24e

3R RENCONTRES RECHERCHES RUMINANTS

Paris, les 5 et 6 décembre 2018

Session :

Environnement

INRA SCIENCE & IMPACT

INSTITUT DE L'ELEVAGE idele

NUTRITION
& SANTÉ ANIMALES

CCPA GROUPE

Une vision exigeante de la nutrition, pour construire votre efficacité

Spécialisé dans les métiers de la nutrition et de la santé animales, le GROUPE CCPA s'engage chaque jour aux côtés de ses clients pour construire avec eux leur performance.

Son expertise technique, sa capacité à innover, son esprit de service, sont au cœur de son engagement : proposer des solutions efficaces, testées et validées à chaque étape, depuis la R&D, jusqu'à la station expérimentale et les élevages.

Une conception exigeante de la nutrition, pour une efficacité partagée.

L'expertise nous réunit, L'efficacité vous réussit

GROUPE CCPA | ZA du Bois de Teillay | Quartier du Haut-Bois | 35150 JANZÉ (France)
+33 (0)2 99 47 53 00 | contact@groupe-ccpa.com | www.groupe-ccpa.com

La 1re offre globale d'information agricole

Presse régionale et départementale

La force de l'information locale avec 55 titres hebdomadaires

REUSSIR L'Agriculteur Aisne 02	REUSSIR L'Allier Agricole 03	L'Espace Agrin 04 05	REUSSIR agri Ardennes 08	REUSSIR Terres 09	La Revue Agricole de l'Aube 10	Paysan du Midi 11 30 34	L'Agriculteur Provençal 13	REUSSIR l'agriculteur normand 14 50 61	REUSSIR L'union 15
REUSSIR La Vie Charentaise 16	REUSSIR l'Agriculteur charentais 17	l'information agricole du Cher 18	L'UP 19	Terres de Bourgogne 21 58 89	Terra 22 29 35 56	REUSSIR Creuse Agricole Rurale 23	Pays le Périgord 24	REUSSIR L'Eure agricole et rurale 27	Terra 28•41 77•78 91•93 94•95
L'Avenir Agricole & Viticole Aquitain 33	L'Aurore paysanne 36	Terre de Touraine 37	Le Sillon 40 64	Haute-Loire HLP Paysanne 43	Loire Atlantique Agricole 44	REUSSIR Loiret Agricole & Rural 45	La Voix de la Terre 47	Le Réveil 48	REUSSIR l'Anjou agricole 49
REUSSIR La Marne Agricole 51	REUSSIR L'Avenir agricole et rural de la Haute-Marne 52	REUSSIR agri 53 53	Terres et territoires 59 62	REUSSIR l'Oise Agricole 60	L'Auvergne Agricole 63	REUSSIR PHR Paysan du Haut-Rhin 68	REUSSIR Agri 72 72	L'Union agricole 76	REUSSIR 79 AGRI 79
REUSSIR L'Action Agricole 80	Le Paysan Tarnais 81	En Pays varois 83	Vaucluse agricole 84	La Vendée Agricole 85	Vienne Rurale 86				

Titres APASEC en partenariat avec La Baume Médias

l'ain agricole 01	l'Avenir Agricole de l'Ardèche 07	L'Agriculture Drômoise 26	Terre Dauphinoise 38	Le Jura 39	Paysans Loire 42	l'Information Agricole du Rhône 69	L'Exploitant Agricole de Saône-et-Loire 71	Terres de Savoie 73 74

Presse nationale

La force de l'information agricole avec 9 revues spécialisées

10 n°/an

11 n°/an

11 n°/an

11 n°/an

6 n°/an

11 n°/an

10 n°/an

10 n°/an

11 n°/an

RÉUSSIR Abonnement
1 rue Léopold Sédar Senghor - CS 20022 - Colombelles - 14902 CAEN CEDEX 9
Tél : 02 31 35 87 28 - service.abonnement@reussir.fr

REUSSIR à plus d'un titre

boutique.reussir.fr

REUSSIR : Colombelles (14) - Tél. 02 31 35 77 00 - RCS CAEN 388 308 637 - E1810-07

