



HAL
open science

Évaluation de la production de méthane entérique sur un troupeau de race Maraîchine

Alice Fouquet

► **To cite this version:**

Alice Fouquet. Évaluation de la production de méthane entérique sur un troupeau de race Maraîchine. [Stage] UE INRAE Saint-laurent-de-la-Prée; UniLaSalle. 2021, 37 p. hal-03122013

HAL Id: hal-03122013

<https://hal.inrae.fr/hal-03122013>

Submitted on 26 Jan 2021

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

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

Spécialité Agronomie et Agro-industries

Évaluation de la production de méthane entérique sur un troupeau de race Maraîchine

Alice FOUQUET

Rapport de stage
Promotion 2018 AP3

Maître de Stage : Anne FARRUGGIA/Michel PRIEUR
Tuteur : Christophe GANGNEUX

Année
2020-2021

RÉSUMÉ

La limitation du réchauffement climatique implique une réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment celles de méthane. L'un des moyens de réduire le méthane par les ruminants est de diminuer les émissions de méthane entérique produit naturellement dans le rumen. De nombreuses solutions ont vu le jour notamment au niveau de la ration, mais il n'existe cependant pas de solution miracle.

Leur applicabilité est limitée par le fait que les vaches allaitantes sont généralement alimentées avec une très forte proportion de fourrages. L'utilisation de rations très concentrées est efficace, mais présente d'autres inconvénients pour les ruminants. L'enrichissement de la ration en lipides est la voie la plus prometteuse notamment en utilisant le lin qui est probablement la source la plus efficace. Quant aux plantes riches en tanins, ils réduisent la production de méthane, mais leur emploi est limité par le risque de baisse des performances animales.

La ferme expérimentale INRAE de Saint Laurent de-la-Prée a mis cette problématique au cœur de ses préoccupations. Ce rapport met en avant les résultats concernant le bilan de méthane entérique du troupeau de vaches de races maraichines. Les résultats montrent que les émissions de la ferme sont relativement élevées par rapport à ce que l'on trouve dans les publications scientifiques. Il est supposé que cela est dû au système extensif qui implique une quantité importante de fourrage, de pâturage et peu de concentrés. Aujourd'hui le moyen le plus efficace pour réduire considérablement les GES dans le troupeau de maraichines est par conséquent de réduire les effectifs en limitant les mises à la reproduction.

MOTS CLÉS

Gaz à effet de serre ; Méthane entérique, vache allaitante, agroécologie, maraichine

REMERCIEMENTS

Le stage que j'ai eu l'occasion d'effectuer au sein de l'unité expérimentale INRAE-SLP a été une réelle opportunité pour enrichir mes connaissances. Je souhaite ainsi remercier Lilia MZALI, directrice d'unité et l'ensemble de l'équipe de l'unité de Saint Laurent-de-la-Prée, ingénieurs et techniciens, de m'avoir accueilli au sein de leur équipe durant deux mois de bonne humeur malgré la crise sanitaire que connaît le monde aujourd'hui.

Je remercie particulièrement, Anne FARRUGGIA et Michel PRIEUR, mes maitres de stage respectivement d'étude et de terrain, pour la mission, la confiance et le temps qu'ils m'ont accordé. Merci également à Pierre ROUX, deuxième animalier de la ferme, avec qui j'ai passé de nombreuses heures enrichissantes.

Bien que n'ayant pas pu la rencontrer, je remercie aussi Maguy EUGENE d'INRAE Clermont-Ferrand, pour les explications, si précieuses, concernant l'équation qui m'a permis de mener cette étude lors de visioconférence ou par courriel.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	8
	ORGANISME DE RECHERCHE, PROJET TRANSI'MARSH	8
1.	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)	8
1.1	Présentation générale de la structure.....	8
1.2	Organisation d'INRAE	8
1.3	Le centre Nouvelle-Aquitaine Poitiers.....	9
2.	L'unité de recherche ACT-SLP.....	10
2.1	Présentation de l'unité	10
2.2	Ses activités	10
3.	Un contexte agricole plongé au cœur des préoccupations du réchauffement climatique.....	11
4.	Transi'marsh : Un dispositif expérimental pour tester la transition agroécologique en marais.....	12
II.	MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	13
1.	La ferme expérimentale et le troupeau.....	13
1.1	La ferme entre 2017 et 2019	13
1.2	Le troupeau en 2019.....	14
1.2.1	Le fonctionnement du troupeau	14
1.2.2	Les animaux et LA GESTION du troupeau	15
1.2.3	L'alimentation.....	15
1.3	L'évolution du troupeau de 2019 à 2025	17
2	Méthodes utilisées	17
2.1	Le calcul des émissions de CH ₄	17
2.2	Les simulations du fonctionnement du troupeau	19
2.3	Calculs des émissions du troupeau.....	20
IV.	RÉSULTATS.....	21
1	La production de CH _{4e} par catégorie	21
2	La production de CH _{4e} par animal durant un mois	21
3	La production de CH _{4e} au cours de l'année	22
3.1	Emissions d'un animal au cours de l'année.....	22
3.2	Emissions du troupeau au cours de l'année.....	22
4	La production totale de CH _{4e} selon la taille du troupeau	23
V.	DISCUSSIONS	24
1	La production de méthane entérique de la ferme INRAE à Saint Laurent de-la-Prée	24
2	Les limites du calcul des émissions dans le cadre de l'étude	25
3	Perspective d'amélioration des rations dans le but de réduire les GES.....	26
VI.	CONCLUSION	27

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Annexe 1 : Organisation d'INRAE et position de l'unité ACT-SLP de Saint Laurent de-la-Prée (production personnelle).....	29
Annexe 3 : Évolution du projet Transi' Marsh depuis 2009 (INRAE SLP,2019).....	30
Annexe 2 : Organisation fonctionnelle de l'unité (production personnelle).....	30
Annexe 4 : Schéma de reproduction du troupeau 2018-2019. (CHATAIGNER, 2019).	31
Annexe 5 : Répartition des cultures sur le parcellaire de l'exploitation agricole, année 2018-2019 (INRAE SLP, 2018).....	32
Annexe 6 : Exemple de feuille alimentation - janvier 2019 (PRIEUR, 2019).....	33
Annexe 7 : Détails des calculs prenant en compte les interactions digestives dans le rumen (adaptée de SAUVANT, 2013).....	34
Annexe 8 : Exemple de modélisation du cas de 44 MAR (CHATAIGNER, 2019).....	35
Annexe 9 : Paramètres de simulation pour les 3 cas de mises à la reproduction (64, 52 et 44 MAR)(FARRUGGIA, 2020).....	35
Annexe 10 : Durée de vie dans l'atmosphère et potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre (GIEC, 2007).....	36
Carte 1 : Répartition géographique des différentes unités du Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers (INRAE, 2020)	9
Carte 2 : Répartition des zones de marais en Charente-Maritime (PRÉFET DE LA CHARENTE-MARITIME, 2018).....	10
Graphique 1 : Fourrage produit de 2017 à 2019 (INRAE SLP, 2019)	14
Graphique 2 : Production de CH _{4e} par catégorie d'animal en kg par an (production personnelle)	21
Graphique 3 : Production de CH _{4e} pour les VAP en 2019 en kg par mois (production personnelle)	22
Graphique 4 : Production du troupeau en kg de CH _{4e} par mois (production personnelle).....	22
Graphique 5 : Production totale du troupeau en kg/mois (production personnelle).....	23
Graphique 6 : Somme des UGB au cours de l'année (production personnelle).....	25
Image 1 : Logo du projet Transi'marsh (INRAE SLP, 2020),	12
Tableau 1 : Effectif et nombre d'UGB du troupeau entre 2017 et 2019. (UGB race allaitante rustique pure (Salers, Aubrac) = source INOSYS, Référentiel élevage 2018 Bovins lait et bovins viande Auvergne-Aveyron-Lozère).....	13
Tableau 2 : Ration distribuée en 2019 (production personnelle)	16
Tableau 3 : Variation des facteurs de production de CH ₄ (production personnelle)	18
Tableau 4 : Simulation de 44 MAR sur l'effectif et les UGB du troupeau (CHATAIGNER, 2019).....	19
Tableau 5 : Simulation des rations distribuées pour 44 et 52 MAR (production personnelle).....	20
Tableau 6 : Production de CH _{4e} par mois pour une VAP selon la simulation (production personnelle)	21
Tableau 7 : Nombre d'animaux vendus et tonnes de viandes vives vendues par simulation (FARRUGGIA, 2020) ...	23
Tableau 8 : Production de CH ₄ /kg de viande vive et son équivalent CO ₂ sur 20 et 100 ans (production personnelle)	23

LISTES DES ABRÉVIATIONS, SYMBOLES ET UNITÉS

AB : Agriculture biologique
ACT : Sciences pour l'Action, les Transitions, les Territoires
CH₄ : méthane
CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CO₂ : Dioxyde de carbone
ENR : Enrubannage
EPST : Établissement public à caractère scientifique et technologique
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GES : Gaz à effet de serre
GO : Broutard(e) 9-12 mois
G1 : Génisse 12-24 mois
G2 : Génisse 24-36 mois
ha : hectare
INRA : Institut national de la recherche agronomique
INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
kg : kilogramme
LUZ : Luzerne
MAA : Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
MAR : Mise à la reproduction
MOD (ou dMO) : Matière organique digestible
MS : Matière sèche
MSI : Matière sèche ingérée
MTES : Ministère de la transition écologique et solidaire
Ni : Niveau d'ingestion
N₂O : Protoxyde d'azote
PCO : Proportion de concentré
PN : Prairie naturelle
PP : Primipare
PT : Prairie temporaire
PV : Poids vif
SAD : Sciences pour l'action et le développement
Sim44 : Simulation de 44 mises à la reproduction (même fonctionnement pour Sim52 et Sim64)
SLP : Saint Laurent-de-la-Prée
t : tonne
Tx : Taureau
UGB : Unité de gros bétail
VA : Vache allaitante
VF : Veau femelle
VM : Veau mâle
Vx : Veau 0-6 mois
REF : Vache de réforme

*Il suffit de rajouter **A** pour des animaux d'automne, **P** pour des animaux de printemps et **E** pour des animaux engraisés (ex : VAP – Vache allaitante de printemps).*

GLOSSAIRE

*Les termes qui apparaissent dans le lexique, sont repérés par un astérisque dans le texte ; **

Approche systémique : méthode d'analyse, d'appréhension d'un système complexe privilégiant l'approche globale par rapport à l'étude exhaustive des détails (BELLEVILLE P. *et al*, 2019).

Convention cadre : contrats-types dont l'objectif est de standardiser certaines des conditions régissant l'échange d'un produit financier (CMC MARKETS, 2019).

Instituts Carnot : regroupements de laboratoires publics de recherche sélectionnés selon un certain nombre de critères et traitant de thématiques spécifiques. Ils ont pour mission de développer des recherches de qualité pour l'innovation de leurs partenaires.

Polyculture-élevage : système de production agricole combinant une ou plusieurs cultures (destinée(s) à la vente et/ou à l'alimentation des animaux) et au moins un élevage.

Transition agroécologique : désigne un changement de modèle agricole pour mettre en œuvre des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes et répondre ainsi aux crises que traverse le secteur de l'agriculture.

Entérique : lié à l'intestin.

Drainage : Opération qui consiste à faciliter l'écoulement et l'évacuation des eaux dans les terrains trop humides.

Méteil : Association d'une ou plusieurs graminées avec une ou plusieurs légumineuses.

Vaches suitées : Vache accompagnée de son petit.

Poids vif : Poids de l'animal vivant, sur pied.

Primipare : Qui a mis bas pour la première fois.

Taux de productivité numérique : Nombre de veaux sevrés.

Portance : Capacité d'un sol à supporter la pression qu'exercent sur ce dernier des sabots d'un animal.

Refus : Plantes délaissées par le bétail.

Veaux rosés : Veau élevé au lait naturel têté au pis de la naissance à la vente.

Système extensif : Par opposition au système intensif, un système de production agricole qui consomme moins de facteurs de production par unité de surface.

Tanins : Substances végétales de la famille des polyphénols, utilisés par les plantes (arbres, plantes à fleur, etc.) comme moyen de défense chimique contre les microbes pathogènes et les herbivores.

Ensilage : Méthode de conservation des fourrages par acidification due à la fermentation lactique anaérobie d'un fourrage humide.

Affouragement : Action d'approvisionner en fourrage.

Broutard : Jeune bovin de race à viande sevré, de 6 à 9 mois.

Réforme : vache jugée inapte pour la production de veaux, du fait de son âge ou d'autres critères, et engraisée pour être abattue.

Rigole : Petit conduit, fossé étroit pour l'écoulement des eaux.

I. INTRODUCTION

ORGANISME DE RECHERCHE, PROJET TRANSI'MARSH

1. INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE POUR L'AGRICULTURE, L'ALIMENTATION ET L'ENVIRONNEMENT (INRAE)

1.1 PRESENTATION GENERALE DE LA STRUCTURE

L'unité expérimentale de Saint Laurent-de-la-Prée est une unité rattachée à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE). Cet institut créé le 1er janvier 2020 se trouve dans les premiers leaders mondiaux en sciences agricoles, alimentaires, sciences du végétal et de l'animal et se classe 10^{ème} mondial en écologie environnement (INRAE, 2020). Établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), INRAE est issu de la fusion de l'INRA, Institut national de la recherche agronomique et l'IRSTEA, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture. Il est sous la double tutelle du Ministère de l'enseignement supérieur, la recherche et l'innovation (MESRI) et du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA). Des conventions cadres* ont été établies avec le Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) dans le but de développer des collaborations (INRAE, 2020).

INRAE a pour objectif de donner la possibilité de produire et diffuser des connaissances scientifiques pour répondre aux enjeux de société, de former à la recherche et par la recherche. Cet organisme contribue également à la conception d'innovations technologiques et sociales et participe aux débats afin d'éclairer les décisions publiques. Ces objectifs s'inscrivent dans six thématiques de recherche majeures : l'agroécologie, l'alimentation - santé globale, la biodiversité, la bio-économie, le changement climatique et risques et territoires.

Afin de mener au mieux ses recherches, le budget 2020 est de plus d'un milliard d'euros dont 78.3 % correspondent aux subventions pour charge de service public et 21.7 % aux ressources propres.

1.2 ORGANISATION D'INRAE

Réparties sur le territoire français, les unités dépendent chacune d'un centre régional et d'un département scientifique spécifique. L'organisation des unités est faite sur 2 dimensions : une dimension scientifique (thématiques) et une dimension géographique. Concernant la dimension scientifique, il existe différentes formes d'unités : les unités expérimentales, les unités de service, les unités de recherche, les unités mixtes de recherche, les unités d'appuis à la recherche et les unités sous contrat. Les unités expérimentales et les unités de recherches dépendent d'un seul département scientifique alors que les unités mixtes de recherche ont plusieurs tutelles (soit 2 départements différents d'un même établissement, soit 2 établissements). Concernant la dimension géographique, une unité est généralement rattachée à un centre. Mais certaines unités peuvent être réparties sur plusieurs centres. Il y a 268 unités de recherche, de service et d'expérimentations réparties dans 18 centres de recherche régionaux, un centre-siège en région parisienne et 14 départements scientifiques, qui animent des communautés de recherche pluridisciplinaires (INRAE, 2020). En l'occurrence, l'implantation d'INRAE à Saint Laurent-de-la-Prée appartient au centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers. L'Annexe 1 représente l'organisation générale d'INRAE.

