	
Date de démarrage : T0 + 5 mois	
Date de fin : T0 + 48 mois	
Durée (en mois) : 43 mois	
Objectifs de ce lot / résultats attendus :	
<p>L'objectif de ce lot est de consolider et valider 5 méthodes approchées d'estimation des émissions de méthane entérique des bovins utilisables à très grande échelle :</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • À partir d'outils de mesures de concentration en méthane disponibles et utilisables à grande échelle en élevages commerciaux : le Laser Methane Detector (LMD) et le Sniffer • À partir de matrices biologiques faciles à prélever en élevage : le lait et les fèces • À partir d'une équation de prédiction des émissions de méthane proposée dans INRA 2018, nouvel ouvrage scientifique de référence pour l'alimentation des ruminants (alimentation et caractéristiques de l'animal). Cette équation est implémentée dans le logiciel CAP2'ER. 	
<p>Ces méthodes d'estimation des émissions de méthane entérique seront élaborées en confrontant des proxys issus des outils et des matrices et les émissions de méthane calculées par le GreenFeed (valeur de référence) en utilisant des méthodes statistiques de prédiction.</p>	
<p>In fine, ces 5 méthodes permettront aux professionnels des filières bovines d'estimer les émissions de méthane des bovins dans toutes les situations d'élevage en France selon l'outil le plus confortable et pratique d'utilisation.</p>	
<p>D'autres matrices telles que le sang et le microbiote seront également ponctuellement prélevées pour investiguer leur intérêt dans la prédiction des émissions de méthane entérique des bovins.</p>	
Partenaires :	
- Partenaire responsable : IDELE	
- Partenaires impliqués : APIS-GENE, INRAE, CRAB	
Description synthétique des tâches qui composent ce lot :	
<p>Tâche n° 3.1 : Confrontation de méthodes de mesures indirectes des émissions de méthane entérique des bovins utilisables à grande échelle (Laser Gun, Sniffer) à la méthode de référence GreenFeed</p>	
<p>Cette tâche consiste à poursuivre le développement de deux méthodes de mesure indirectes des émissions de méthane entérique utilisables à grande échelle en élevage bovin à partir d'outils déjà disponibles : le Laser Methane Detector et le Sniffer.</p>	
<p>Elle s'appuie sur les essais zootechniques réalisés dans le lot 4. Des mesures complémentaires seront réalisées, en parallèle du GreenFeed, avec deux appareils de mesure différents pour chacun des essais zootechniques du lot 4.</p>	

Des mesures ponctuelles au Laser Methane Detector (LMD) seront réalisées sur chaque type d'animaux (bovin lait et bovin viande) dont les émissions de méthane entérique seront évaluées avec le GreenFeed dans le lot 4. Des mesures en continu au Sniffer (installé dans un robot de traite) seront réalisées uniquement en bovin lait dans deux élevages équipés.

Les données collectées en parallèle du GreenFeed (LMD, Sniffer) permettront de construire des équations de prédiction des émissions individuelles de méthane des animaux en grammes, par animal et par jour, à partir de la concentration en méthane de l'air érucé par l'animal (en ppm × m pour le LMD et ppm pour le Sniffer).

Tâche n° 3.2 : Amélioration et consolidation de la prédiction des émissions de méthane (MIR du lait, NIR des fèces)

Cette tâche consiste à améliorer et consolider deux méthodes de prédiction des émissions de méthane entérique à partir de la composition du lait et des fèces.

De la même façon que pour la tâche 3.1, chaque échantillon de lait prélevé durant les essais zootechniques bovin lait du lot 4 (avec GreenFeed) donnera lieu à une analyse spectrale moyen infrarouge (MIR). De même, les fèces de chaque animal (bovin lait et bovin viande) dont les émissions de méthane entérique seront évaluées avec le GreenFeed seront prélevées pour réaliser une analyse spectrale proche infrarouge (NIR).

Ces données collectées en parallèle du GreenFeed (spectre MIR du lait, spectre NIR des fèces) permettront de construire des équations de prédiction des émissions individuelles de méthane des animaux en grammes, par animal et par jour à partir de ces deux matrices faciles à collecter en routine.

Des prélèvements de fèces pourront également réalisés en élevages commerciaux dans le cadre du Lot 5. Ces mesures supplémentaires permettront, une fois les équations de prédiction développées, de fournir davantage de données de méthane pour les autres lots de ce projet, notamment le lot 5 qui s'appuiera sur les valeurs de méthane prédites.

Tâche n° 3.3 : Validation du domaine d'application des prédictions des émissions de méthane des bovins issues de l'équation INRA 2018

Une équation de prédiction, à partir de la composition de la ration, des caractéristiques de l'animal et de son ingestion, a été développée par INRAE dans son nouveau système d'alimentation INRA 2018.