LA REVUE DE **L'alimentation animale**

LE MENSUEL DES INDUSTRIES DE LA NUTRITION ANIMALE DEPUIS 1950

Le magazine d'actualité des industriels de la nutrition animale

Toute l'actualité nationale et internationale de la nutrition animale. Pour guider le lecteur dans un flux d'information rapide et foisonnant, les journalistes de *La Revue de l'alimentation animale* vont sur le terrain, rencontrent les fabricants d'aliments et les firmes-services, leurs fournisseurs, les chercheurs. Ils parcourent les salons spécialisés, scrutent la réglementation ou la vie professionnelle, décryptent l'amont et l'aval de la nutrition animale.

N'attendez plus :

Abonnez-vous !

ACTUALITÉ
Les nouvelles économiques, politiques, juridiques, sociales...

ENTREPRISES
L'actualité des entreprises

STRATÉGIES
Des entreprises, des filières, des pays

ACHATS
Matières premières, approvisionnements, coûts et utilisations

FORMULATION ET NUTRITION
Résultats d'essais, recherche

PRODUCTION
Nouvelles technologies

MARKETING ET VENTE
Distribution, opération de promotion, communication...

GROS PLAN
Sur le matériel, les produits, les nouveautés...

JURIDIQUE
Réglementations, directives, codes de bonnes pratiques…

FOIRES ET SALONS SPÉCIALISÉS

FORMATION

ANNONCES CLASSÉES
Offres d'emploi

AQUACULTURE

PARTENAIRES
Des reportages sur les partenaires des fabricants d'aliments

PETFOOD

BULLETIN D'ABONNEMENT

LA REVUE DE **L'alimentation animale**
LE MENSUEL DES INDUSTRIES DE LA NUTRITION ANIMALE DEPUIS 1950

Retournez votre bulletin sous enveloppe affranchie à :
La Revue de l'Alimentation Animale - Service Abonnement - 2 rue Félix Le Dantec - CS 62020
29018 Quimper cedex - Tél. 33 (0)2 98 98 01 40 - abo@fitamant.fr

Oui, je m'abonne pour : ◯ 1 an (10 numéros) au prix de 140 € TTC (tarif France) au lieu de ~~160 € TTC~~ prix normal de vente (tarif étranger : 1 an 150 € port compris). Par avion, nous consulter

◯ 2 ans (20 numéros) au prix de 230 € TTC (tarif France) au lieu de ~~290 € TTC~~ prix normal de vente (tarif étranger : 2 ans 255 € port compris). Par avion, nous consulter

Société : _____ Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____ CP : _____ Ville : _____

Tél. : _____ E-mail : _____

Date et signature obligatoires :

❒ Carte bancaire N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Date de validité |_|_|_|_|_|_| Cryptogramme |_|_|_| (3 derniers chiffres au dos de votre carte)

❒ Chèque bancaire ou postal à l'ordre des Éditions Fitamant ❒ Je souhaite recevoir une facture acquittée

Conformément à la loi informatique et libertés, vous disposez d'un droit d'accès aux informations vous concernant

www.revue-alimentation-animale.fr

LALLEMAND ANIMAL NUTRITION

Lallemand Animal Nutrition s'engage à optimiser la performance et le bien-être animal, au moyen de produits naturels issus de fermentations et de services spécifiques. Inspiré par la science et en nous appuyant sur notre expérience du terrain, Lallemand Animal Nutrition :

- Développe, produit et commercialise des produits à forte valeur ajoutée à base de bactéries ou de levures, comme les probiotiques, les inoculants d'ensilage et les dérivés de levure.
- Confirme son engagement de leader et d'expert au sein des filières de productions animales en offrant des solutions fiables, rentables et durables qui font progresser nos partenaires.

Lallemand Animal Nutrition
*Specific for your Success**

*Spécifique pour votre succès.