Les recherches sont réalisées avec le concours de presque 12 000 personnes qui témoignent d'une parité parfaite. Chaque année, INRAE accueille environ 2000 doctorants (dont 40 % de nationalité étrangère). L'institut est présent sur plus de 10 000 hectares d'expérimentation.

Pour valoriser les résultats de recherche INRAE dispose d'un réseau mobilisé pour accompagner les chercheurs dans leur projet, rechercher les partenaires, promouvoir les inventions, favoriser le transfert des résultats vers les

partenaires... Ce leader mondial de la recherche dans son domaine, travaille en partenariat avec une grande diversité d'acteurs (académiques, socioéconomiques, acteurs de terrain...) et les citoyens. Il est d'ailleurs partenaire de 33 sites universitaires au niveau national (INRAE, 2020).

Dans les acteurs de terrain, nous retrouvons les agriculteurs, les entreprises ou bien encore les collectivités territoriales. Le dialogue entre ces acteurs et les citoyens permet d'expliquer, débattre et participer aux démarches. Les partenariats académiques se font à l'échelle régionale, nationale, européenne et internationale, avec une forte implication des structures de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Il existe un large éventail d'outils collectifs, regroupés au sein d'infrastructures de recherche. INRAE entretient plus de 450 partenariats socio-économiques (avec des entreprises) qui sont construits et animés autour de domaines d'innovation et de cinq instituts Carnot*.

Le réseau international d'INRAE permet de collaborer avec les meilleures équipes en Europe et dans le monde, ce qui place cet institut comme un acteur moteur dans la recherche pour trouver des solutions concrètes et durables. Afin de coordonner ces projets européens, il existe de nombreuses infrastructures de recherche partagées en Europe. En 2019, INRAE a participé à 166 projets européens. Cet institut de la recherche met en place en Europe des coopérations via des programmations en recherche sur l'eau, sur le changement climatique ou via des réseaux d'instituts européens. Les partenariats sont structurés d'une part à l'aide des Laboratoires internationaux associés (LIA), qui sont des laboratoires avec des partenaires étrangers pour mettre en œuvre des projets d'excellence et d'autre part avec les réseaux de recherche internationaux et les projets prioritaires internationaux qui ont la capacité de mettre en place des moyens pour accélérer la coordination de certaines recherches (INRAE, 2020).

1.3 LE CENTRE NOUVELLE-AQUITAINE POITIERS

Comme évoqué précédemment, l'unité de recherche ACT-SLP dépend du centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers (voir Annexe 1). Ce centre dispose de plus de 19 millions d'euros de budget dont 77 % de subventions pour charge de service public, 10 % de ressources propres, 12 % de partenariat public et 1 % en provenance du privé. Situé dans une région riche en cultures et en élevage, le centre de recherche est reconnu pour son expertise sur les prairies, les productions animales et les territoires au service d'une agriculture performante et durable (INRAE, 2020).



Carte 1 : Répartition géographique des différentes unités du Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers (INRAE, 2020)

Techniciens, ingénieurs et chercheurs sont répartis en 10 unités implantées sur les territoires poitevins et charentais de la Nouvelle-Aquitaine (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Leurs activités s'inscrivent pleinement dans les priorités de la région qui sont : l'équilibre cultures-élevage, le changement climatique, la préservation de la ressource en eau et de la biodiversité et la compétitivité des secteurs agricoles et agroalimentaires.

Le centre INRAE Nouvelle-Aquitaine-Poitiers est présent sur 600 ha, et possède, en termes de personnel, 72 chercheurs, 101 ingénieurs et assistants ingénieurs et 43 techniciens (INRAE, 2020).

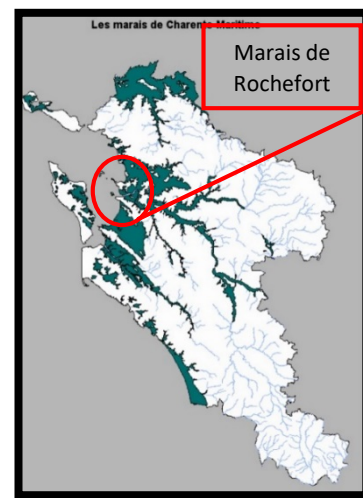
2. L'UNITE DE RECHERCHE ACT-SLP

2.1 PRESENTATION DE L'UNITE

L'unité est implantée au cœur des marais littoraux atlantique (Carte 2), entre La Rochelle et Rochefort-sur-Mer, ce qui lui confère une situation originale parmi les unités expérimentales françaises mais aussi européennes.

Cette unité dispose d'une ferme expérimentale en polyculture-élevage* certifiée agriculture biologique dans laquelle sont menées les expérimentations. La race élevée est la maraichine.

L'unité SLP relève d'un seul département : ACT (anciennement SAD). A l'origine de l'INRA, les départements étaient principalement disciplinaires. A la fin des années 1970, un certain nombre de chercheurs de ces départements, contestent la monodisciplinarité des départements et un réductionnisme croissant. C'est ainsi qu'a été créé le SAD (Systèmes agraires et développement), rebaptisé dans les années 2000 « Sciences pour l'action et le développement ». C'est le seul département pluridisciplinaire de l'INRA. Les recherches de l'ACT favorisent l'interdisciplinarité entre domaines techniques, écologiques et sociaux en ayant recourt à des approches systémiques* d'analyse (SOULARD, 2020).



Carte 2 : Répartition des zones de marais en Charente-Maritime (PRÉFET DE LA CHARENTE-MARITIME, 2018)

La répartition des recherches se fait au sein de différents pôles selon les domaines d'étude. Ils sont au nombre de quatre : le pôle cultures, biodiversité, élevage et eau. La collaboration entre les ingénieurs et les techniciens est une condition primordiale pour le bon déroulement des expérimentations. L'unité dispose également d'une équipe organisation fonctionnelle qui est généralement constituée de personnes assurant en parallèle des fonctions de recherche dans un des pôles.

Au total cela représente cinq ingénieurs permanents, deux ingénieurs CDD, deux chercheurs associés des départements BAP (Biologie et amélioration des plantes) et AgroEnv (Agronomie et environnement), cinq assistants ingénieurs, sept techniciens et agents et une personne chargée de l'entretien des locaux. L'Annexe 3 Annexe 1 est un schéma récapitulatif du personnel présent sur le site.

2.2 SES ACTIVITES

L'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée contribue à accompagner la transition agro écologique* des fermes en marais. Elle cherche, d'une part à co-concevoir et mettre au point des systèmes de production agro écologiques contribuant à des marais vivants, et d'autre part, à produire des connaissances et des outils mobilisables pour la transition agro écologique en marais. A titre d'exemple, l'unité a mené une expérience sur la production de roseaux en tant que litière animale dont les résultats se sont révélés intéressants (DURANT *et al.*, 2020).

Pour concevoir des systèmes agroécologiques, l'unité a mis en place une expérimentation système appelé Transi'marsh, qui sera présentée dans ce rapport, et s'est investie dans l'accompagnement de deux projets territoriaux. L'un est un projet avec l'association pour la Valorisation de la Race Bovine Maraîchine et des Prairies Humides. L'ambition de ce projet intitulé « Valoriser la Maraîchine pour conjuguer viande de qualité et préservation des milieux littoraux » est de contribuer au futur des élevages impliqués dans la production de vaches Maraîchines des marais littoraux atlantiques et à sa conciliation avec la préservation de la biodiversité des prairies humides. Il s'agit de revisiter, d'explicitier et de mieux valoriser les différentes dimensions de la qualité des produits issus de l'élevage de Maraîchines avec les acteurs du territoire. Quant à l'autre projet, il s'agit d'une participation active au Grand Projet du Marais de Brouage. La Communauté de communes du bassin de Marennes

et la Communauté d'agglomération Rochefort Océan portent de manière conjointe, un projet de préservation de la richesse biologique du marais de Brouage mais également de développement des potentiels touristiques et économiques « pérennisateurs » de la qualité de cette zone humide.

En termes de collaborations, l'unité mobilise d'autres collaborateurs scientifiques INRAE, en particulier dans les départements ACT, BAP, AgroEnv, PHASE. Elle collabore également avec des chercheurs de l'Université de La Rochelle (LIENSs) et du CIRAD. L'unité est présente à l'international, étant membre actif du Réseau international « Global Farm Platform ». Ses partenaires locaux sont nombreux : agriculteurs/éleveurs, Association pour la valorisation de la race bovine Maraîchine et des prairies humides, Forum des marais atlantiques, Ligue pour la protection des oiseaux (LPO), Chambres d'agriculture 17, 79, 85, Fédération régionale de l'agriculture biologique de Nouvelle-Aquitaine, Fédération des chasseurs 17...(INRAE, 2020)

3. UN CONTEXTE AGRICOLE PLONGE AU CŒUR DES PREOCCUPATIONS DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Selon le GIEC, l'idée d'un réchauffement climatique lié à l'activité humaine n'a été prise au sérieux qu'à la fin des années 1980. On prévoit une augmentation de 1.5°C en 2040 du fait de l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) (IPCC, 2018).

L'élevage contribue fortement à ces émissions et en particulier l'élevage des ruminants. Ainsi on estime que les émissions de GES par l'élevage contribuent pour 18 % aux GES à l'échelle mondiale (DOLLÉ *et al.*, 2011). C'est principalement le méthane émis par l'élevage des ruminants qui est remis en cause et plus particulièrement les émissions de méthane entérique* (CH₄). Le CH₄ entérique représente 71 % des émissions en élevage bovin allaitant (DOLLÉ *et al.*, 2011). Comprendre comment il est possible de réduire le CH₄ émis par les bovins est donc un enjeu très important.

Des travaux scientifiques permettent d'évaluer ces émissions issues de l'élevage (SAUVANT, NOZIERE, 2013 ; EUGENE *et al.*, 2018). Des expérimentations sont également mises en œuvre pour tester des pratiques qui permettraient de réduire la production de CH₄ entérique par les ruminants. Par exemple, un apport de 5.8 % d'huile de lin dans la ration, montre une diminution de plus de 50 % de la production de méthane (MARTIN *et al.*, 2008). Enfin, des outils de quantification de la production de GES à l'échelle des exploitations agricoles sont mis au point, comme par exemple DIATERRE (ADEME, 2013).

La ferme expérimentale INRAE de Saint-Laurent-de-la-Prée souhaite faire évoluer son système d'exploitation à l'horizon 2025. L'objectif est de rendre trois services sous la contrainte d'être une exploitation viable. Il s'agira de : (1) reconquérir la biodiversité terrestre et aquatique, (2) contribuer à l'alimentation humaine végétale et animale de proximité et (3) contribuer à l'atténuation du changement climatique. C'est dans le cadre de ce dernier service que mon stage s'insère.

L'objectif du stage est en effet de quantifier les émissions de méthane entérique du troupeau de la ferme expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée en 2019 et d'évaluer l'impact de l'évolution du système sur ces émissions.

4. TRANSI'MARSH : UN DISPOSITIF EXPERIMENTAL POUR TESTER LA TRANSITION AGROECOLOGIQUE EN MARAIS

En France, la transition agroécologique des exploitations agricoles répond aux enjeux économiques et environnementaux qui pèsent sur l'agriculture. Depuis 2009, l'unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée élabore, expérimente et évalue un système de polyculture-élevage innovant et durable, basé sur les principes de l'agroécologie. Cette expérimentation-système appelée Transi'Marsh, vise à concilier production agricole et préservation de l'environnement, tout en étant plus autonome et économe en approvisionnements extérieurs (fourrage, paille, engrais de synthèse, produits phytosanitaires) (DURANT, 2019). Transi'Marsh a pour ambition d'opérer une transition agro-écologique de manière progressive dite « pas à pas » (COQUIL *et al*, 2018), visant à lever les difficultés qui apparaissent dans l'action. Aucun prototype n'est défini au début de l'expérimentation, un



Image 1 : Logo du projet Transi'marsh (INRAE SLP, 2020),

objectif est fixé et le système évolue progressivement. Depuis 2016, la ferme est autonome en fourrage. Différents sujets sont donc explorés dans l'unité expérimentale comme l'élevage d'une race rustique, la mise en place de bandes enherbées, la production laitière des vaches allaitantes, le bien-être animal en étable et au pâturage, l'utilisation des marais par les oiseaux migrateurs, etc.

Les enjeux de cette transition sont de mieux prendre en compte l'environnement (ajouter des habitats naturels favorables aux insectes auxiliaires des cultures, tester les associations céréales/protéagineux...) et de renforcer l'autonomie de la ferme en réduisant les approvisionnements extérieurs. Transi 'Marsh inclut des diagnostics annuels pour évaluer le système testé. Le suivi des performances technico-économiques, environnementales et sociales de la ferme permet d'ajuster son fonctionnement, d'adapter ses pratiques agricoles ou d'en tester de nouvelles au fil des années. Pour ce faire de multiples critères sont évalués pour savoir sur quoi s'améliorer : critères environnementaux (biodiversité, qualité de l'eau, fertilité des sols), critère économiques (comptes d'exploitation, autonomie en aliments, azote, paille) et critères sociaux (charge et organisation du travail) (DURANT, FARRUGGIA, 2019). L'objectif final est de transférer les innovations et connaissances produites vers les agriculteurs et les professionnels du monde agricole. L'Annexe 2 représente l'évolution du projet Transi 'Marsh depuis 2009. Aujourd'hui, l'unité essaye de tendre vers un système cible.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. LA FERME EXPERIMENTALE ET LE TROUPEAU

1.1 LA FERME ENTRE 2017 ET 2019

Crée en 1964, l'exploitation agricole s'étend sur 160 ha dont 90 % en marais entourés par 24 km de fossés d'eau douce (VINCENT, 2018). Le parcellaire comprend 100 ha de prairies naturelles et 60 ha de terres assolées. La ferme exploite également 8 ha de foin et 4,5 ha de pâtures qui ne sont pas de leur propriété (échange entre confrères). 40 % des parcelles sont équipées d'un système de drainage*, indispensable à l'évacuation de l'eau. Le drainage est soit extérieur, à l'aide de rigoles* soit sous terre, aménagé avec des drains formés de tuyaux en plastique. De 2017 à 2019, l'exploitation était en conversion vers la certification de l'Agriculture biologique obtenue le 1^{er} juillet 2019. L'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** représente le parcellaire de l'exploitation en 2018-2019¹.

De 2017 à 2019, le troupeau est constitué de 123 à 144 animaux de race Maraîchine pour un nombre d'UGB compris entre 79 et 95 UGB (Tableau 1). On note qu'une diminution des effectifs avait été engagée pour la conversion en AB en 2017.

Les maraichines sont introduites au sein de l'unité depuis 1994, à l'époque considérée comme une race de « très petit effectif ». L'unité s'est beaucoup investie dans la réintroduction et la conservation de cette race menacée dans les marais. En effet, les effectifs de bovins maraîchins ont diminué à partir des années 1960 (Association pour la Valorisation de la Race Bovine Maraîchine et des Prairies Humides, 2020), entre autres en raison de la spécialisation des races telle que la Prim'Holstein et la Charolaise. Aujourd'hui le cheptel français compte environ 2000 têtes de cette race.