Cette tâche permettra d'évaluer la qualité de prédiction de cette équation et de vérifier ses domaines d'application (selon la catégorie animale, le stade physiologique, la variabilité des rations, les additifs).

Elle utilisera les données collectées lors des essais zootechniques du lot 4. Des pistes d'amélioration de cette équation seront identifiées en collaboration avec INRAE. Ces données pourraient, à terme, intégrer un jeu de données qui servira à actualiser cette équation.

Tâche n° 3.4 : Réalisation de prélèvements prospectifs (sang, microbiote ruminal, microbiote fécal) pour l'élaboration de nouveaux prédicteurs d'intérêt

Dans le but d'optimiser les essais zootechniques en lien avec les contraintes expérimentales, cette tâche consistera à réaliser des prélèvements supplémentaires sur les animaux de certains essais de la tâche 4.2.

Sang et microbiote ruminal

Lorsque l'ingestion individuelle des animaux sera disponible, trois échantillons de sang et de jus de rumen seront alors prélevés par animal pendant l'essai. Les données collectées serviront à tester ultérieurement de nouveaux prédicteurs et améliorer la compréhension des mécanismes de production du méthane.

Microbiote fécal

Les prélèvements de fèces réalisés dans la tâche 3.2 seront séparés en deux échantillons. Le second échantillon sera analysé par le laboratoire de Gènes Diffusion, qui explorera la capacité de prédiction du méthane entérique des bovins par leur microbiote fécal.

Tableau récapitulatif des effectifs animaux impliqués dans les essais financés : ventilation par race, par type d'animal, pour chacune des méthodes directes ou indirectes de mesures

Race	Type	Tâche n° 3.1			Tâche n° 3.2		Tâche n° 3.3	
		GreenFeed	Sniffer	LMD	MIR du lait	NIR des fèces	Microbiote fécal	Microbiote ruminal et sang
Prim'Holstein	GL	40	0	40	40	40	40	0
Croisé	VL	80	0	80	80	80	80	0
Normande	VL	80	0	80	80	80	80	0
Prim'Holstein	VL	280	40	280	280	280	280	160
Montbéliarde	VL	120	0	120	120	120	120	0
Charolais	GA	28	0	28	0	28	28	0
Charolais	VA	250	0	250	0	250	250	25
Blonde d'Aquitaine	VA	600	0	600	0	600	600	0
Limousin	VA	500	0	500	0	500	500	0
Salers	VA	50	0	50	0	50	50	25
Charolais	JB	280	0	280	0	280	280	108
Croisé	Bf	156	0	156	0	156	156	108

GL : génisse laitière ; VL : vache laitière ; GA : génisse allaitante destinée à la reproduction ; VA : vache allaitante ; JB : jeune bovin ; Bf : bœuf ou génisse allaitante destinée à être abattue

Livrables :

Livrables Lot 3.1

Livrable 3.1.1 : Méthodes approchées d'estimation des émissions de CH₄ entérique des bovins laitiers et allaitants via le **Laser Méthane Detector** et leurs domaines d'application (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrable 3.1.2 : Méthodes approchées d'estimation des émissions de CH₄ entérique des bovins laitiers via le **Sniffer** et leurs domaines d'application (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrables Lot 3.2

Livrable 3.2.1 : Méthodes approchées d'estimation des émissions de CH₄ entérique des bovins laitiers en lactation via le **spectre Moyen Infrarouge du lait** et leurs domaines d'application (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrable 3.2.2 : Méthodes approchées d'estimation des émissions de CH₄ entérique des bovins laitiers et allaitants via le **spectre Proche Infrarouge des fèces** et leurs domaines d'application (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrable 3.2.3 : Confrontation des différentes méthodes approchées d'estimation des émissions de CH₄ entérique des bovins (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrables Lot 3.3

Livrable 3.3.1 : Caractérisation de la qualité de l'équation de prédiction INRA 2018 et ses domaines d'application (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrable 3.3.2 : Propositions d'amélioration de l'équation de prédiction INRA 2018 (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrables génériques

Valorisation des livrables sous forme écrite (articles scientifiques, compte rendu, presse agricole ...) (date prévisionnelle de disponibilité T0+ en cours de projet entre 24 et 48 mois, puis au-delà du projet > 48 mois)

Valorisation des livrables sous forme orale (congrès scientifiques, salons agricoles, réunions bouts de champ, journée technique) (date prévisionnelle de disponibilité T0+ en cours de projet entre 24 et 48 mois, puis au-delà du projet > 48 mois)

Description de la sous-traitance :

La sous-traitance concerne :