LALLEMAND ANIMAL NUTRITION ■ SPECIFIC FOR YOUR SUCCESS
www.lallemandanimalnutrition.com

LALLEMAND

INRA SCIENCE & IMPACT

RENCONTRES RECHERCHES RUMINANTS

INSTITUT DE L'ELEVAGE idele

Remercient leurs partenaires 2018

GROUPE TECHNA

Allice ÉLEVAGE | INNOVATION | SERVICE

CCPA GROUPE

ROVIMIX® β Carotene

ANICAP Association Nationale Interprofessionnelle Caprine

L'éleveur laitier

LA BUVETTE Le spécialiste de l'abreuvement

interbev INTERPROFESSION BÉTAIL & VIANDE

Phytosynthese GROUPE LEHNING

Obione ANS

GDS France L'action sanitaire ensemble

CARNOT

France Futur Élevage santé | alimentation | génétique

Grands TROUPEAUX

Typex

DSM BRIGHT SCIENCE. BRIGHTER LIVING.

LA REVUE INRA PRODUCTIONS ANIMALES

mixscience Innovate for Life

REUSSIR AGRA Nourrir votre performance

G.I.E. DES VIGNOBLES DESPAGNE & FILS

LALLEMAND

Réussir la chèvre La revue des éleveurs de chèvres

FRANCE CONSEIL ÉLEVAGE Donner du sens à la mesure

neolait A Cargill Company

RéussirLait

Réussir Pâtre La revue des éleveurs de moutons

RéussirBovins viande

afrique agriculture

UMOTEST la génétique Montbéliarde du présent et du futur

AURIVA L'ELEVAGE NOUVELLE GÉNÉRATION

APIS-GENE Investir Innover Valoriser

L'alimentation animale

La base de données ELFE : vers une meilleure connaissance des émissions gazeuses liées à l'élevage

VIGAN A. (1), HASSOUNA M. (1), BRAME C. (2), EDOUARD N. (3), EGLIN T. (4), ESPAGNOL S. (5), EUGENE M. (6), GENERMONT S. (7), GUINGAND N. (5), LAGADEC S. (2), LORINQUER E. (8), LOYON L. (9), PONCHANT P. (10), ROBIN P. (1)
(1) INRA, Agrocampus-Ouest, UMR SAS, 65 rue de St Brieuc, 35000 Rennes, France
(2) CRAB, Rue Maurice le Lannou, 35042 Rennes, France
(3) INRA, Agrocampus-Ouest, UMR PEGASE, 35042, Rennes, France
(4) ADEME, 20 Avenue du Grésillé, 49000 Angers, France
(5) Ifip Institut du Porc, La motte au Vicomte, 35651 Le Rheu Cedex, France
(6) INRA, Université Clermont Auvergne, VetAgro Sup, UMR 1213 Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France
(7) INRA UMR ECOSYS, Route de la Ferme, 78850 Thiverval-Grignon, France
(8) Idele, Monvoisin BP 67, 35652 Le Rheu Cedex, France
(9) IRSTEA, Avenue de Cucillé, 35000 Rennes, France
(10) Itavi, 41 rue de Beaucemaine, 22440 Ploufragan, France

RESUME
Le secteur de l'élevage est aujourd'hui confronté à une demande croissante de produits animaux à laquelle il doit répondre en limitant au maximum ses impacts environnementaux et en assurant sa durabilité. Parmi ces impacts, la pollution de l'air est une préoccupation majeure. Pour faire face au changement climatique et contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air, les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre doivent être mieux caractérisées et maîtrisées afin de les prendre en compte dans l'évolution des pratiques d'élevage (alimentation, gestion des effluents, etc.). Des acteurs de la recherche et du développement se sont donc associés afin de développer une base de données appelée ELFE (ELevages et Facteurs d'Emission), compilant les valeurs publiées dans la littérature internationale des émissions d'ammoniac, de gaz à effet de serre, de particules et d'odeurs, sur toute la chaîne de gestion des effluents des élevages bovins, porcins et avicoles ainsi que leurs métadonnées associées. Parmi les 1 000 références bibliographiques collectées, environ 350 ont été intégrées à ce jour à la base de données, fournissant ainsi, un peu plus de 5 200 valeurs d'émission. La base de données ELFE permet de déterminer des moyennes d'émission associées à leurs écarts-types prenant en compte la diversité des systèmes d'élevage. Ces données pourront ainsi alimenter les inventaires nationaux d'émissions en proposant des facteurs d'émissions ajustés à des systèmes d'élevage définis et également, permettre d'évaluer la mise en place de pratiques de réduction des émissions. Cette base de données représente aussi une source d'information pour la réalisation d'évaluations multicritères permettant notamment, de préciser l'influence des métadonnées sur les niveaux d'émissions (climat, type de bâtiment, etc.). De plus, cette base propose une classification de chaque valeur d'émission en fonction du nombre de métadonnées renseignées dans les références bibliographiques (>50 % ; 30-50 % ; <30 % des métadonnées renseignées) afin d'évaluer son niveau de description.