Catégorie	équivalent UGB	Catégorie	2017	2017	2018	2018	2019	2019
			nombre	UGB	nombre	UGB	nombre	UGB
Tx	0,90	Taureau	3	2,7	3	2,7	3	2,7
Vx	0,15	Veau jusqu'au sevrage (0-8 mois inclus)	25	3,8	25	3,8	24	3,6
G0	0,35	Génisse sevrée < 1 an (9-12 mois inclus)	12	4,2	10	3,5	6	2,1
G1	0,55	Génisse 1-2 ans	19	10,5	22	12,1	20	11,0
G2	0,75	Génisse > 2 ans	27	20,3	19	14,3	22	16,5
G3	0,90	Vache sans le veau	7	6,3	1	0,9	0	0,0
VA	0,90	Vache sans le veau	51	45,9	48	43,2	48	43,2
TOTAL			144	94	128	80	123	79

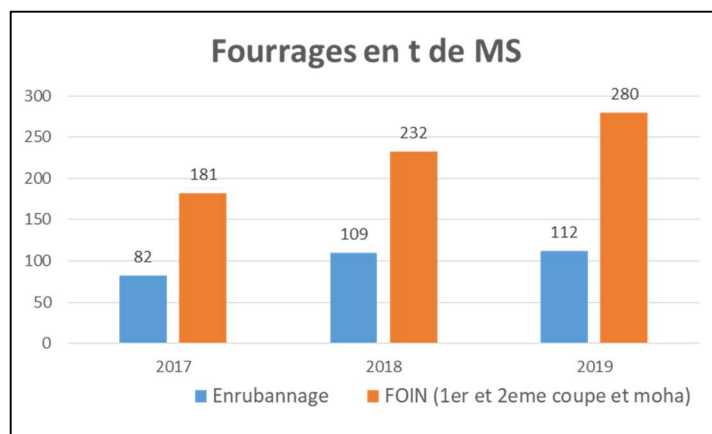
Tableau 1 : Effectif et nombre d'UGB du troupeau entre 2017 et 2019. (UGB race allaitante rustique pure (Salers, Aubrac) = source INOSYS, Référentiel élevage 2018 Bovins lait et bovins viande Auvergne-Aveyron-Lozère).

Les animaux vendus sont des vaches de réforme et des primipares engraisées, des veaux rosés et des broutards. Il y a une diversité de vente et d'acheteurs des animaux : vente directe à la ferme d'animaux adulte et de veaux rosé sous forme de colis, vente de broutards à un négociant, vente en circuit court d'animaux adultes à l'Hyper U de la Rochelle, enfin vente d'adultes à la coopérative UNEBIO.

De 2009 à 2019, la priorité a été donnée au troupeau. La surface labourable été utilisé pour produire des aliments à destination des animaux, en plus du foin récolté sur les prairies naturelles. Ce qui n'est pas consommé par le troupeau est vendu à la coopérative. L'objectif était d'être autonome (DURANT *et al.* 2020).

¹ Les cultures sont semées en 2018 et récoltées en 2019.

Ainsi, la ferme produit entre 2017 et 2019 de l'ordre de 100 t de MS de fourrages enrubannés par an (enrubannage de méteil* et de prairies temporaires) et 180 à 280 t de MS de foin (Graphique 1). Par an, environ 25 à 30 t de grains sont consommés par le troupeau et 50 t de grains sont vendus, principalement des céréales, du maïs et du tournesol. Quant à la paille, l'exploitation agricole en achète 80 t tous les ans.



Graphique 1 : Fourrage produit de 2017 à 2019 (INRAE SLP, 2019)

En 2019, un diagnostic a été fait par le collectif de la ferme composé des agents de terrain et des ingénieurs. Il a été conclu que l'alimentation du troupeau à base d'enrubannage coûtait trop cher et n'était pas suffisamment bien valorisée par le troupeau et par les recettes des ventes d'animaux. De plus, le collectif souhaitait que la ferme s'inscrive davantage dans les enjeux globaux : concurrence entre alimentation humaine et alimentation animale, diminution de la consommation de viande en Europe, crise écologique et réchauffement climatique. C'est pourquoi le collectif a souhaité faire évoluer le système afin que celui-ci contribue à rendre les trois services suivants à la société à l'horizon 2025 : (1) reconquérir la biodiversité terrestre et aquatique, (2) contribuer à l'alimentation humaine végétale et animale de proximité et (3) contribuer à l'atténuation du changement climatique, sous la contrainte d'être une exploitation viable.

Une des stratégies principales élaborée par le collectif pour rendre ces services est d'adapter l'effectif du troupeau à la surface en prairies naturelles pour libérer le plus de surface possible des terres assolées pour l'alimentation humaine. Des simulations ont été réalisées pour déterminer l'effectif des animaux correspondant. Des rotations riches en cultures de légumineuses pour maintenir la fertilité des terres ont été imaginées. Des hectares de cultures de luzerne et de méteil pour le grain ont été maintenues dans ces rotations car d'une part, elles permettaient d'apporter de l'azote au sol par fixation symbiotique et d'autre part, parce qu'elles fournissaient du foin de bonne qualité pour alimenter les animaux à forts besoins physiologiques (les vaches en lactation) et du grain pour engraisser les vaches destinées à la vente.

La diminution du troupeau a été engagée dès 2020 et des essais de cultures destinées à l'alimentation humaine ont été menés (lentilles, lin, sarrasin,...).

1.2 LE TROUPEAU EN 2019

1.2.1 LE FONCTIONNEMENT DU TROUPEAU

En 2019, les vêlages ont été groupés sur deux périodes : printemps et automne avec monte naturelle. Au total, 64 adultes étaient mises à la reproduction avec 34 au printemps au champ et 30 à l'automne en stabulation. Dix génisses ont été élevées dont 3 à 4 destinées au renouvellement par période de vêlage et 6 à 7 élevées jusqu'à ce qu'elles aient fait un veau, puis vendues en primipares engraisées une fois leur veau élevé. Les adultes vendus étaient les vaches de réforme et les primipares engraisées au grain pendant 3 mois avant la vente. Les veaux n'étaient pas complétés, qu'ils soient vendus en broutards ou en colis après abattage. Il y avait 3 taureaux dans le troupeau, mis avec les vaches de juin à octobre pour les vêlages de printemps et de décembre à mars pour les vêlages d'automne. Ces trois taureaux appartiennent à l'« Association pour la Valorisation de la Race Bovine Maraîchine et des Prairies Humides ».

Ainsi sur cette année 2019, il y a eu en moyenne 123 animaux et 79 UGB (Tableau 1). **L'Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet de visualiser le fonctionnement du troupeau entre 2018 et 2019. Il y a bien eu 64 mises à la

reproduction (MAR) en 2018 dont 34 à partir du début juin au champ (24 vaches suitées de 24 veaux + 10 génisses G2) et 30 en stabulation à partir du début décembre (21 vaches suitées de 22 veaux + 9 G2).

Les 34 femelles mises à la reproduction en juin 2018 ont toutes été diagnostiquées gestantes à l'échographie en septembre 2018 (taux de gestation de 100 %). Une vache a coulé, il y a donc eu 33 vêlages aux environs de mars et avril 2019 (taux de vêlages de 97 %). Les 33 veaux nés en 2019 ont bien été sevrés en octobre 2019 (taux de productivité numérique de 97 %). Sur les veaux nés en 2018, 10 femelles (G0) ont été gardées pour le renouvellement et 14 sont parties à la vente en colis ou en broutard*.

Sur 2018-2019, 10 vaches adultes sont parties à la vente : une a été réformée* pour cause d'absence de gestation et 9 ont été choisies pour être vendues après leur vêlage (dont 6 primipares).

Seules 28 femelles d'automne sur les 30 ont été diagnostiquées gestantes à l'échographie en mars 2019 (taux de gestation de 93 %). Quatre vaches ont coulé, il y a donc eu 24 vêlages aux alentours de septembre/octobre 2019 (taux de vêlages de 80 %). Les 24 veaux de 2019 ont été sevrés (taux de productivité numérique* de 80 %). Sur les veaux nés en 2018, 10 femelles (G0) ont été gardées pour le renouvellement et 12 veaux ont été destinés à la vente. Sur l'année 2018-19, 10 adultes sont partis à la réforme ou à la vente : deux vaches non gestantes ont été réformées, quatre ont été réformées pour cause d'absence de gestation et 4 ont été choisies pour être vendues après leur vêlages (primipares).

1.2.2 LES ANIMAUX ET LA GESTION DU TROUPEAU

Les animaux sont séparés en lots selon les périodes de vêlage et de naissance, selon leur destination (reproduction ou engraissement) et selon la taille des cases dans le bâtiment ou la taille de la parcelle au pâturage. Il y a donc beaucoup de lots différents dans le troupeau que ce soit en stabulation ou au pâturage. Durant une année, l'effectif des animaux varie régulièrement entre naissances et ventes.

En 2019, il y avait 9 lots en stabulation séparés en 12 cases : 2 cases de vaches allaitantes d'automne (VAA) avec leur veaux, 2 cases de vaches allaitantes de printemps (VAP), 1 case de génisses d'automne de 2 ans (G2A), 2 cases de génisses de printemps futures primipares (G2P), 1 case de vache d'automne mise à la réforme (REF), 1 case de vaches vides futures réformes (REF), 1 case de génisse d'automne mise en pré-engraissement (G2A), 1 case de génisses de printemps de 2 ans (G2P) et une case de génisse d'automne de 1 ans (G1A) avec des génisses de printemps de 1 ans (G1P).

Au pâturage, les animaliers essaient de conserver les lots constitués pour ne pas perturber les animaux mais les adaptent aussi en fonction de la reproduction et de la vente. En juillet 2019, il y avait 9 lots d'animaux répartis sur 16 parcelles² : 2 lots de vaches allaitantes de printemps (VAP) avec leur veau, 2 lots de vaches allaitantes d'automne (VAA), 1 lot de vaches à l'engraissement pour la réforme (REF), 1 lot de vaches allaitantes avec leur veau pour la réforme (REF), 1 lot de génisses de renouvellement (G1P, G2A, G2P), 1 lot de génisses gestantes (G2A) et 1 lot de génisses mises avec un taureau pour la reproduction (G2P).

1.2.3 L'ALIMENTATION

- Au pâturage :

Les animaux sortent au pâturage dès que la portance* des parcelles le permet, souvent début avril. Ils consomment essentiellement de l'herbe. Cependant, à cause de la sécheresse que connaissent les marais lors de canicule, un affouragement* en foin dans les râteliers est nécessaire pour pallier le manque d'herbe. Celui-ci débute généralement mi-juillet. Durant ce pâturage, les fossés servent de clôture naturelle et de lieu d'abreuvement. La rentrée des animaux en stabulation s'effectue entre octobre et novembre selon les conditions pluviométriques et la portance des parcelles.

La sortie et la rentrée des animaux s'étalent sur le mois d'avril selon les lots en fonction de leur âge et de leur période de vêlage.

² Tout comme un lot peut être sur plusieurs cases en stabulation, un lot peut également être sur plusieurs parcelles à la fois.

- **En stabulation :**

Lorsque le temps se dégrade, les animaux sont rentrés en stabulation. Durant cette période, la ration est essentiellement constituée de fourrages récoltés et stockés pendant l'été pour être distribués. Ces fourrages pouvaient être : de l'enrubannage (ENR), du foin de prairie naturelle (PN), du foin de prairie temporaire (PT) ou bien encore de la luzerne (LUZ).

Le Tableau 2 est la synthèse des rations distribuées aux animaux selon le lot et la période de l'année. Parfois, le fourrage est distribué « à volonté ». Il est ainsi impossible de contrôler la quantité de fourrage ingéré. Il en est de même pour l'herbe consommée au pâturage. Dans ce cas, une estimation a été effectuée en partant du principe qu'un UGB consomme 15 kg de MS par jour.

64 MAR		Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.
PRINTEMPS	PPP							foinPN + 3,5	foinPN + 3,5	foinPN + 3,5			
	RFP	foinPN + 11,1 ENR + 2,5 grain	PAT + 3 grain	PAT + 5 grain	PAT + 5 grain					12 ENR + 3 foinPN + 4 grain	12 ENR + 3 foinPN + 4 grain	foinPN + 11,1 ENR + 2,5 grain	
	VAP	6 foinPN + 6,5 ENR + 1 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT + 8 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	13,5 ENR + 1,5 foinPN + 1 grain	6 hay + 6,5 ENR + 1kg grain	6 hay + 6,5 ENR + 1kg grain	6 foinPN + 6,5 ENR + 1 grain
	G2P	foinPN + 5,6 ENR + 1 kg	PAT	PAT	PAT		PAT + 5 foinPN	PAT	PAT + 3 foinPN	8 ENR + 4,5 foinPN + 0,5 grain	9 ENR + 4,5 foinPN + 0,5 grain	foinPN + 5,6 ENR + 1 kg	foinPN + 5,6 ENR + 1 kg
	G1P	foinPN + 5,6 ENR + 1 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT + 5 foinPN	PAT	PAT + 3 foinPN	8 ENR + 4,5 foinPN + 0,5 grain	9 ENR + 4,5 foinPN + 0,5 grain	foinPN + 5,6 ENR + 1 grain	foinPN + 5,6 ENR + 1 grain
	G0P									8 foinLUZ + 0,5 grain	9 foinLUZ + 0,5 grain	foinPN + 5,6 ENR + 1 grain	foinPN + 5,6 ENR + 1 grain
	VFP	0	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT				
	VMP	0	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT				
TRX	4 foinPN + 5,5 foinLUZ + 4 grain	PAT + 4 grain	PAT + 4 grain	PAT		PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	8 ENR + 1,5 foinPN + 4 grain	8 ENR + 1,5 foinPN + 4 grain	4 foinPN + 5,5 foinLUZ + 4 grain	4 foinPN + 5,5 foinLUZ + 4 grain
AUTOMNE	TRX	foinPN + 4,5 ENR + 4 kg	PAT + 4 grain	PAT + 4 grain	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	6 foinPN + 3,5 foinLUZ + 4 grain	6 foinPN + 3,5 foinLUZ + 4 grain	foinPN + 4,5 ENR + 4 grain	foinPN + 4,5 ENR + 4 grain
	VMA	foinPN	foinPN						foinPN	foinPN	foinPN	foinPN	foinPN
	VFA	foinPN	foinPN						foinPN	foinPN	foinPN	foinPN	foinPN
	GOA			PAT	PAT		1 foinLUZ + 2,25 foinPN + 2 grain	3,75 foinLUZ + 1,5 grain					
	G1A	foinPN + 5,5 ENR + 1 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT + 5 foinPN	PAT	PAT + 3 foinPN	7,75 foinLUZ + 0,5 grain	7,75 foinLUZ + 0,5 grain	foinPN + 5,5 ENR + 1 grain	foinPN + 5,5 ENR + 1 grain
	G2A	foinPN + 5,5 ENR + 1 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT + 5 foinPN	PAT	PAT + 3 foinPN	8 ENR + 1,25 foinPN + 2 grain	8 ENR + 1,25 foinPN + 2 grain	foinPN + 5,5 ENR + 1 grain	foinPN + 5,5 ENR + 1 grain
	VAA	5 foinPN + 6,5 foinLUZ + 2 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	7 foinPN + 5 LUZ PN + 1,5 grain	7 foinPN + 5 foinLUZ + 1,5 grain	5 foinPN + 6,5 foinLUZ + 2 grain	5 foinPN + 6,5 foinLUZ + 2 grain
	RFA			PAT + 5 grain	PAT + 5 grain	PAT	PAT + 6 ENR + foinPN + 2,5 grain	5 ENR + foinPN + 4,5 grain	5 ENR + foinPN + 4,5 grain	9 ENR + 2 foinPN + 4 grain			
PPA	5 ENR + foinPN + 1 grain	PAT	PAT	PAT									

Tableau 2 : Ration distribuée en 2019 (production personnelle)

Selon les objectifs de production, les animaux ont un complément de concentrés. À la suite de la récolte des cultures, les animaliers ont pu distribuer deux méteils en 2019. Le méteil permet d'une part, de contribuer à la croissance des animaux à l'engraissement et d'autre part d'assurer les lactations des mères. Le mélange distribué aux mères (triticale, pois, vesce, avoine) est ainsi plus riche que celui distribué aux vaches à l'engraissement (épeautre, féverole).