- Gènes Diffusion pour 200 000 € : Analyse microbiote fécal de 2 400 animaux et biostatistique
- CRAW pour 100 000€ : Intégration des données MIR du lait et réalisation d'équation de prédiction
- Poisy : 9 jours technicien + 3 jours ingénieur + 7 200 € analyse
- Arvalis Institut du Végétal : 6 jours technicien
- INRAE UMR-H : 46 400 € analyse microbiote, sang et spectres +
- INRAE Le Pin au Haras : 32 000 € consommables GreenFeed
- Stations génétiques de Moussours et Casteljaloux : 86 000 € consommables GreenFeed

Description des achats :

16 000 € Congélateurs

Description des investissements à réaliser ou à mobiliser pour le projet :

Deux GreenFeed et équipements associés pour 192 000 € pour les 2 stations génétiques de Moussours et Casteljaloux

Lot n° 4	Elaboration de références et évaluation de solutions nutritionnelles
Nature du lot : Essais zootechniques	
<input type="checkbox"/>	RDI = dépenses de recherche développement et innovation
<input type="checkbox"/>	Investissement = achats de matériels durables, travaux d'infrastructure
Date de démarrage : T0 + 5 mois	
Date de fin : T0 + 48 mois	
Durée (en mois) : 43 mois	
Objectifs de ce lot / résultats attendus :	
Les essais inclus dans ce lot permettront d'acquérir des références sur les émissions de méthane entérique selon chaque type d'alimentation, de tester l'efficacité des leviers de réduction de méthane entérique à disposition des éleveurs, et d'évaluer de nouvelles solutions nutritionnelles identifiées pour réduire les émissions de méthane.	
A la suite de chaque essai, des analyses statistiques seront réalisées sur l'ensemble des phénotypes mesurés (poids, production laitière, ingestion, etc.) et les valeurs de méthane entérique mesurées grâce au GreenFeed (outil de référence dans ce projet). Ces résultats seront interprétés et confrontés à ceux de la littérature scientifique pour comprendre les mécanismes d'émission de méthane entérique intervenant au sein de chaque essai, mais aussi inter-essai. Il en découlera des recommandations techniques destinées à réduire les émissions de méthane entérique, applicables selon les conditions d'élevage.	
Ce lot sert également de support d'acquisition de données pour l'ensemble des mesures <i>in vivo</i> de ce projet et la création d'outils qui seront déployés auprès de la filière élevage de bovins. En effet, de multiples conduites d'élevage (catégories de bovins, races, rations, stade physiologique) seront évaluées pour être représentatif de l'élevage bovin en France et ainsi créer de la variabilité et des données nécessaires à l'activité des autres lots du projet. De plus, l'activité ce lot est intimement lié à l'activité des lots 2 et 3.	
Partenaires :	
- Partenaire responsable : IDELE	
- Partenaires impliqués : INRAE, CRAPdL, CRAB, APIS-GENE, Thorigné, Les Trinottières	
Description synthétique des tâches qui composent ce lot :	
Tâche n° 4.1 : Acquisition de références d'émissions de CH₄ dans des situations d'élevage peu/pas documentées et porteuses d'avenir	
Le premier objectif de cette tâche consiste à acquérir et définir des valeurs de méthane entérique de référence à l'aide des lots de référence (ou témoins) de tous les essais zootechniques :	
<ul style="list-style-type: none"> • Par ration représentative d'une diversité d'élevages français (zone de plaine, herbagère ou montagne ; dominante ensilage de maïs ou herbe) • Par catégorie animale dont les effectifs et le niveau d'émission sont les plus importants en France (vache laitière, vache allaitante, jeunes bovins) • Selon plusieurs gabarits d'animaux (races, stade physiologique) • Dans des situations et sur des catégories de bovins peu ou pas documentées et porteuses d'avenir (composition et mode de pâturage, ration à l'auge avec des fourrages d'intérêt réduisant les émissions de méthane, test d'additifs anti-méthane, bovins viande, croisement entre races). 	
Cette tâche assurera également la construction d'un réseau d'essais dont les données serviront de base de données à l'ensemble des lots. En effet, la variabilité des valeurs de méthane entérique obtenue grâce à cette diversité de situations nourrira les simulations et modélisations au niveau du système prévues dans le lot 6 et la construction d'outils dans les lots 3, 5 et 7. Leur domaine d'application sera ainsi représentatif d'un large panel.	
Tâche n° 4.2 : Evaluation de solutions nutritionnelles sur des animaux en production (additifs, composition botanique des prairies), via des essais zootechniques (avec lot témoin)	
Cette tâche ambitionne de quantifier le niveau de réduction du méthane entérique chez les bovins pour plusieurs leviers alimentaires au sein de chaque essai. Il s'agira aussi de conclure sur la variabilité des résultats obtenus entre les différents essais étudiant des leviers similaires.	