The ELFE database: improving the knowledge on gas emissions from livestock systems

VIGAN A. (1), HASSOUNA M. (1), BRAME C. (2), EDOUARD N. (3), EGLIN T. (4), ESPAGNOL S. (5), EUGENE M. (6), GENERMONT S. (7), GUINGAND N. (5), LAGADEC S. (2), LORINQUER E. (8), LOYON L. (9), PONCHANT P. (10), ROBIN P. (1)
(1) INRA, Agrocampus-Ouest, UMR SAS, 65 rue de St Brieuc, 35000 Rennes, France

SUMMARY
The increasing demand for animal products is a major challenge for the livestock sector that must reduce its environmental impacts and ensure its sustainability. This sector has been identified as an important contributor to polluting gas emissions. Improving the knowledge on the origin and the magnitude of air pollutants and greenhouse gases emissions from livestock sector is essential to address climate change and to contribute to improve air quality with the evolution of breeding practices (feeding strategy, manure management, etc.). A consortium involving research and extension services partners was created to build a database called ELFE (ELevages et Facteurs d'Emission) with international data from literature references focusing on emissions of ammonia, greenhouse gases, particles and odors on the different steps of manure management of cattle, pig and poultry productions systems and their associated key variables. Around 350 publications (among 1 000 publications collected) are integrated into the database and provide more than 5 200 emission values. The ELFE database allows calculating average of emission and their standard deviation taking into account the diversity of livestock systems. These data can be used to provide emission factor for national inventories for specific livestock systems and also, to evaluate practices on gas emissions mitigation. This database can also be used to analyze the influence of key variables on the emission factor variability using multicriteria assessment (climate, building type, etc.). Moreover, this database propose a classification of emission factor into three classes according to the degree on which information about their most influential key variables was complete (>50 % ; 30-50 % ; <30 % of indicated key variables) to evaluate its description.

INTRODUCTION

Les émissions gazeuses liées au secteur de l'élevage représentent une forte préoccupation tant pour la santé humaine que pour les problématiques environnementales qu'elles impliquent. Afin d'améliorer les connaissances relatives à ces émissions en vue de les réduire, des acteurs de la recherche (INRA, IRSTEA) et des instituts techniques (CRAB, Idele, Ifip, Itavi) se sont associés dans le cadre du projet ELFE (ELevages et Facteurs d'Emission). Ce projet concerne le développement d'une base de données mutualisant les références sur les émissions gazeuses d'ammoniac (NH_3), protoxyde d'azote (N_2O), méthane (CH_4), dioxyde de carbone (CO_2), particules et odeurs des élevages herbivore (bovin, ovin, caprin, équin), porcin et avicole au niveau des principaux postes d'émission (bâtiment, stockage et épandage des effluents). L'utilisation des références saisies dans la base de données ELFE doit permettre de produire des Facteurs d'Emission (FE), associés à des écarts-types caractérisant la diversité des systèmes d'élevages. De plus, des évaluations multicritères à l'échelle de la base de données devront permettre d'identifier des facteurs de variation des émissions et ainsi, contribuer à l'identification de pratiques de réduction ou à la définition de nouvelles typologies de systèmes sur la base de gammes d'émission.