Les rations journalières pour l'ensemble des catégories d'animaux ont été reconstituées à l'aide des fiches mensuelles d'alimentation. En effet, une des missions quotidiennes des animaliers est de mettre à jour une fiche mensuelle, récapitulant pour chaque lot, l'alimentation qui a été distribuée. Cette feuille d'alimentation porte sur le type de fourrage et la quantité distribuée, ainsi que les concentrés. Un exemple de ce document complété se trouve en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Pour ce faire, toutes les données obtenues sur les feuilles ont été rentrées dans un fichier Excel. Afin de connaître la quantité de MS ingérée par animal chaque jour (kg de MS/j/an), il faut d'une part prendre en compte le poids de la botte du fourrage, selon la période³, et d'autre part connaître le pourcentage de matière sèche du fourrage ainsi que la

³ Le foin distribué de janvier à juin est issu de la récolte de 2018, celui distribuée de juillet jusqu'en décembre de 2019.

PPPE : Primipare de printemps engraisée, RFPE : Réforme de printemps engraisée, VAP : Vache de printemps, G2P : Génisses 24-36 mois de printemps, G1P : Génisse 12-24 mois de printemps, G0P : Génisse 9-12 mois de printemps, VFP : Veau femelle de printemps, VMP : Veau mâle de printemps, TRX : Taureau

Pour les animaux d'automne, les mêmes termes sont utilisés en remplaçant le P par A, Automne.

proportion de refus*. S'en suit ainsi une série de calcul pour appréhender la quantité de MS ingérée par jour et par animal. La proportion de concentrés non ingérée par les animaux est également prise en compte.

1.3 L'ÉVOLUTION DU TROUPEAU DE 2019 A 2025

Comme évoqué précédemment, le projet Transi 'Marsh tend vers un « système cible » d'ici 2025 : Transi 'Marsh 3 (Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ainsi, ce système serait une transition pour la biodiversité, l'alimentation humaine et l'atténuation du changement climatique. Il est prévu de baisser progressivement les effectifs du troupeau pour, d'une part, s'adapter aux surfaces de prairies naturelles et d'autre part, fournir des rendements rémunérateurs pour l'exploitation. La culture en marais est en effet complexe du fait des sols très argileux et de la mauvaise circulation de l'eau dans le sol, même avec du drainage.

La stratégie engagée par le collectif est basée sur une diminution du troupeau sans en modifier les productions, à savoir continuer la production de veaux rosés* et des primipares* engraisées. Il est ainsi prévu de passer de 64 mises à la reproduction (MAR) à 52 en 2021 puis 44 en 2024, toujours en conservant un équilibre vêlage de printemps/vêlage d'automne. Le système à 52 MAR garderait 8 génisses avec 2 à 3 génisses de renouvellement et 5 à 6 primipares engraisées par période. Quant au système à 44 MAR, il garderait 6 génisses avec 2 à 3 génisses de renouvellement et 3 à 4 primipares engraisées par période.

La ration va également évoluer, notamment avec l'arrêt de l'enrubannage. En revanche, les animaux en stabulation recevront du foin et un peu de grain pour habituer les animaux aux cornadis, comme les années précédentes. Les vaches d'automne en lactation recevront en supplément du foin de légumineuse et plus de grain pour assurer la lactation. Enfin, les femelles destinées à la vente recevront du grain pendant toute la durée d'engraissement, soit 3-4 mois.

2 METHODES UTILISEES

2.1 LE CALCUL DES EMISSIONS DE CH₄

L'équation utilisée est celle de Sauvart et al. (2011) telle que reprise dans la méthode de calcul d'inventaire du CH₄ entérique proposée par Eugène et al. (2019). Elle permet de calculer les émissions de CH₄ entérique émise par un animal par jour en fonction de son poids vif* (PV), de la quantité de matière sèche qu'il ingère (MSI), du pourcentage de concentré qu'il ingère (PCO) et de la matière organique digestible (MOD) de la ration.

L'équation est la suivante :

$$\text{CH}_4 (\text{g/kg MOD}) = 45,42 - 6,66 \text{ MSI \%PV} + 0,75 (\text{MSI \%PV})^2 + 19,65 \text{ PCO} - 35,0 \text{ PCO}^2 - 2,69 \text{ MSI \%PV} * \text{PCO}$$

Le résultat de cette équation est donné en g de CH₄ par kg de MOD par animal et par jour, qu'il faut ramener en g de CH₄ par animal, par jour.

La production de CH₄ est impactée par les phénomènes d'interactions digestives (SAUVANT, 2009). Ces interactions digestives sont connues comme étant des facteurs altérant les mesures de la digestibilité des rations faites sur des ruminants. L'équation ci-dessus ne prend pas en compte ces interactions dans le rumen. Pour ce faire, il est nécessaire de les intégrer, ce qui va diminuer la MOD (ou dMO), comme proposé par SAUVANT et NOZIERE (2013). Le détail des calculs se trouve en annexe7.

Ainsi, les émissions de CH₄ entérique émise par animal et par jour prendront en compte une MOD corrigée, **CH₄ (g/kg MODc)**.

Facteurs de variation	kg MS/animal	kg / animal	kg MS/ind	%	kg	%	g/kg MOD					kg/ind/j g/kg MS g/ind/j % de kg/ind/an						
	MSI	concentre	totaux	MOD	PV	PCO	Ni = MSI%PV	CH ₄	MOD ration	Ni _{ref}	ΔdMONi	ΔdMOCO	MOD ration corr	MOD	CH ₄	CH ₄ an_j	reduc.	CH ₄
kg MS	13,5	0,0	13,5	75,0	650	0,00	2,08	35	750	1,7	-1,08	0,00	739	10,0	26,1	348		127
	10,0	0,0	10,0	75,0	650	0,00	1,54	37	750	1,7	0,40	0,00	754	7,5	27,7	279	20%	102
PV	13,5	0,0	13,5	75,0	650	0,00	2,08	35	750	1,7	-1,08	0,00	739	10,0	26,1	348		127
	13,5	0,0	13,5	75,0	500	0,00	2,70	33	750	1,7	-2,78	0,00	722	9,7	24,7	321	8%	117
MOD	13,5	0,0	13,5	75,0	650	0,00	2,08	35	750	1,7	-1,08	0,00	739	10,0	26,1	348		127
	13,5	0,0	13,5	45,0	650	0,00	2,08	35	450	1,7	-1,08	0,00	439	5,9	15,7	206	41%	75
MOD*ingestion MS	13,5	0,0	13,5	75,0	650	0,00	2,08	35	750	1,7	-1,08	0,00	739	10,0	26,1	348		127
	10,0	0,0	10,0	45,0	650	0,00	1,54	37	450	1,7	0,40	0,00	454	4,5	16,6	168	52%	61
%PCO	13,5	0,0	13,5	75,0	650	0,00	2,08	35	750	1,7	-1,08	0,00	739	10,0	26,1	348		127
	8,5	5,0	13,5	75,0	650	0,37	2,08	35	750	1,7	-1,08	-3,53	704	9,5	26,5	335	4%	122
	3,5	10,0	13,5	75,0	650	0,74	2,08	26	750	1,7	-1,08	-5,88	680	9,2	19,6	240	28%	88
%PCO * MSI	15,0	0,0	15,0	75,0	650	0,00	2,31	34	750	1,7	-1,71	0,00	733	11,0	25,5	374		137
	9,0	5,0	14,0	75,0	650	0,36	2,15	35	750	1,7	-1,29	-3,35	704	9,9	26,3	346	8%	126
	2,0	10,0	12,0	75,0	650	0,83	1,85	24	750	1,7	-0,44	-6,05	685	8,2	17,8	195	44%	71

VA à 0.90 UGB et 15 kg de MS/UGB

Tableau 3 : Variation des facteurs de production de CH₄ (production personnelle)

Pour prendre en compte l'impact des facteurs d'interaction digestive sur le résultat final, ces-derniers ont été varié et les résultats obtenus sur MSI, MOD, PCO, MSI x MOD, PCO x MSI x MOD ont été observés (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les éléments principaux qui ressortent de cette variation des facteurs impliquées sont expliqués ci-dessous.

Dans un premier temps, la variation de la quantité de MS ingérée montre que plus cette quantité est importante, plus la production de CH₄, par g/kg de MOD, est faible et puisque le PV est constant, MSI %PV augmente. La MSI %PV (ou Ni = Niveau d'ingestion) est plus élevée, donc le transit est accéléré d'où la faible production de méthane entérique. Le ΔdMONi, quant à lui, traduit les variations de transit et montre également que plus la valeur est négative, plus le transit est accéléré, moins la production de CH₄ par kg de MOD est importante. En revanche, en regardant la production à l'échelle de l'animal, si la quantité de MS ingérée baisse, il produira naturellement moins de g de CH₄ par jour.

Concernant la MOD, il est intéressant de constater que les fourrages les plus digestibles (MOD importante) émettent plus par kg de matière sèche ingérée que les fourrages les moins digestibles. En effet, on augmente le CH₄ par jour car il y a plus de matière à dégrader (comme la MSI évoquée plus haut), le transit ne change pas et l'efficacité en termes de g/kg de MOD est identique. En d'autres termes, un pâturage d'été, avec une MOD plus faible qu'un pâturage de printemps, induit une production beaucoup moins importante en g/kg de MOD.

La diminution simultanée des deux facteurs décrit ci-dessous (MOD * MSI), montre que l'animal émet moins de CH₄ par jour mais la quantité de CH₄ par g/kg de MOD est plus importante, le rumen est alors moins efficace (35 vs 37 g/kg MOD). Si la quantité de fourrage ingérée est plus faible du fait de l'encombrement, le CH₄ produit par MOD est plus élevé, cependant, en g par jour, il est plus faible car l'ingestion diminue. La qualité de l'herbe influe moins que le niveau d'ingestion.

L'augmentation du pourcentage de concentré dans la ration (%PCO) entraîne une diminution de la production de méthane mais il faut qu'il soit très élevé pour observer une baisse significative de l'émission de méthane entérique. Selon, DOREAU *et al* (2017), la diminution de méthane est sensible au-delà de 50 % de concentré dans la ration mais c'est à partir de 80 % qu'elle est systématiquement très marquée.

Finalement, il a été observé que c'est le NI, Niveau d'ingestion (MSI %PV) qui impacte le plus la variation de méthane entérique dans notre étude de sensibilité.

2.2 LES SIMULATIONS DU FONCTIONNEMENT DU TROUPEAU

Pour estimer les émissions de CH₄ selon l'évolution de l'effectif du troupeau (64, 52 et 44 MAR), des représentations simplifiées du fonctionnement du troupeau disponibles sur l'unité ont été utilisées, afin de traiter les données du troupeau de la même façon (Annexe 8: exemple de 44 MAR).

Une série d'hypothèses a également été faite pour chaque MAR, récapitulées en Annexe 9.

Pour identifier les productions, 9 catégories d'animaux par période sont utilisées : les primipares (PP), les vaches de réforme (VF), les vaches allaitantes (VA), les génisses de 2 ans (G2), les génisses de 1 an (G1), les veaux mâles (VM) et les veaux femelles (VF) et enfin le taureau (TRX).

Pour chacun de ces cas, la modélisation a induit un calcul des effectifs et des UGB par mois. Le Tableau 4 ,qui représente le cas de 44 MAR, donne les effectifs par mois dans la partie haute du tableau et les UGB correspondants dans la partie basse.

INRAE UEDSLP - SIMULATION AVEC 44 MISES EN REPRO DONT 12 GENISSES - 8 PRIMIPARES / 4 RENOUELEMENT														
PRINTEMPS	PPPE	2	2	2	2		4	4	4					
	RFPE								2		2			
	VAP	19	19	19	19	19	19	15	15	13	13	13		
	G2P	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	G1P	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	G0P									6	6	6	6	
	VFP	10	10	10	10	10	10	8	8					
VMP	9	9	9	9	9	9	7	7						
TRX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Mois	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	
AUTOMNE	TRX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	VMA	8	8					10	10	10	10	10	10	
	VFA	7	7					9	9	9	9	9	9	
	G0A			6	6	6	6							
	G1A	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	G2A	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	VAA	15	15	13	13	13	13	19	19	19	19	19	19	
	RFA			2	2	2	2	2	2	2				
	PPA	4	4	4	4									
	Moy. Année	91,3	Nbre UGB	100	100	91	91	85	85	100	100	91	85	85
	56,5	UGB	59,1	59,1	59,2	59,2	53,2	53,2	59,1	59,1	59,2	53,2	53,2	51,2
PRINTEMPS	1,00 PPPE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	
	1,00 RFPE	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	0,0	
	0,90 VAP	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	13,5	13,5	11,7	11,7	11,7	11,7	
	0,75 G2P	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
	0,55 G1P	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	
	0,35 G0P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,1	2,1	2,1	
	0,15 VFP	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,15 VMP	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,90 TRX	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	UGB	Mois	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.
AUTOMNE	0,90 TRX	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	0,15 VMA	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
	0,15 VFA	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	
	0,35 G0A	0,0	0,0	2,1	2,1	2,1	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0,55 G1A	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	
	0,75 G2A	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
	0,90 VAA	13,5	13,5	11,7	11,7	11,7	11,7	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	
	1,00 RFA	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	
	1,00 PPA	4,0	4,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tableau 4 : Simulation de 44 MAR sur l'effectif et les UGB du troupeau (CHATAIGNER, 2019)

Les hypothèses retenues pour la construction de ce tableau sont que (1) l'engraissement des vaches se fait en 3 mois en stabulation et en 4 mois à l'herbe et (2) que les veaux des primipares étant vendus à 6 mois en colis, elles sont engraisées ensuite en 3 mois en stabulation au printemps ou en 4 mois à l'herbe en automne.

Dans ce tableau, les animaux passent d'une catégorie à une autre selon les mois. Par exemple (en jaune dans le tableau), en août il y a 19 vêlages de printemps (VAP). Les veaux des primipares de printemps (PPP) sont vendus en septembre et elles sortent de la catégorie VAP pour devenir des PPP. L'effectif des VAP passe à 15 tandis que celui des PPP à 4. En novembre, après l'échographie et le repérage de vaches non gestantes, 3 vaches de printemps de réforme (RFPE) du lot des VAP partent à la réforme pour être engraisées pendant 3 mois en stabulation. Le lot des VAP passe ainsi de 15 à 13.

Outre le système de reproduction, l'estimation des rations pour les années à venir est également nécessaire aux calculs du méthane entérique. Pour ce faire, le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** a été élaboré afin de représenter une simulation des rations qui seront normalement distribuées d'ici 2025 pour les années de 44 et 52 MAR.