- Concernant le choix des additifs à étudier, nous réaliserons **une étude bibliographique préalable** sur les additifs qui présenteraient le potentiel le plus intéressant : efficacité de la solution, lieux de production et dépendance possible, émissions de GES à l'aval (transformation et distribution) et à l'amont de la filière, impact environnemental. Cette étude associera des connaissances scientifiques récentes et des informations provenant des fournisseurs de solutions. Une synthèse sera produite de façon concomitante avec un appel à solutions "anti-méthane" auprès des fabricants d'aliments, de firmes services ou de tout autre structure ayant un additif de ce type dans leur gamme de produits.
- Ensuite **un appel à solutions** sera proposé. D'ores et déjà, de potentiels partenaires ont manifesté de l'intérêt pour cet appel à solutions. Lors de cet appel à solutions, chaque candidat devra faire état des connaissances scientifiques associées à sa solution, de la disponibilité de la solution, des autorisations de mise en marché actuelles et des résultats sur la rémanence des solutions dans les produits animaux.
- **Le choix des solutions testées** se fera en fonction de critères techniques, de leur disponibilité et de la diversité de leurs modes d'action.
- À l'issue de la sélection, chaque fournisseur de solution sélectionné passera un contrat avec le consortium METHANE 2030. Ce contrat contiendra un accord sur les conditions de mise à disposition, d'utilisation du produit, les conditions de diffusion des résultats qui seront publics et toute autre information que le comité des partenaires jugerait indispensable.

Dans cette tâche, les essais seront orientés vers deux types de solutions alimentaires :

- Ajouter un additif « anti-méthane » dans la ration d'origine. Un appel à solutions auprès d'entreprises de l'alimentation animale sera ouvert en début de projet pour sélectionner les additifs testés, selon les modalités énoncées plus haut.
- Diversifier la ration en agissant à l'auge (parts et types de fourrages et de concentrés) et au pâturage (composition botanique de la prairie d'origine avec légumineuses, chicorée, plantain ; pâturage d'herbe à plusieurs stades physiologiques).

Dispositif proposé en bovin lait :



Dispositif proposé en bovin viande :

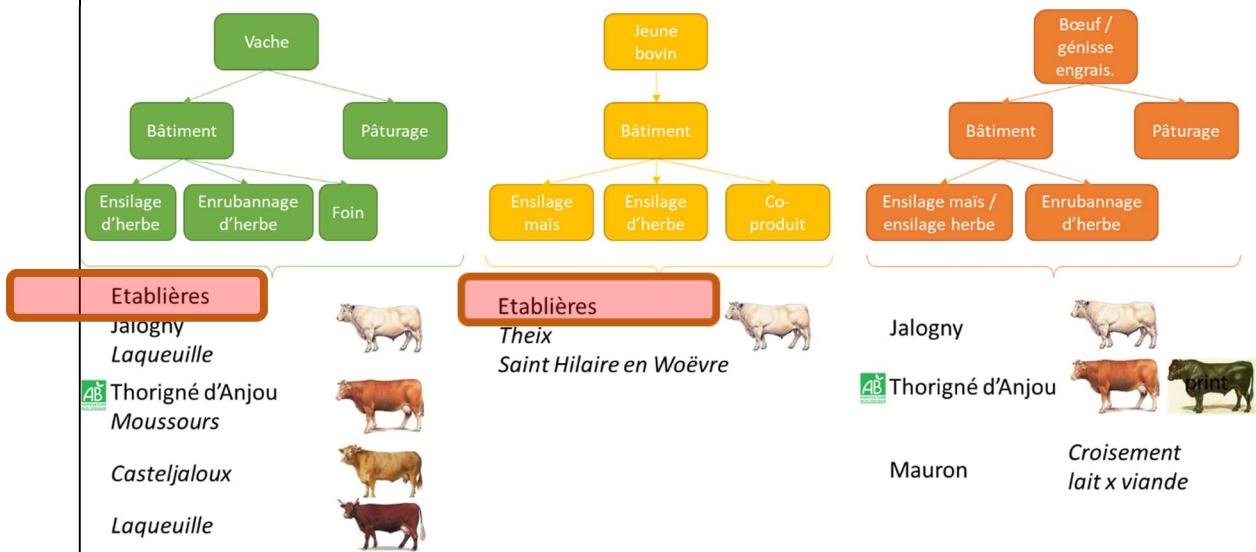


Tableau du nombre de combinaisons du type génétique x régime alimentaire x solutions testées

Nombre d'animaux prévus	Référence		Diversification de la ration		Ajout d'un additif	
	BL	BV	BL	BV	BL	BV
Régimes alimentaires	BL	BV	BL	BV	BL	BV
Enrubannage herbe + concentrés		40				28
Ensilage de maïs + pâturage	20		20			
Ensilage dérobée + concentrés		14				
Ensilage herbe + concentrés		86				
Ensilage herbe + coproduits		16				
Ensilage herbe + foin + concentrés	40				40	
Ensilage herbe et ensilage maïs + concentrés	160	849			160	
Ensilage maïs + concentrés	20	144			20	120
Ensilage méteil		16				
Ensilage méteil + concentrés		32				
Foin + concentré		60				
Pâturage	60	415	40	44		
Total général	300	1672	60	44	220	148