44/52 MAR	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	
PRINTEMPS	PPP						foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain				
	RFP	foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain				foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain	foinPN + 3,5 grain		
	VAP	foinPN + 0,5 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	
	G2P	foinPN + 0,5 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain
	G1P	foinPN + 0,5 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain
	G0P									1/3PAT + 2/3 foinPN	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain
	VFP	0	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT				
	VMP	0	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT				
	TRX	foinPN + 4 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	foinPN + 4 grain	foinPN + 4 grain	foinPN + 4 grain	foinPN + 4 grain
AUTOMNE	TRX	foinPN + 4 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	PAT	foinPN + 4 grain	foinPN + 4 grain	foinPN + 4 grain	foinPN + 4 grain	
	VMA	foinPN	foinPN					0	foinPN	foinPN	foinPN	foinPN	
	VFA	foinPN	foinPN					0	foinPN	foinPN	foinPN	foinPN	
	GOA			PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 hay						
	G1A	foinPN + 0,5 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain
	G2A	foinPN + 0,5 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain	foinPN + 0,5 grain
	VAA	7 foinLUZ+ 8 foinPN + 1,5 grain	PAT	PAT	PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN	1/3PAT + 2/3 foinPN	7 hay LUZ + 8 foinPN + 1,5 grain	7 foinLUZ + 8 foinPN + 1,5 grain	7 foinLUZ + 8 foinPN + 1,5 grain	7 foinLUZ + 8 foinPN + 1,5 grain	7 foinLUZ + 8 foinPN + 1,5 grain
	RFA			PAT	PAT	1/3PAT + 2/3 foinPN + 3 grain	1/3PAT + 2/3 foinPN + 3 grain	1/3PAT + 2/3 foinPN + 3 grain	1/3PAT + 2/3 foinPN + 3 grain	1/3PAT + 2/3 foinPN + 3 grain			
	PPA	foinPN + 3,5 grain	PAT	PAT	PAT								

Tableau 5 : Simulation des rations distribuées pour 44 et 52 MAR (production personnelle)

2.3 CALCULS DES EMISSIONS DU TROUPEAU

Une fois les effectifs par mois avec les rations distribuées à chaque catégorie d'animaux constitués, le calcul des émissions du troupeau peut être réalisé. L'hypothèse retenue est qu'un UGB ingère 15 kg de matière sèche par jour (MSI). Pour simplifier les calculs, le poids vif de chaque catégorie d'animal est considéré comme identique quel que soit le mois et l'année. L'équation décrite précédemment permet de calculer les émissions par catégorie et par mois selon les 3 cas de MAR. Des tableaux croisés dynamiques ont été élaborés pour calculer les émissions selon les catégories, les MAR, les mois de l'année et la localisation des animaux.

Enfin, les émissions du troupeau sont également données par kg de viande vive vendue en se basant sur les hypothèses du tableau de l'Annexe 9. Les émissions de CH₄ ont par ailleurs été transformées en équivalent CO₂ en se basant sur des références issues du rapport du GIEC – 2007, sur plusieurs années disponibles en Annexe 10 : Durée de vie dans l'atmosphère et potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre (GIEC, 2007) notamment en prenant une disparition à 100 ans.

IV. RÉSULTATS

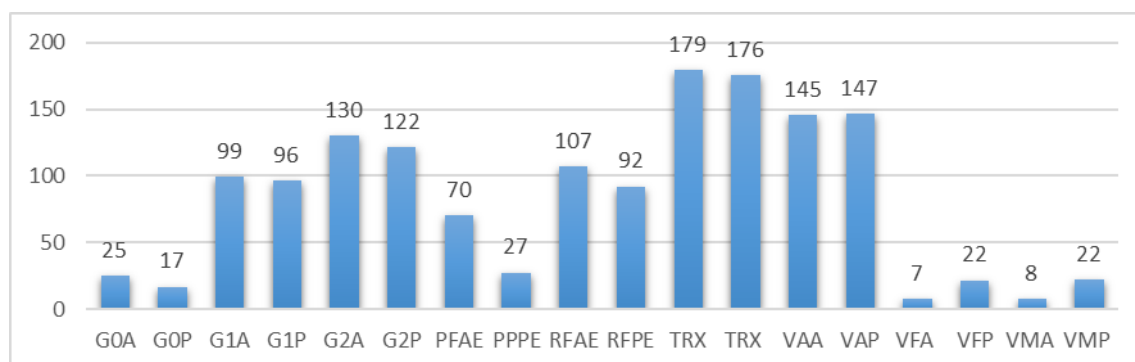
Dans la suite du rapport Sim64 correspond à 64 MAR, Sim52 à 52 MAR et Sim44 à 44 MAR.

Pour rappel, la Sim64 correspond à l'année 2019 tandis que les Sim44 et Sim52 sont des simulations des objectifs à atteindre d'ici 2025. Pour une lecture plus fluide, nous écrivons CH_{4e} pour évoquer le CH₄ entérique.

1 LA PRODUCTION DE CH_{4e} PAR CATEGORIE

L'observation de la production de CH_{4e} présente sur le Graphique 2 est basée sur la simulation de l'année 2019 (soit 64MAR).

La production diffère selon les catégories, plus les animaux sont âgés, plus la quantité de CH_{4e} est importante. (CH_{4_VA} > CH_{4_G2} > CH_{4_G1} > CH₄ > G0). Les taureaux ont tendance à émettre plus de gaz à effet de serre que le reste du troupeau.



Graphique 2 : Production de CH_{4e} par catégorie d'animal en kg par an (production personnelle)

Que ce soient des animaux d'automne ou de printemps, la production de méthane entérique est sensiblement la même. Cependant, une légère différence est observée pour les veaux de printemps qui produisent plus par rapport aux veaux d'automne.

2 LA PRODUCTION DE CH_{4e} PAR ANIMAL DURANT UN MOIS

Simulation VAP	CH _{4e} produit kg / ind / an
Sim44	133,4
Sim52	133,4
Sim64	146,9

Tableau 6 : Production de CH_{4e} par mois pour une VAP selon la simulation (production personnelle)

Pour faciliter la compréhension, nous avons fait le choix de travailler sur une seule catégorie d'animal : les vaches allaitantes de printemps (VAP) (*Erreur ! Source du renvoi introuvable.*).

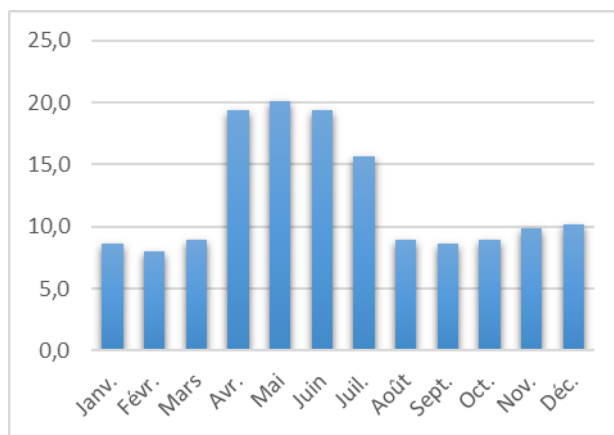
Une VAP de 2019 (Sim64) produit plus de 13 kg de CH_{4e} par an en plus par rapport aux Sim54 et 44.

3 LA PRODUCTION DE CH_{4e} AU COURS DE L'ANNEE

3.1 EMISSIONS D'UN ANIMAL AU COURS DE L'ANNEE

Nous présentons l'année 2019 et la catégorie vache de printemps (VAP). L'allure de la courbe d'émissions mensuelles est similaire pour les SIM 52 et 44.

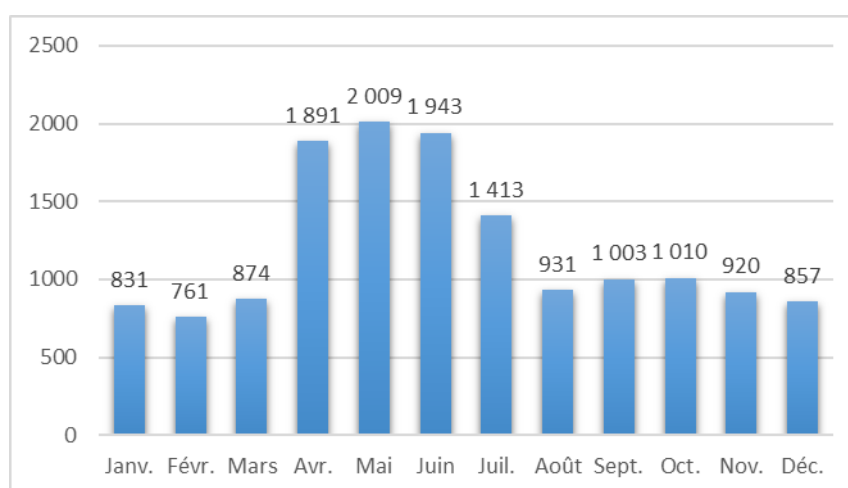
D'avril à juillet, les émissions de CH₄ entérique du troupeau sont plus importantes de plus de 10 kg par mois par rapport à celles des autres mois de l'année.



Graphique 3 : Production de CH_{4e} pour les VAP en 2019 en kg par mois (production personnelle)

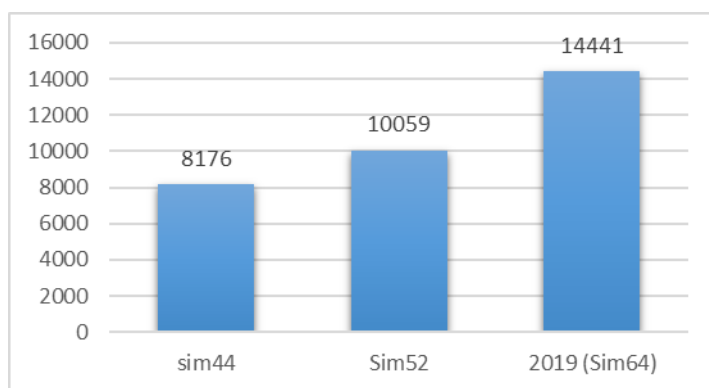
3.2 EMISSIONS DU TROUPEAU AU COURS DE L'ANNEE

On observe sensiblement la même variation de production de CH_{4e} au cours d'une année. Les émissions des mois d'avril, mai et juin sont plus importantes et se situent aux environs de 2 tonnes de CH₄ entérique produites par mois contre environ 1 tonne produite sur le restant de l'année.



Graphique 4 : Production du troupeau en kg de CH_{4e} par mois (production personnelle)

4 LA PRODUCTION TOTALE DE CH_{4e} SELON LA TAILLE DU TROUPEAU



Graphique 5 : Production totale du troupeau en kg/mois (production personnelle)

L'ensemble du troupeau produisait environ plus de 14,4 tonnes de méthane entérique par an en 2019 (Sim64). La production de CH₄ entérique diminue de 4 tonnes par an pour 52 femelles mises à la reproduction (Sim 52). D'ici 2025 quand seulement 44 femelles seront mises à la reproduction, la production de CH₄ entérique aura encore baissé et atteindra environ 8,2 t par rapport à Sim64.

La quantité de viande vive vendue selon les simulations varie de 22.1t en 2019 à 17.6 t pour Sim52 et 14t pour Sim 44 (Tableau 7 : Nombre d'animaux vendus et tonnes de viandes vives vendues par simulation (FARRUGGIA, 2020)).

	PV (kg)	Ventes			Quantités vendues (t)		
		64	52	44	64	52	44
Veaux	250	38	30	26	9500	7500	6500
Vaches réforme	690	7	6	4	4830	4140	2760
Primipares engraisées	600	13	10	8	7800	6000	4800
		58	46	38	22130	17640	14060

Tableau 7 : Nombre d'animaux vendus et tonnes de viandes vives vendues par simulation (FARRUGGIA, 2020)

En 2019, le troupeau émettait 16.3 kg équivalent CO₂ par kg de viande vive. Avec les simulations 55 et 44, les émissions sont équivalentes et égales à respectivement 14.3 et 14.5 kg équivalent CO₂.

	kg CH _{4e}	kg CH _{4e} par kg de viande vive	équivalent kg CO ₂ par kg de viande vive à 20 ans	équivalent kg CO ₂ par kg de viande vive à 100 ans
Sim44	8176	0,58	41,9	14,5
Sim52	10059	0,57	41,1	14,3
Sim64	14441	0,65	47,0	16,3

Tableau 8 : Production de CH₄/kg de viande vive et son équivalent CO₂ sur 20 et 100 ans (production personnelle)

V. DISCUSSIONS

Notre travail, basé sur l'utilisation d'une équation issue des travaux scientifiques et de la modélisation de fonctionnement du troupeau, a bien permis de quantifier les émissions de méthane entérique du troupeau de la ferme expérimentale de Saint Laurent de-la-Prée et d'évaluer l'impact de l'évolution sur ces émissions. Nos résultats méritent d'être discutés et commentés comme suit.

1 LA PRODUCTION DE METHANE ENTERIQUE DE LA FERME INRAE A SAINT LAURENT DE-LA-PREE

Dans la littérature, une vache allaitante à destination du marché de la viande (environ 630 kg) produit 81.36 kg de CH_{4e} par animal (Eugene et al., 2019). Ceci est nettement inférieur à la production des vaches de la ferme de Saint Laurent de-la-Prée qui se situent entre 133 et 147 kg de CH_{4e}. Il nous est difficile de comprendre les raisons de cet écart car nous ne disposons pas de la nature des rations, ni de la quantité ingérée par cette vache « moyenne ». Nous pouvons formuler l'hypothèse que ces vaches ingèrent plus de concentrés qui diminue l'émission de CH₄ ou bien qu'elles ingèrent des fourrages avec une faible MOD qui diminuent l'émission comme nous l'avons montré avec notre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Nous avons montré que les animaux âgés produisent plus de méthane que ceux qui sont plus jeunes (CH_{4_VA} > CH_{4_G2} > CH_{4_G1} > CH₄ > G0) ce qui s'explique par leurs besoins et leur niveau d'ingestion plus important.

Nous avons également observé des différences sensibles entre des animaux issus de vêlage de printemps et des animaux issus de vêlage d'automne. D'après nos résultats, la période de production (automne ou printemps) n'influence que très peu la production de méthane entérique dans le troupeau de maraîchines, à l'exception des veaux. Les animaux ont sensiblement les mêmes rations si ce n'est que les animaux d'automne auront un fourrage de meilleure qualité en stabulation puisqu'ils sont en production par rapport aux animaux de printemps. Ces animaux disposent d'un foin de luzerne qui présente une MOD plus importante (60.5 % contre 43.3 % pour un foin de prairie naturelle) donc il y aura plus de fermentation dans le rumen et ainsi une production de CH_{4e} par g/kg de MOD plus importante. Les vaches allaitantes font cependant exception à cette observation. La différence étant d'à peine 2 g, (VAA : 145.4 g/an/mois, VAP : 146.9 g/an/mois - Graphique 2), nous faisons le choix de négliger cette variation qui n'est pas significative.

Concernant les veaux, la différence entre ceux de printemps et ceux d'automne est plus importante. Les veaux élevés essentiellement en pâture produisent plus que les veaux nés et élevés en stabulation. Il faut avoir en tête qu'un veau ne reste veau que durant les 6 premiers mois de sa vie, c'est un brouillard ensuite. Les VFA-VMA ne se nourrissent que de lait puis de foin, tandis que les VFP-VMP que de lait et d'herbe. L'herbe possède une MOD plus importante (environ 70 % de MOD pour une herbe verte de printemps), elle est donc plus digestible. L'ingestion d'herbe par un ruminant induit alors une production de CH_{4e} supérieure, même par rapport à un animal qui consomme du foin de luzerne, ce qui explique les émissions plus importantes pour les veaux de printemps.

Sur le Graphique 2, les vaches de réforme (RFAE, RFPE) présente des émissions entériques inférieures aux vaches allaitantes en raison de leur période d'engraissement qui ne dure que 3 à 4 mois (autrement ce sont des VAA/VAP).