Tableau récapitulatif du nombre d'animaux phénotypés et génotypés par type et par race nécessaires au Lot 5

Phénotypes et génotypes	BL		BV	
	Femelles en lactation	Femelles d'élevage	Femelles d'élevage	Mâles de station
Normande	2 500			
Limousine		200		1 200
Blonde d'Aquitaine		200		300
Charolaise		600		600

Tâche n° 4.3 : Evaluer l'effet de la distribution dans le jeune âge d'un additif sur le CH₄ érucé pendant toute la vie du bovin

L'action consiste à mesurer les émissions de méthane de bovins adultes ou pré-adultes dont certains auront, dans leur jeune âge, reçu un additif qui réduit les émissions de méthane entérique, mesurant ainsi une action rémanente de l'additif.

Deux types de carrière seront étudiées :

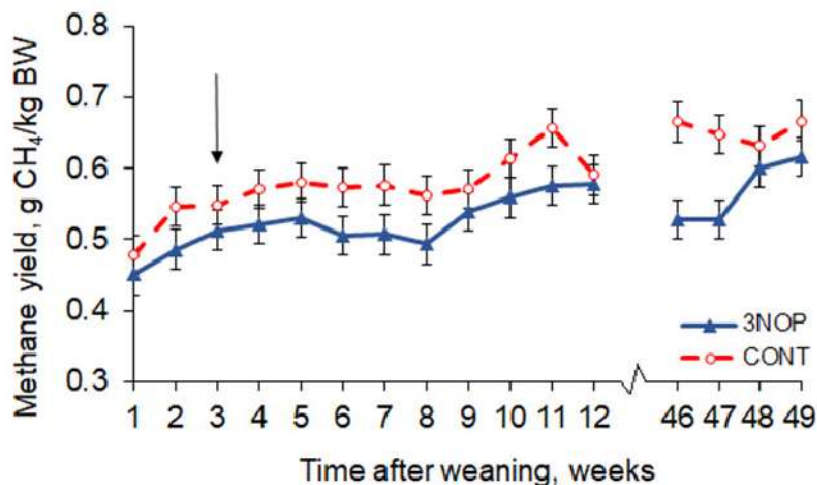
- Carrière lait : des veaux femelles issues du cheptel laitier et destinées à produire du lait pendant leur carrière de vache laitière
- Carrière viande : des veaux d'origine laitière (laitiers ou croisés lait x viande), destinés à l'engraissement pour produire des bovins abattus vers 16 – 17 mois

Pour chaque Carrière, un additif alimentaire sera apporté à 50% des effectifs dès les 1^{ers} jours de vie (Carrière lait) ou à partir de 21 jours de vie (Carrière viande) et ce, pendant les 1^{ers} mois de vie.

Pour chaque Carrière, les émissions de méthane entérique seront mesurées à plusieurs reprises au cours de la vie de l'animal pour évaluer l'effet de cet additif sur le court et long terme. Ces données, combinées aux autres mesures zootechniques, amélioreront la compréhension du mode d'action de cet additif sur les émissions de méthane entérique. De plus, ces essais détermineront les modalités d'application pratique d'un tel additif pendant le jeune âge, ainsi que l'intérêt technique, économique et environnemental de ce levier.

En effet, des travaux scientifiques récents ont montré *in vivo* une réduction des émissions de méthane entérique avec un additif alimentaire distribué précocement à des génisses en croissance. Il reste néanmoins 4 points à étudier :

- La reproductibilité des résultats en conditions d'élevage
- La recherche d'un effet potentiel au-delà de 13 mois, plus particulièrement sur la première lactation en Carrière lait
- L'effet potentiel dans une Carrière viande
- L'effet d'additivité potentiel d'un apport précoce et tardif



Tâche n° 4.4 : Evaluation de la qualité des produits animaux (composantes nutritionnelles, qualités sanitaires)

L'objectif est d'évaluer l'effet des leviers alimentaires sur la qualité des produits laitiers. Cette tâche s'appuie sur les essais cités précédemment (4.1, 4.2 et 4.3). Pour les tâches 4.1, 4.2 et 4.3, les mesures réalisées porteront sur le méthane entérique (GreenFeed), les performances laitières et de croissance, l'ingestion (collective ou individuelle), la qualité des produits, les événements de santé, etc. Les caractéristiques animales seront également relevées (catégorie animale, race, genre, stade physiologique, etc.). Les phénotypes collectés seront définis dans le lot 2 et homogènes entre les essais. Elle implique de réaliser des mesures complémentaires pour chaque essai :

- Composition fine du lait (protéines, acides gras, minéraux)
- Recherche de résidus d'additifs

Livrables :

Livrable Lot 4.1

Livrable 4.1 : Acquisition de valeurs de référence du méthane entérique par catégorie de bovin, stade physiologique, type de ration, race et système d'élevage (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrables Lot 4.2

Livrable 4.2.1 : Quantification de la réduction du méthane entérique selon chaque levier et solution nutritionnelle évaluée intra et inter essai (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrable 4.2.2 : Revue bibliographique sur les additifs anti-méthane disponibles sur le marché de l'alimentation animale (*date prévisionnelle de disponibilité T0 + 6 mois*)

Livrable 4.2.3 : Liste des solutions proposées à la suite de l'appel à solution et tableau de synthèse des critères de choix (*date prévisionnelle de disponibilité T0 + 6 mois*)

Livrable Lot 4.3

Livrable 4.3 : Quantification de la réduction du méthane entérique selon chaque conduite et moment d'apport d'un additif alimentaire au cours de la vie d'un bovin (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrable Lot 4.4

Livrable 4.4 : Qualification des produits laitiers issues d'animaux alimentés avec des additifs alimentaires (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ 48 mois*)

Livrables génériques

Valorisation des livrables 4.1, 4.2 et 4.3 sous forme écrite (articles scientifiques, compte rendu, presse agricole ...) (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ en cours de projet entre 24 et 48 mois, puis au-delà du projet > 48 mois*)

Valorisation des livrables 4.1, 4.2 et 4.3 sous forme orale (congrès scientifiques, salons agricoles, réunions bouts de champ, journée technique ...) (*date prévisionnelle de disponibilité T0+ en cours de projet entre 24 et 48 mois, puis au-delà du projet > 48 mois*)

Description de la sous-traitance :

- Arvalis Institut du Végétal : 5000 € financement d'équipement + 50 jours technicien pour mesures d'un lot supplémentaire au sein d'un projet existant (COPRAME)
- Poisy : 199 jours technicien + 32 jours ingénieur
- INRAE UMR-H : 100 000 € réalisation d'essai + 90 000 € d'achat d'un GreenFeed et équipement
- INRAE Le Pin au Haras : 60 000 € d'analyses infrarouge du lait et des fourrages
- INRAE UMR PEGASE : 60 800 € d'analyses fines de la composition du lait

Résumé du projet national multi-partenarial Méthane 2030 :

Fortes des atouts de l'élevage et de son rôle pour apporter des solutions climato-intelligentes, les filières bovines sont mobilisées sur les thématiques de décarbonation de la production, au cœur de leurs démarches de responsabilité sociétale et environnementale. Afin d'atteindre ces objectifs, scientifiques et professionnels se sont rassemblés autour d'un projet de grande ampleur à l'échelle française. Il vise à développer des solutions multi-leviers pour accélérer la réduction des émissions de méthane entérique (CH₄) dans les élevages bovins lait et viande. L'ambition de ce programme est d'impacter largement et durablement le secteur de l'élevage bovin français en visant une réduction de 30% de ses émissions de méthane en 10 ans.

Ce projet s'appuiera sur de multiples essais reposant sur des acquisitions de références de CH₄ avec des GreenFeed, un outil non invasif qui produira nos mesures de référence au niveau expérimental. Les essais seront réalisés dans des conditions variées, que cela soit sur le plan des animaux (races, âges différents...), des rations (différents grands types de régimes, utilisation ou non de complément alimentaire...) ou des systèmes d'élevage (management des animaux, variabilité géographique...). Ils permettront à posteriori de recommander des solutions techniques selon les résultats de réduction du CH₄ obtenus. En parallèle, des évaluations du potentiel génétique des bovins suivis précédemment seront conduites afin que les éleveurs puissent sélectionner pour leur reproduction les animaux ayant la capacité de transmettre une génétique moins émettrice de CH₄. L'ensemble des données collectées et leviers identifiés seront réunis au sein d'un outil d'audit environnemental existant (CAP2ER), afin de conduire un diagnostic le plus précis et pertinent possible en termes de pistes de réduction des émissions de GES dans les élevages français. Le projet prévoit de fournir aux éleveurs des outils de sélection génétique pour classer les animaux, et sélectionner les plus intéressants, avec une mesure qui prédit directement les émissions de méthane entérique, au travers d'analyses par le proche infrarouge (SPIR) des fèces par exemple.

Le projet rassemble 57 sites répartis sur toute la France pour 5 684 animaux. Ce nombre important est nécessaire pour capter la diversité de l'élevage français et fournir des outils et réponses les plus précises possibles pour répondre aux enjeux environnementaux d'aujourd'hui et demain.