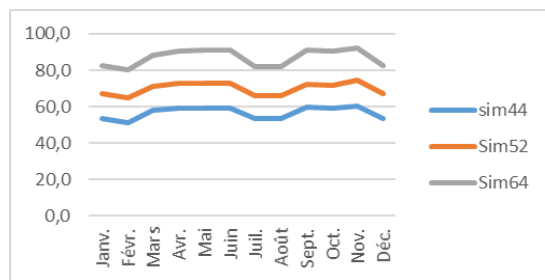
Quant à la production plus élevée d'un animal (ici une VAP) en 2019 (Sim64) par rapport au même animal avec la Sim52 ou 44, elle peut s'expliquer en partie par un changement de fourrages dans les rations. En effet, il est prévu pour les années à venir d'arrêter totalement l'apport d'enrubannage au troupeau. L'enrubannage a une MOD proche de l'herbe verte. L'arrêt de ce fourrage induit un apport exclusif en foin qui, du fait qu'il est moins digestible, produira moins de CH_{4e}.

Nous avons aussi remarqué qu'un animal produit plus de méthane entérique d'avril à juillet. Cette période est liée à la période de l'année où le troupeau se trouve en pâture. Nous tirons alors les mêmes conclusions que précédemment concernant les différences de MOD herbe-foin. La légère baisse observée en juillet peut s'expliquer par un affouragement au pré nécessaire pour pallier la sécheresse des marais. En août, même si les animaux sont encore au pâturage, l'apport de foin est tellement important qu'ils sont presque déjà en ration d'hiver. Cependant, il est nécessaire d'analyser avec précautions ce graphique (**Erreur ! Source du renvoi**

introuvable.) Bien que la quantité de CH_{4e} produit varie selon le type de fourrage ingéré par l'animal, la variation du nombre d'UGB (Graphique 6) participe également à cette modification.

On remarque en effet, une diminution en juillet et en août, puis à partir du mois de novembre du nombre d'UGB. Cela correspond sensiblement aux ventes d'animaux à destination du marché de la viande (broutard + vaches de réformes).

D'une manière générale, le troupeau de la ferme de Saint Laurent de-la-Prée aura produit nettement plus de méthane entérique en 2019. Plus le nombre de mise à la reproduction diminue (donc plus le nombre de têtes dans le troupeau diminue), plus la production totale est inférieure. La



Graphique 6 : Somme des UGB au cours de l'année (production personnelle)

réduction de 20 MAR et la modification des rations induira environ 43 % de GES en moins sur la ferme d'ici 2025. Cette baisse d'émissions sur la ferme a un impact direct sur l'impact carbone quant à la vente de viande vive de la ferme. Lorsque le consommateur achetait sa viande en 2019, un kg de viande vive produisait environ 650g de CH_{4e}. Dans quelques années, la quantité de CH_{4e} produit sera diminuée d'environ 70 à 80 g par kg de viande vive pour ce qui concerne le méthane entérique. Cependant, cette valeur des émissions de CH₄ reste plus importante que la moyenne française. Les travaux conduits en France sur l'évaluation de la production de viande issus des troupeaux allaitants font état d'une empreinte carbone comprise entre 9.5 et 17.8 kg CO₂/kg de viande vive (DOREAU *et al*, 2011). Les raisons de cette différence résident dans le système extensif* dans lequel se trouve l'exploitation qui utilise essentiellement les pâturages et le foin comme ration pour les animaux. De ce fait, la part en concentré est très faible pour réduire les émissions de GES. Enfin, on remarque que sur le court terme, l'impact du méthane est beaucoup plus important que celui du CO₂. Ainsi, en réduisant les émissions de CH₄, les effets sont visibles plus rapidement.

2 LES LIMITES DU CALCUL DES EMISSIONS DANS LE CADRE DE L'ETUDE

Le calcul des GES est un sujet intéressant et d'actualité. Estimer les émissions de son troupeau est un premier pas vers la transition d'une agriculture meilleure pour la planète. Cependant, c'est un calcul complexe relevant de connaissances et de techniques expérimentales pointues. Pour anticiper la production de méthane entérique des années à venir, nous avons utilisé des simulations qui ne sont pas la copie exacte de ce qu'il pourra être observé dans la ferme. Nous ne pouvons pas prévoir en effet de manière précise les phénomènes, qui plus est au sein d'une exploitation agricole (naissance, décès, vente).

De plus, pour faciliter le travail, nous avons dû simplifier certaines données tels que le poids des animaux par catégorie et la quantité de MS ingérée. En effet, comme évoqué précédemment dans la partie 1.2.3 ALIMENTATION, le fourrage distribué « à volonté » et l'herbe consommée au pâturage, sont impossibles à quantifier. Nous avons alors effectué des estimations en partant du principe qu'un UGB consomme 15 kg de MS par jour. La proportion de MOD dans les fourrages et le poids des bottes sont issus de moyenne relevant d'analyses de fourrages. Ces études réalisées par le pôle élevage de l'unité expérimentale, ne sont pas suffisamment précises pour connaître la composition exacte des rations, qui peut ainsi modifier les résultats d'émissions de GES. L'étude qui fait l'objet de ce rapport s'est basée uniquement sur la production de méthane entérique du troupeau. Ce gaz représente 52 % des émissions totales de GES dans les systèmes de bovins viandes et 73 % de la production totale de CH₄. (DOREAU *et al*, 2011). Nous avons fait le choix de ne pas prendre en compte les émissions des autres GES (CO₂ – 12 %, N₂O – 17 %) et celles dues aux bâtiments de stockage (21 %) et au pâturage. En d'autres termes, nous n'avons pas calculé globalement l'ensemble des GES produit sur la ferme ni pris en compte le fait que l'exploitation agricole dispose de 100 ha de prairies naturelles qui stockent le carbone. Cela est dû à un manque de temps et de moyens mise à disposition dans le cadre de cette mission. L'analyse de nos calculs mériterait d'être approfondie. Nous avons passé beaucoup de temps à mettre au point la méthode de calcul ce qui a induit un manque de temps pour aller plus loin. Les résultats donnés en CH₄ à partir des émissions de méthane entérique, limitent les comparaisons possibles avec ceux des expérimentations voisines à ce sujet. Dans la littérature, il est plus souvent question d'impact carbone en kg de CO₂ par kg de viande vive.

3 PERSPECTIVE D'AMÉLIORATION DES RATIONS DANS LE BUT DE RÉDUIRE LES GES

Bien qu'il y ait une légère différence, notre étude a montré qu'entre les différents types de fourrages à base d'herbe (herbe fraîche, ensilage, foin), les émissions de méthane par kg de matière sèche ingérée varient assez peu. L'ensilage de maïs entraîne généralement des émissions légèrement plus faibles que les fourrages à base d'herbe (DOREAU *et al*, 2011), mais un tel changement dans la ration serait contraire à l'état d'esprit extensif dans laquelle la ferme s'inscrit. Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, il ne semble pas que la nature du fourrage de la ration soit un déterminant majeur de l'émission de méthane.

En revanche, une des pistes d'améliorations des rations pourrait être l'introduction de plantes riches en tanins*. Ces polyphénols réduisent le méthane, par l'intermédiaire d'une action toxique sur les méthanogènes. Cette action a été montrée avec des fourrages tropicaux riches en tanins (RIRA *et al*, 2015), mais aussi avec des plantes comme le sainfoin (AUFRERE *et al*, 2012). Les plantes riches en tanins ont souvent une digestibilité faible ce qui pose des problèmes dans des élevages de bovins allaitants. L'utilisation de plantes riches en tanins broyées et agglomérées est une solution pour pallier ces difficultés de digestibilité (DOREAU *et al*, 2017).

Comme évoqué dans le 2.1 LE CALCUL DES EMISSIONS DE CH₄, l'augmentation du pourcentage de concentré dans la ration entraîne une diminution de la production de méthane. Cependant, pour que la diminution soit significative, il faut une part très importante de concentré : à 50 % on observe les premiers résultats, mais ce n'est qu'à partir de 80 % de concentré qu'on observe une réelle différence (DOREAU *et al*, 2017). Ce type de ration, utilisée en France de manière très limitée pour l'engraissement des bovins présente, d'une part, des inconvénients d'un point de vue de la santé de l'animal (acidose digestive) et d'autre part, ce ne serait pas en adéquation avec le système économe mis en œuvre sur la ferme (tout comme l'ensilage de maïs). De plus, même si la quantité de méthane entérique diminue, ce type de ration entraîne des émissions accrues des autres gaz à effet de serre (protoxyde d'azote, gaz carbonique) (DOREAU *et al*, 2017). Pour ces raisons, il n'est pas possible de proposer des rations extrêmement riches en concentré (plus de 80 %) comme un moyen pour réduire les émissions de méthane.

La solution nutritionnelle actuellement reconnue par la communauté scientifique comme la plus efficace pour réduire les émissions de méthane est l'ajout de lipides dans la ration des ruminants (DOREAU M *et al*, 2011). La raison est que les lipides ne fournissent pas de substrat pour la production de méthane dans le rumen (DOREAU *et al*, 2011). Cette action est la plus prononcée avec les acides gras saturés à chaîne moyenne (12 et 14 carbones) comme l'huile de coprah ou l'huile de palmiste, et avec un acide gras polyinsaturé, l'acide linoléique (18 carbones et 3 doubles liaisons) présent dans la graine de lin (DOREAU *et al*, 2017). Le lin a un effet marqué pour réduire le méthane dans de nombreux essais, par une action spécifique dans le rumen. Il serait en effet l'acteur d'une réduction de d'une diminution de 5.6 % par points de lipides supplémentaires (DOREAU *et al*, 2011). Cet effet est intéressant puisqu'il se maintient sur le long terme (MARTIN *et al*, 2011). L'intérêt du lin est double, puisqu'en même temps il augmente légèrement les acides gras oméga-3 du lait et de la viande, et diminue les acides gras saturés. La très grande majorité des essais utilisant le lin ont été réalisés sur vaches laitières, l'axe d'étude des bovins viande est alors à préciser. L'utilisation de graines de lin présente toutefois un coût pour l'éleveur. D'autres sources lipidiques contribuent aussi à baisser la production de méthane. Des études sur les bovins viandes ont montré que l'huile de tournesol (McGINN *et al*, 2004), l'huile de colza (BEAUCHEMIN K.A, McGINN, 2006), ou bien encore les drèches de distillerie, peuvent être inclus dans la ration en quantité élevée (McGINN *et al*, 2009) pour réduire les émissions de méthane entérique.

Aujourd'hui, la ferme expérimentale d'INRAE, réduit déjà considérablement le CH_{4e} avec la diminution de ses effectifs. L'amélioration de la ration réduirait à la marge. Les alternatives évoquées dans cette partie (lin, tannins...) sont intéressantes mais l'impact final reste faible sur les émissions comparativement à la diminution des effectifs. Enfin, la ferme voulant être autonome, l'achat de graines de lin où d'autres éléments non produits sur la ferme ne serait pas en accord avec leurs objectifs.

VI. CONCLUSION

L'élevage bovin contribue fortement aux émissions de GES de l'agriculture. Évaluer précisément ses émissions, puis chercher des moyens pour y remédier est nécessaire pour réduire son impact sur le changement climatique. C'est une question que s'est posée la ferme expérimentale d'INRAE à Saint Laurent de-la-Prée dans le cadre de leur projet d'unité : Transi'marsh qui contribue à la transition agroécologique dans les marais. Après avoir réduit les effectifs d'animaux et modifié leur système cultural, ils se sont penchés sur les émissions de méthane de leur troupeau de vache de race maraichine.

De nombreuses équations globales de prévision de la production de CH₄ ont été publiées dans la littérature. Nous avons fait le choix d'en utiliser une qui se focalise sur le critère CH₄/MOD tout en prenant compte le niveau d'ingestion (MSI %PV) et les teneurs des régimes en concentrés (%PCO). Utiliser la MOD induit la prise en compte des interactions digestives dans le rumen qui sont connus pour altérer les mesures de la digestibilité des rations faites sur des ruminants.

En parallèle, un nombre important de leviers modulant les émissions ont été identifiés, qui se sont avérés confirmés par les publications scientifiques à ce sujet. Certains leviers nécessitent des travaux de recherche complémentaires afin d'en préciser leur efficacité, leur faisabilité et leur coût.

A l'heure d'aujourd'hui, il n'y a pas de solution dont l'efficacité est forte et certaine. Il est donc nécessaire de continuer à explorer plusieurs pistes en réalisant des recherches supplémentaires, incluant des essais à long terme et sans effet collatéral négatif sur les performances de l'animal et l'environnement. Des moyens sont mis en place sur cette thématique depuis plus d'une décennie notamment au sein du centre INRAE Auvergne – Rhône-Alpes. Les principaux facteurs qui y sont étudiés sont la nature du fourrage, les rations très riches en concentré (et leur nature), la ration enrichie en lipides (et leur nature), les plantes riches en tanins, les additifs alimentaires naturels et chimiques et l'apport de microorganismes exogènes.

La diminution des émissions de méthane représente un grand enjeu pour les productions extensives, comme l'élevage de maraichines à Saint Laurent de-la-Prée. Les solutions retenues pour réduire les émissions de méthane entérique (ajout de lipides, augmentation de concentrés) sont applicables à la production de viande mais restent limitées car elles nécessitent la distribution de concentré, ce qui limite l'application aux vaches allaitantes pour lesquelles l'alimentation se compose en moyenne de 85 % de fourrages (Institut de l'Élevage, 2014). Les recherches sur la nature des fourrages sont alors grandement à développer. Dans un proche avenir, des additifs alimentaires efficaces seront probablement disponibles. Il ne reste plus qu'à étudier la compatibilité avec un système extensif pour ne pas modifier les convictions et les objectifs de productions.

Il faut rappeler toutefois que l'élevage de ruminants possède la particularité de pouvoir compenser en partie les émissions de GES grâce au stockage de carbone notamment grâce aux prairies. Enfin, l'analyse de l'impact environnemental de l'activité d'élevage ne doit pas se limiter au seul impact GES.

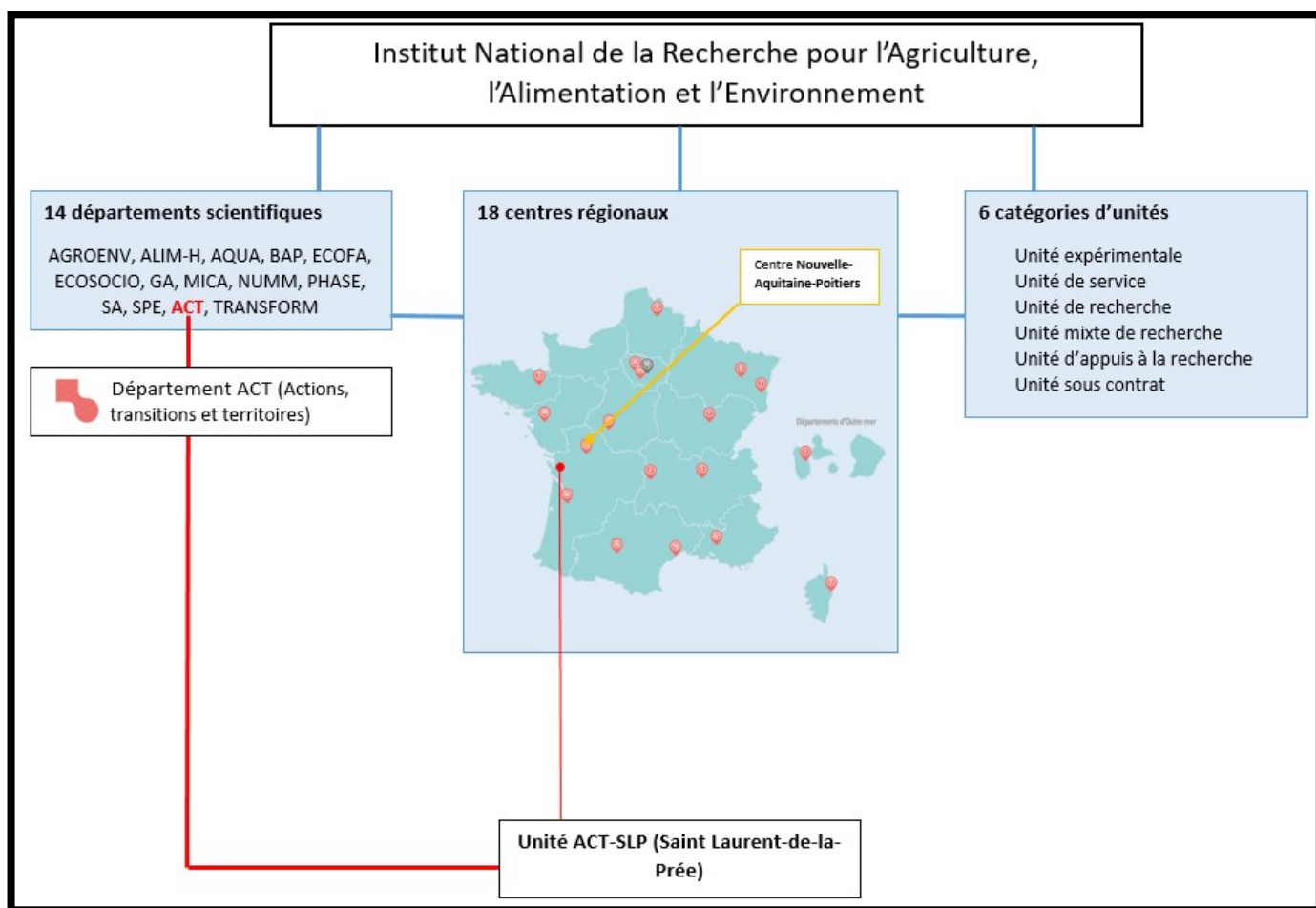
LISTES DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME. Dia'terre L'outil de diagnostic énergie-gaz à effet de serre pour l'exploitation agricole. [en ligne]. 01/2013 [consulté le 02/11/2020]. Disponible sur : www.ademe.fr/diaterre
- Association pour la Valorisation de la Race Bovine Maraîchine et des Prairies Humides. *Vache Maraîchine*. [en ligne]. 2020 [consulté le 05/12/2020]. Rubrique Historique de la race. Disponible sur : <https://www.vache-maraichine.org/historique-et-standard/historique-de-la-race/>
- AUFRERE J, THEODORIDOU K, BAUMONT R. Valeur alimentaire pour les ruminants de légumineuses contenant des tanins condensés en milieux tempérés. *Inra Productions Animales*.2012. [consulté le 10/01/2020]. 25, 29-44.
- BEAUCHEMIN K.A, MCGINN S.M. Methane emissions from beef cattle: Effects of fumaric acid, essential oil, and canola oil. *Journal of Animal Science*. 2006. [consulté le 12/01/2021]. 84, 1489–1496.
- COQUIL X *et al.* Richesse créée, rémunération et transformations du travail en système laitiers économes et autonomes en agriculture biologique. In : *Fourrages*. 2018, n°235, p175-180. [consulté le : 10/12/2020].
- DOLLÉ J.B, AGABRIEL J, PEYRAUD J.L, *et al.* Les gaz à effet de serre en élevage bovin : évaluation et leviers d'action. *La revue INRAE Productions Animales*. [en ligne]. 08/12/2011, volume 24, n°5. [consulté le 11/2020]. Disponible sur : <https://productions-animales.org/article/view/3275>
- DOREAU M., MARTIN C., EUGENE M., *et al.* Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. In : Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane. [en ligne] 2011. [consulté le 11/2020]. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, *INRA Productions Animales*, 24, 461-474. Disponible sur : <https://productions-animales.org/article/view/3278>
- DOREAU M, MARTIN C, MORGAVI D.P. Réduire les émissions de méthane entérique apr l'alimentation des ruminants. In : *Viandes & Produits Carnés*. 06/2017. [consulté le : 10/01/2020].
- DURANT D, FARRUGGIA A. TRANSI'MARSH Conception et évaluation d'un système de polyculture-élevage autonome, « produisant » et valorisant la biodiversité en marais. *Polyculture-élevage bovin allaitant en marais*. [en ligne]. 11/11/2019 [consulté le 15/12/2020].
- DURANT D, FARRUGGIA A, TRICHEUR A. Utilization of Common Reed (*Phragmites australis*) as Bedding for Housed Suckler Cows: Practical and Economic Aspects for Farmers. In: *ressouces*. 26/11/2020 [consulté le 20/12/2020].
- DURANT D, MARTEL G, CHATAIGNER C, *et al.* Comment évoluer vers davantage d'autonomie au sein des systèmes de polyculture-élevage ? : l'expérience d'une ferme expérimentale en marais. In : *Fourrages*. 30/03/2020, 241,21-34. [consulté le 15/12/2020].
- EUGENE M, SAUVANT D, NOZIERE P, *et al.* A new Tier 3 method to calculate methane emission inventory for ruminants. In : *Journal of Environmental Management*. 2018. [consulté le 05/11/2020].
- INRAE. [en ligne]. 07/2020 [consulté le 02/12/2020]. Rubrique Nous connaître. Disponible sur : <https://www.inrae.fr/nous-connaître>
- INRAE. *Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers*. [en ligne]. 07/2020 [consulté le 02/12/2020]. Rubrique Nous connaître. Disponible sur : <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/N-A-Poitiers-2020-web.pdf>
- INRAE. *Unité expérimentale de Saint-Laurent-de-la-Prée*. [en ligne]. 2020 [consulté le 03/12/2020].
- IPCC. *Global warming of 1.5°C*. 2018. [consulté le 17/12/2020].

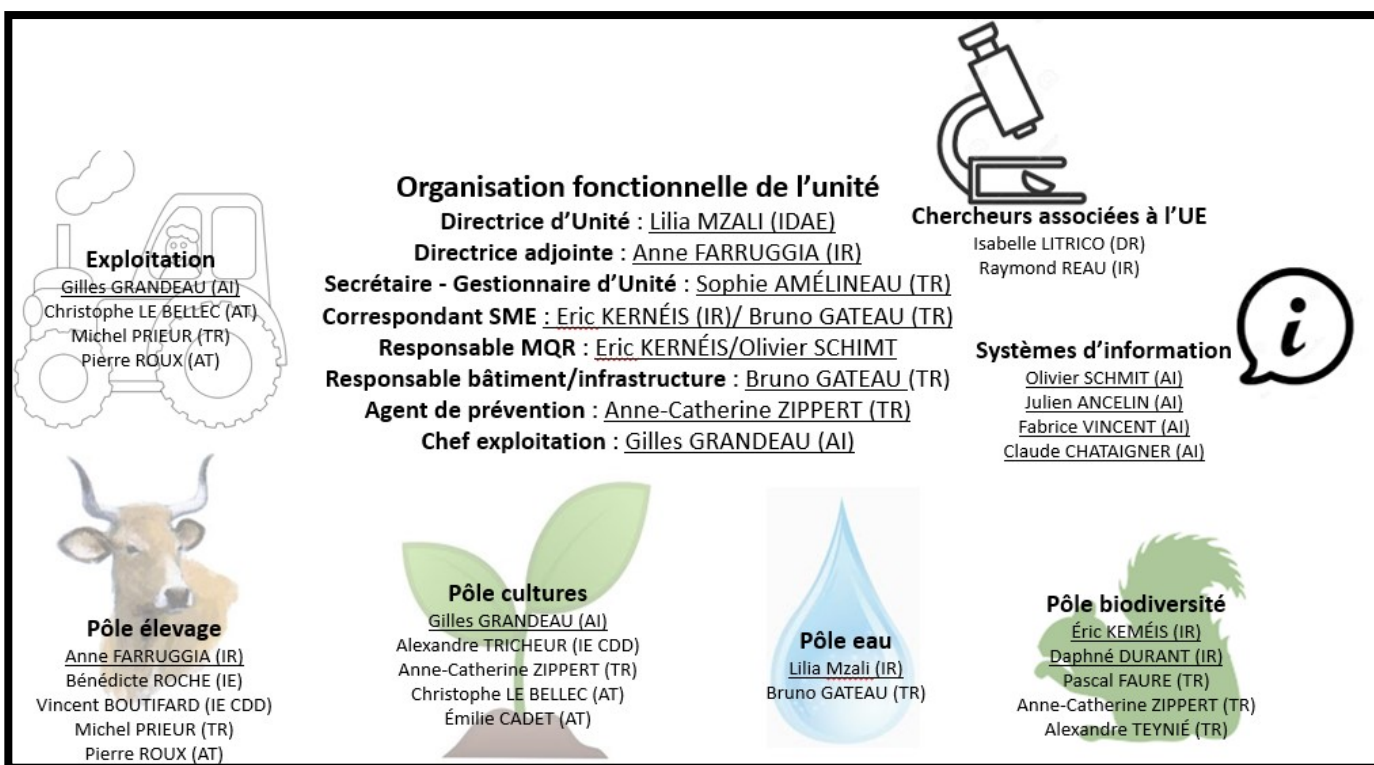
- MARTIN C, POMIES D, FERLAY A, *et al.* Methane output and rumen microbiota in dairy cows in response to long term supplementation with linseed or rapeseed of grass silage- or pasturebased diets. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2011. [consulté le 11/01/2021]. 71, 243-247.
- MARTIN C, ROUEL J, JOUANY J.P, *et al.* Methane output from dairy cows in response to dietary supplementation of crude linseed, extruded linseed or linseed oil. 2008.J. Anim. Sci., 86, 2642-2650. [consulté le 22/12/2020].
- McGINN S.M, BEAUCHEMIN K.A, COATES T, *et al.* (). Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of Animal Science*.2004. [consulté le 11/01/2021]. 82, 3346-3356.
- McGINN S.M, CHUNG Y.H, BEAUCHEMIN K.A, *et al.* Use of corn distillers' dried grains to reduce enteric methane loss from beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*. 2009. [consulté le 12/01/2021] .89, 409-413.
- SAUVANT D, GIGER-REVERDIN S, SERMENT A, *et al.* Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants. 2011 [consulté le 05/11/2020].
- RIRA M., MORGAVI D.P., ARCHIMEDE H., *et al.* (). Potential of tannin-rich plants for modulating rumen microbes and ruminal fermentation in sheep. *Journal of Animal Science*. 2015. [consulté le 10/01/2020].93, 334-347
- SAUVANT D, NOZIERE P. Rénovation des unités alimentaires des ruminants : les principales relations utilisées pour le calcul des apports alimentaires. 2013. [consulté le : 15/12/2020].
- VINCENT F. *La ferme expérimentale*. [en ligne]. 18/06/2018 [consulté le 04/12/2020]. Rubrique La ferme expérimentale de Saint Laurent de la Prée. Disponible sur : <https://www6.nouvelle-aquitaine-poitiers.inrae.fr/dslp/La-ferme-experimentale-de-Saint-Laurent-de-la-Pree>

ANNEXES

Annexe 1 : Organisation d'INRAE et position de l'unité ACT-SLP de Saint Laurent de-la-Prée (production personnelle)

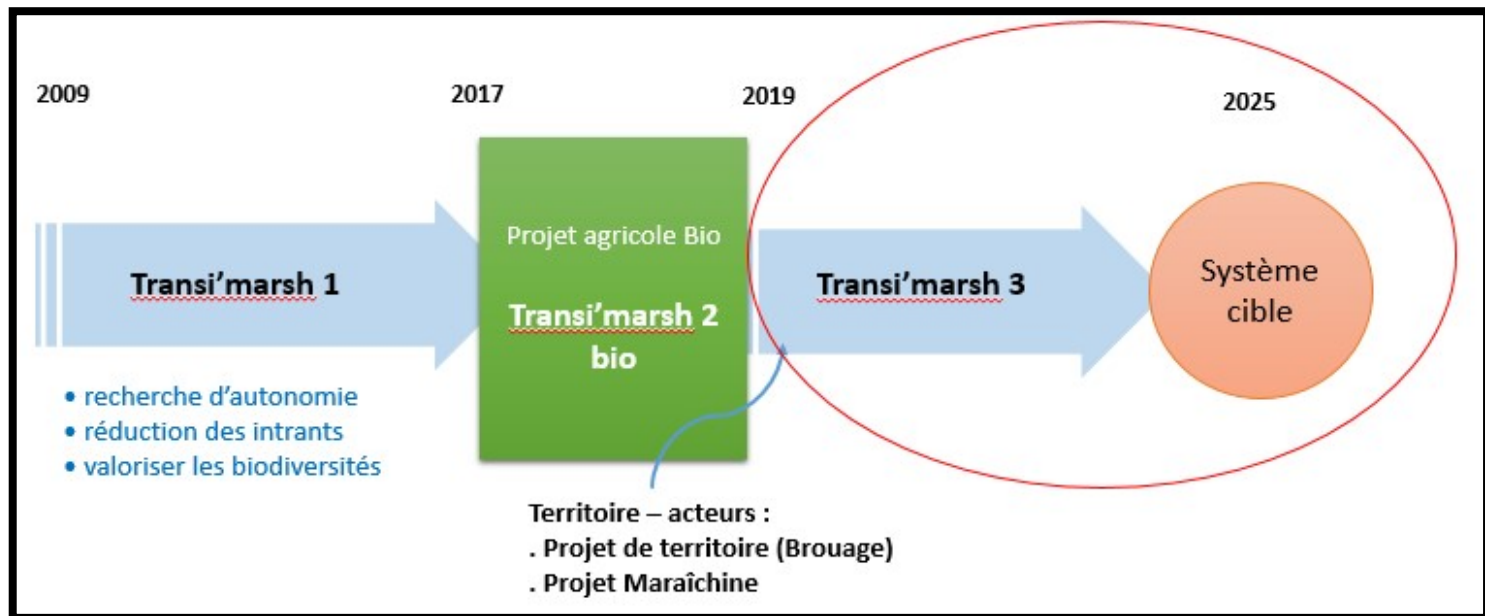


Annexe 3 : Organisation fonctionnelle de l'unité (production personnelle)