La participation active à ce programme national permet à la ferme des Etablères :

- Des échanges techniques et scientifiques avec tous les nombreux partenaires de ce projet qui répond à un enjeu sociétal très attendu,
- De contribuer à alimenter la base nationale de données sur les émissions de méthane, qui sera utilisable par les chercheurs zootechniciens et généticiens français (INRAE, Institut de l'Élevage, Eliance...),
- De bénéficier des résultats obtenus dans toutes les actions du projet, de l'acquisition de références jusqu'à des outils de conseil utilisables par les éleveurs (actions 3 à 6 de M2030)

Annexe 3 : Références bibliographiques

Abbott, D.W., Aasen, I.M., Beauchemin, K.A., Grondahl, F., Gruninger, R., Hayes, M., Huws, S., Kenny, D.A., Krizsan, S.J., Kirwan, S.F., Lind, V., Meyer, U., Ramin, M., Theodoridou, K., von Soosten, D., Walsh, P.J., Waters, S., Xing, X., 2020. Seaweed and Seaweed Bioactives for Mitigation of Enteric Methane: Challenges and Opportunities. *Animals* 10, 2432. <https://doi.org/10.3390/ani10122432>

Almeida, A.K. de, Hegarty, R.S., Cowie, A., 2021. Meta-analysis quantifying the potential of dietary additives and rumen modifiers for methane mitigation in ruminant production systems. *Animal Nutrition* 7, 1219–1230. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.09.005>

Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E.M., Eckard, R.J., Wang, M., 2020. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal* 14, s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>

Bes, A., Nozière, P., Renand, G., Rochette, Y., Guarnido-Lopez, P., Cantalapiedra-Hijar, G., Martin, C., 2022. Individual methane emissions (and other gas flows) are repeatable and their relationships with feed efficiency are similar across two contrasting diets in growing bulls. *animal* 16, 100583. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100583>

Broucek, J., 2014. Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry: A Review. *Journal of Environmental Protection* 05, 1482–1493. <https://doi.org/10.4236/jep.2014.515141>

Citepa, 2023. Format Secten.

Della Rosa, M.M., Waghorn, G.C., Vibart, R.E., Jonker, A., 2022. An assessment of global ruminant methane-emission measurements shows bias relative to contributions of farmed species, populations and among continents. *Anim. Prod. Sci.* 63, 201–212. <https://doi.org/10.1071/AN22051>

Douhay, J., Brouard, S., 2021. Les conduites alimentaires en finition de l'offre française de viandes de gros bovins. *Interbev et Idele*.

Eugène, M., Klumpp, K., Sauvart, D., 2021. Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass Forage Sci* 76, 196–204. <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>

Hammond, K.J., Crompton, L.A., Bannink, A., Dijkstra, J., Yáñez-Ruiz, D.R., O'Kiely, P., Kebreab, E., Eugène, M.A., Yu, Z., Shingfield, K.J., Schwarm, A., Hristov, A.N., Reynolds, C.K., 2016. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 219, 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2016.05.018>

Hartmann, D.L., Klein Tank, M., Rusticucci, AMG., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., Zhai, P.M., 2013. Observations: Atmosphere and surface, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Planet on Climate Change*. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley P.M., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 159–254.

Hegarty, R.S., Cortez Passetti, R.A., Dittmer, K.M., Wang, Y., Shelton, S., Emmet-Booth, J., Wollenberg, E., McAllister, T.A., Leahy, S., Beauchemin, K.A., Gurwick, N., 2021. An evaluation of evidence for efficacy and applicability of methane inhibiting feed additives for livestock. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and the New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC) initiative of the Global Research Alliance (GRA).

Honan, M., Feng, X., Tricarico, J.M., Kebreab, E., 2021. Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. *Anim. Prod. Sci.* 62, 1303–1317. <https://doi.org/10.1071/AN20295>

Inosys Réseau d'élevage, 2022. Produire de la viande bovine avec le troupeau allaitant dans l'Ouest. Références 97.

Jayanegara, A., Sarwono, K.A., Kondo, M., Matsui, H., Ridla, M., Laconi, E.B., Nahrowi, 2018. Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science* 17, 650–656. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1404945>

Lean, I.J., Golder, H.M., Grant, T.M.D., Moate, P.J., 2021. A meta-analysis of effects of feeding seaweed on beef and dairy cattle performance and methane yield. *PLOS ONE* 16, e0249053. <https://doi.org/10.1101/2021.03.11.434923>

Martin, C., Dubbroeucq, H., Micol, D., Agabriel, J., Doreau, M., 2007. Methane output from beef cattle fed different high-concentrate diets. *Proc. Br.Soc. Anim. Sci.* 2007, 46–46. <https://doi.org/10.1017/S1752756200019499>

Murray, R.M., Bryant, A.M., Leng, R.A., 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* 36, 1–14. <https://doi.org/10.1079/BJN19760053>

Nozière, P., Sauvant, D., Delaby, L., 2018. INRA feeding system for ruminants, Wageningen Academic Publishers. ed. Wageningen, the Netherlands.