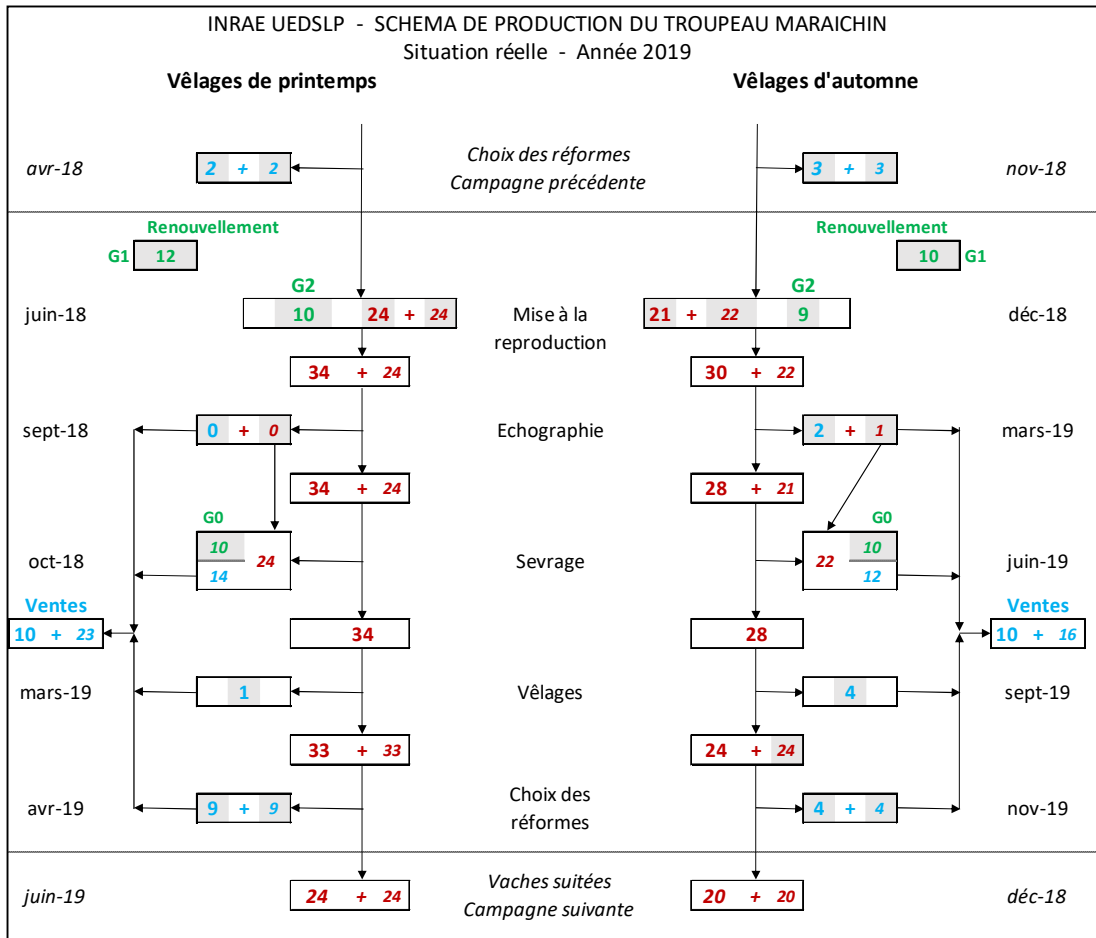


DR : Directeur de recherche, IR : Ingénieur de recherche, IE : Ingénieur d'étude, AI : Assistant ingénieur, TR : Technicien de recherche, AT : Adjoint technique
 SME : Système de management environnemental, MQR : Mesure qualité risque

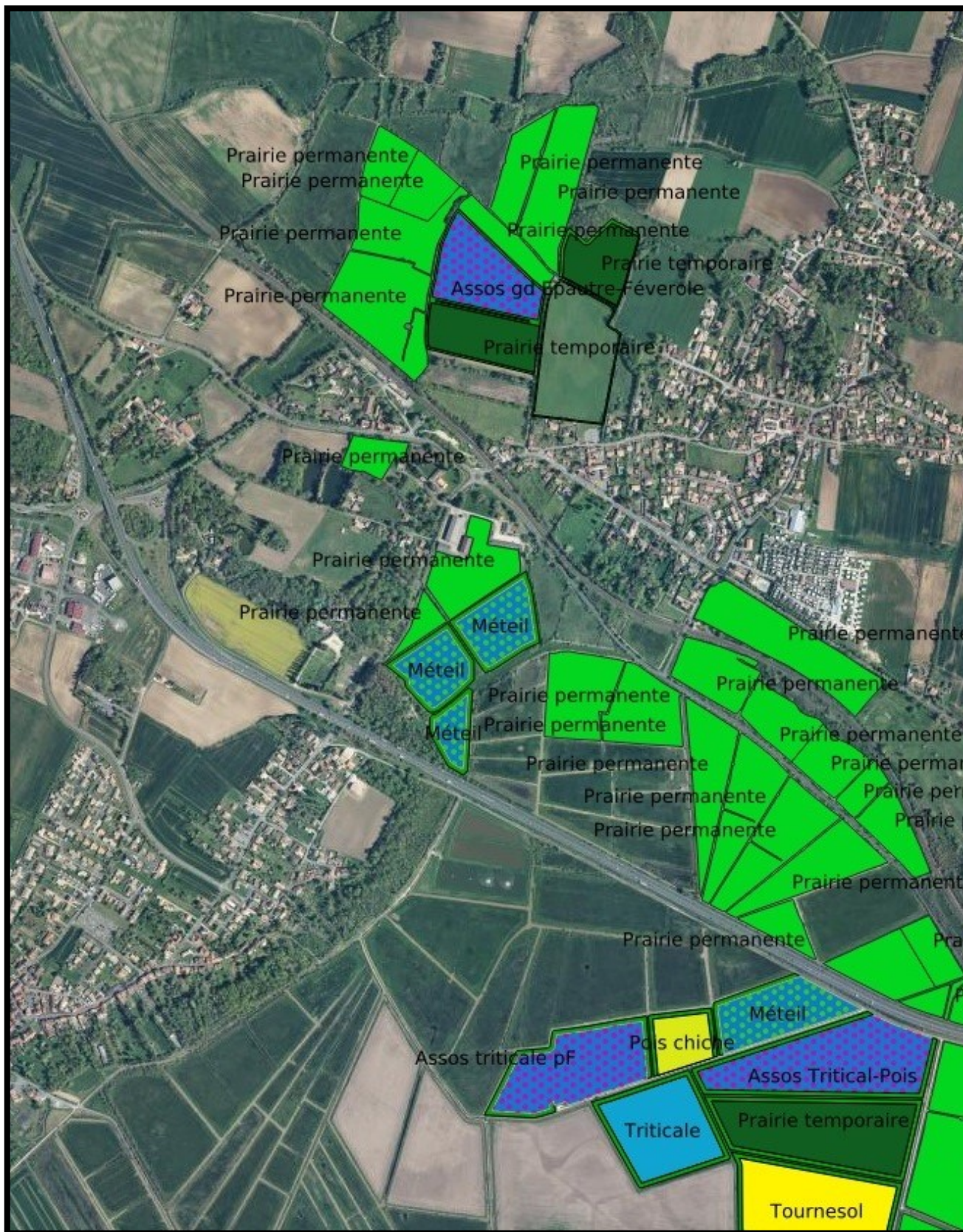
Annexe 2 : Évolution du projet Transi' Marsh depuis 2009 (INRAE SLP,2019)



Annexe 4 : Schéma de reproduction du troupeau 2018-2019. (CHATAIGNER, 2019).



Annexe 5 : Répartition des cultures sur le parcellaire de l'exploitation agricole, année 2018-2019
(INRAE SLP, 2018)



Annexe 6 : Exemple de feuille alimentation - janvier 2019 (PRIEUR, 2019)

Annexe 6 : Exemple de feuille alimentation - janvier 2019 (PRIEUR, 2019)											
Année: 2019						Mots: JANVIER					
Lot: VAD						Lot: VAD + A0 + A + TR					
Lieu: STAB. lot 1						Lieu: STAB. lot 2					
No	Quantité	Boîtes	Pds Boîtes	Boîtes	Pds Boîtes	No	Quantité	Boîtes	Pds Boîtes	Boîtes	Pds Boîtes
1	150	kg	15	200	kg	1	100	kg	10	100	kg
2						2	100	kg	10	100	kg
3						3	100	kg	10	100	kg
4						4	100	kg	10	100	kg
5						5	100	kg	10	100	kg
6						6	100	kg	10	100	kg
7						7	100	kg	10	100	kg
8						8	100	kg	10	100	kg
9						9	100	kg	10	100	kg
10						10	100	kg	10	100	kg
11						11	100	kg	10	100	kg
12						12	100	kg	10	100	kg
13						13	100	kg	10	100	kg
14						14	100	kg	10	100	kg
15						15	100	kg	10	100	kg
16						16	100	kg	10	100	kg
17						17	100	kg	10	100	kg
18						18	100	kg	10	100	kg
19						19	100	kg	10	100	kg
20						20	100	kg	10	100	kg
21						21	100	kg	10	100	kg
22						22	100	kg	10	100	kg
23						23	100	kg	10	100	kg
24						24	100	kg	10	100	kg
25						25	100	kg	10	100	kg
26						26	100	kg	10	100	kg
27						27	100	kg	10	100	kg
28						28	100	kg	10	100	kg
29						29	100	kg	10	100	kg
30						30	100	kg	10	100	kg
31						31	100	kg	10	100	kg
Description du lot						Description du lot					
Composantes						Composantes					
4539						4654					
4571						4661					
4614						4665					
4615						4856					
4639						4864					
4647						4879					
4731 → 5068						4731 → 5068					
4744 → 5069						4744 → 5069					
4827 → 5062						4827 → 5062					
4834 → 5059						4834 → 5059					
4837 → 5071						4837 → 5071					
0 2047						0 2047					

Annexe 7 : Détails des calculs prenant en compte les interactions digestives dans le rumen (adaptée de SAUVANT, 2013)

- **NI_{ref}** = Niveau d'ingestion de référence

Défini par INRA, 2018

Exprimé en % du poids vif de l'animal (MSI %PV).

Si le Type d'aliment est "concentré ou minéraux" alors NI_{refj} = 2

Si le Type d'aliment est "ensilage de maïs" alors NI_{refj} = 1.44

Si le Type d'aliment est "fourrage" alors NI_{refj} = $(75 / \text{UEM}_{07j}) * (60^{0.75}) / 60 / 10$

Avec UEM_{07j} : Valeur UEM (Unité d'encombrement) de l'aliment dans la Table INRA 2007 (en g/kg PV^{0.75})

Dans la situation de l'étude, l'aliment est de type **fourrage** et la valeur UEM est issu de la moyenne des UEM des analyses 2018 de l'unité expérimentale.

Ici, NI_{ref} = $((75 / 1,6) * (60^{0,75} / 60)) / 10 = 1.7$

- **ΔdMO_{ni}**

$\Delta dMO_{ni} = -2.74 * (NI - NI_{ref})$

Avec **NI** (niveau d'ingestion) = **MSI %PV**

- **ΔdMO_{co}**

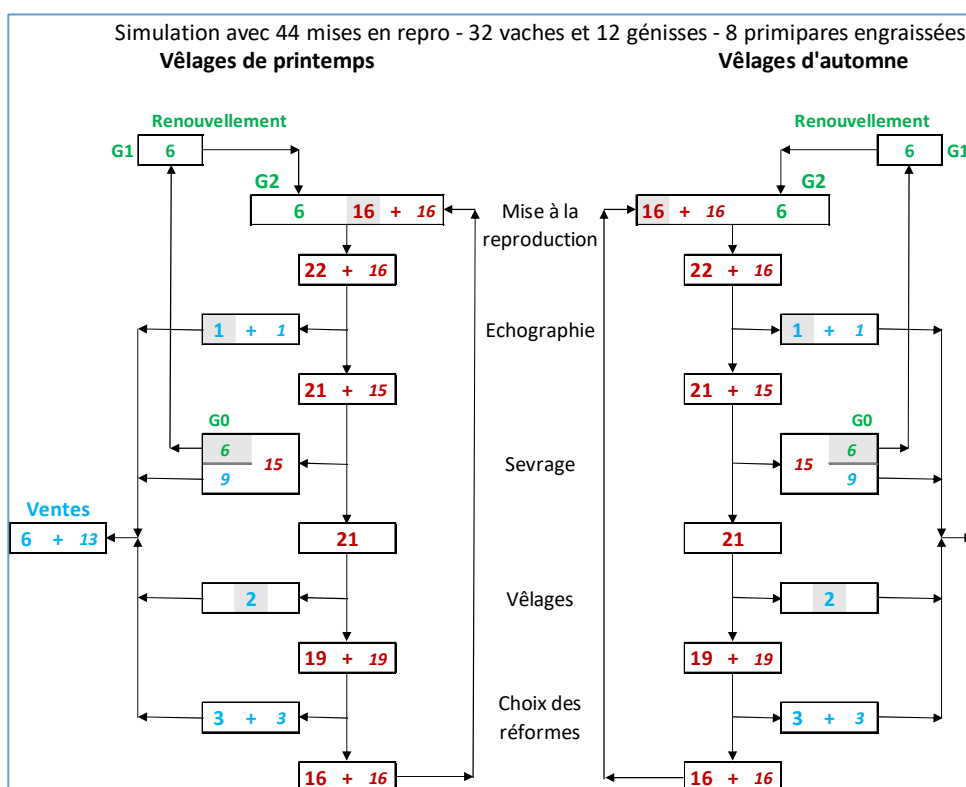
$\Delta dMO_{co} = -0.6 * (6.5 / (1 + 0.35 / PCO)^3)$

Cette suite de calcul permet alors d'obtenir une MOD de la ration en tenant compte des interactions digestives liées à la part de concentré, au niveau d'ingestion, MOD_c.

MOD_c = (MOD / (10 + ΔdMO_{ni} + ΔdMO_{co})) * 10

Sauvant et Nozière, 2013

Annexe 8 : Exemple de modélisation du cas de 44 MAR (CHATAIGNER, 2019)



Annexe 9 : Paramètres de simulation pour les 3 cas de mises à la reproduction (64, 52 et 44 MAR)(FARRUGGIA, 2020)

Hypothèse	64 MAR	52 MAR	44 MAR
Déroulement à la reproduction par période	1 vache ne prend pas, 1 vache coule et 1 vache perd son veau		
Mise à la reproduction	34 printemps 30 automnes	26 printemps, 26 automnes	22 printemps, 22 automnes
Veaux viables	58 31 printemps, 27 automnes	46 23 printemps, 23 automnes	38 19 printemps, 19 automnes
Génisses conservées	20 10 printemps, 10 automnes	16 8 printemps, 8 automnes	12 6 printemps, 6 automnes
Génisses de renouvellement	7 4 printemps, 3 automnes	6 3 printemps, 3 automnes	4 2 printemps, 2 automnes
Taux de renouvellement	14 % (7/51)	14 % (6/42)	11 % (4/36)
Taux de productivité numérique	91 % (58/64)	88 % (46/52)	11 % (4/36)
Vente veaux/bROUTARDS	38 (250 kg) 21 printemps, 17 automnes	30 15 printemps, 15 automnes	26 13 printemps, 13 automnes
Ventes vaches de réforme engraisées	7 (690 kg) 4 printemps, 3 automnes	6 3 printemps, 3 automnes	4 2 printemps, 2 automnes
Ventes de primipares engraisées	13 (600 kg) 6 printemps, 7 automnes	10 5 printemps, 5 automnes	8 4 printemps, 4 automnes

Annexe 10 : Durée de vie dans l'atmosphère et potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre (GIEC, 2007)

Gaz	Durée de vie (années)	PRG selon la période considérée		
		20 ans	100 ans	500 ans
Dioxyde de carbone (CO ₂)	> 500	1	1	1
Méthane (CH ₄)	12	72	25	7,6
Oxyde nitreux (N ₂ O)	114	289	298	153
Hexafluore de soufre (SF ₆)	3 200	15 100	22 200	32 400

GIEC, *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press. [en ligne]. 2007.[consulté le 18/12/2020]. p. 212 : « Table 2.14. Lifetimes, radiative efficiencies and direct (except for CH₄) GWPs relative to CO₂. »