Pickering, N.K., Oddy, V.H., Basarab, J., Cammack, K., Hayes, B., Hegarty, R.S., Lassen, J., McEwan, J.C., Miller, S., Pinares-Patiño, C.S., de Haas, Y., 2015. Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal* 9, 1431–1440. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000968>

Pinares-Patiño, C.S., Baumont, R., Martin, C., 2003. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 769–777. <https://doi.org/10.4141/A03-034>

Pôle économie et prospective des Pays de la Loire, 2015. Le grand Ouest, terre d'élevage. Pays de la Loire.

van Gastelen, S., Dijkstra, J., Bannink, A., 2019. Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? *Journal of Dairy Science* 102, 6109–6130. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15785>

Collection
Résultats

Edité par :
l'Institut de l'Élevage

149 rue de Bercy
75595 Paris Cedex 12
www.idele.fr
Juin 2024

Dépôt légal :
2e trimestre 2024
© Tous droits réservés
à l'Institut de l'Élevage
Réf. 0024 311 036
ISSN 1773-4738



Les émissions de méthane entérique en Vendée : acquisition de valeurs de référence et recherche de solutions pour les réduire au sein de la filière bovine allaitante

Travaux de recherche conduits sur la ferme expérimentale des Etablières

Depuis 1900, la température moyenne de l'air a augmenté de 1°C dans le monde et serait liée à une hausse de la quantité de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. En France, 19% des gaz à effet de serre proviennent du secteur agricole. Le méthane entérique (CH₄) est le 1er gaz émis dans ce secteur et provient à 87% des bovins, qui le produisent naturellement au cours de leur processus digestif. Malheureusement, trop peu d'études ont été menées en France dans des contextes représentatifs de la diversité des systèmes d'élevage bovin allaitant.

42% de la viande bovine française est produite dans le Grand Ouest, principalement dans la région Pays de la Loire. Il existe donc un enjeu d'évaluation et de réduction des émissions de CH₄ important en Pays de la Loire.

En partenariat avec le conseil départemental de Vendée, une étude sur les émissions de CH₄ en élevage bovin allaitant a été conduite entre 2021-2023 sur la ferme expérimentale des Etablières, à la Roche Sur Yon.

L'objectif consistait à acquérir des références sur plusieurs catégories de bovins allaitants Charolais (jeunes bovins, vaches suitées, génisses de renouvellement) et des rations représentatives (en bâtiment et au pâturage) des systèmes de Vendée / Pays de la Loire.

Les mesures de CH₄ ont été réalisées grâce à un Greenfeed qui est un distributeur automatique de petites quantités de concentré couplé à des outils de quantification du CH₄ éructé. Un dispositif de protection de cet outil en bâtiment et un dispositif de protection + mobilité au pâturage ont été spécialement conçus et construits localement en Vendée et dans le Choletais.

Les premières références de CH₄ obtenues montrent une plage de variation comprise entre 157 et 263 g/j/jeune bovin charolais (444 kg vif et 10,7 mois) et entre 179 et 272 g/j/jeune bovin charolais (370 kg vif et 8,5 mois) à l'engraissement avec des rations à base d'ensilage de maïs seul ou associé à de l'ensilage d'herbe. Au pâturage, les vaches suitées (4,1 ans) ont émis entre 236 et 294 g/j/vache au printemps, tandis que les génisses de renouvellement (22,7 mois et 629,3 kg vif) ont émis entre 213 et 277 g/j/animal en période estivale (affouragées avec du foin et enrubannage en majorité) puis entre 274 et 346 g/j/animal en période automnale (accès à l'herbe fraîche + affouragées avec du foin et enrubannage).

Ces premiers essais de mesures de CH₄ avec un GreenFeed sur des bovins allaitants ont apportés énormément d'expertise à l'équipe des Etablières et à IDELE, sur la faisabilité technique de telles mesures, récentes en France dans le domaine de la recherche appliquée. Forts de ces enseignements et de ces apports techniques, la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire a pu se positionner comme partenaire d'un projet national d'envergure, Méthane 2030, multi-partenarial, encadré par deux Instituts Techniques nationaux (INRAE et IDELE) et financé par France 2030 (BPI France). Dès lors, la ferme expérimentale des Etablières va conduire 4 essais expérimentaux (nationaux) dans le cadre de ce projet entre 2024 et 2026 et ainsi mobiliser les connaissances et compétences acquises grâce à ce projet d'étude.

Avec le soutien financier :

Contact :

jean-jacques.bertron@idele.fr

Juin 2024

Réf. 0024 311 036

ISSN 1773-4738

www.idele.fr