L'objectif de cet article est de présenter l'ensemble de la démarche méthodologique développée dans le cadre du projet ELFE ainsi qu'un premier bilan des saisies réalisées.

1. METHODOLOGIE

1.1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Une revue bibliographique des références traitant des émissions gazeuses liées à l'élevage a été réalisée. Environ 1 000 références ont ainsi été collectées sur la période 1981 à 2018. Elles proviennent d'une mutualisation de la bibliographie des acteurs du projet puis d'une actualisation réalisée sur Web of Science (http://apps.webofknowledge.com). Elles sont issues de différents supports (articles de revues à comité de lecture, actes de colloque, rapports d'étude, thèses). Ces références concernent les émissions de NH_3, N_2O, CH_4, CO_2, particules et odeurs. Elles concernent au moins une des trois productions animales (herbivore, porcine, avicole) sur un ou plusieurs postes d'émissions (bâtiment, stockage, épandage).

1.2. ELABORATION DE LA BASE DE DONNEES

La base de données ELFE a été créée sous Microsoft Excel® 2013. Elle se structure par fichier pour chaque poste d'émission avec un fichier par production animale pour le poste bâtiment afin de prendre en compte leurs spécificités (Figure 1). Cette figure montre que pour les autres postes, un seul fichier regroupe l'ensemble des données relatives aux émissions toutes productions confondues.

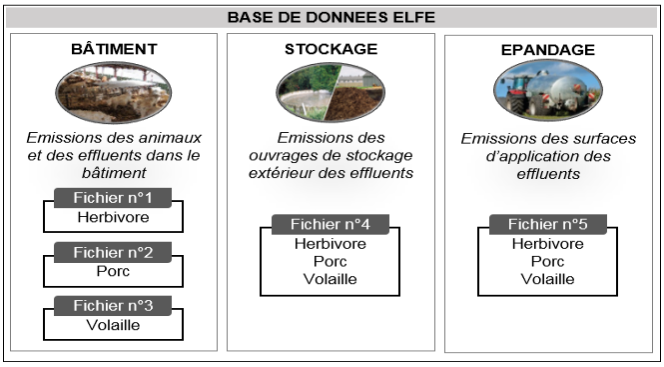


Figure 1 Structure de la base de données ELFE

Les fichiers pour les postes bâtiment, stockage et épandage comprennent respectivement environ 500, 150 et 200 variables à renseigner. De plus, pour chaque variable quantitative, une colonne est dédiée au renseignement de l'unité d'expression utilisée dans la référence bibliographique. En plus des variables rapportant les résultats des études publiées (valeurs d'émission, teneurs en azote ou en carbone des aliments et des effluents, etc.), deux grandes catégories de variables se distinguent : celles qui concernent la description du système d'élevage et celles qui décrivent le protocole de mesure des émissions gazeuses. Les variables à renseigner dans la base ELFE sont ensuite organisées en blocs thématiques (géographie, climat, caractéristiques techniques du système d'élevage, composition des effluents, etc.). Au niveau du bâtiment, la base de données ELFE permet de renseigner les informations pour différents animaux, aliments et effluents (par exemple, dans le cas où les émissions rapportées dans une référence bibliographique concernent à la fois des vaches laitières et des génisses avec une alimentation et un mode de logement différents). La base de données est présentée de manière détaillée par Vigan *et al* (2017).

Dans un objectif de valorisation à l'international, la base de données ELFE a été créée en anglais. Chaque fichier comprend ainsi un glossaire traduisant chaque variable de l'anglais vers le français. Ce glossaire permet également d'apporter des précisions sur certaines variables afin d'assurer l'homogénéité des informations saisies dans la base par les différents acteurs du projet.

1.3. SAISIE DES DONNEES

Suite à la revue bibliographique et à l'élaboration de la base de données, les valeurs d'émissions identifiées dans les références bibliographiques ainsi que leurs métadonnées associées ont été saisies dans la base. Différentes règles pour la saisie des données ont été établies par les acteurs du projet lors de la création de la base ELFE. La principale règle formulée impose la saisie des données brutes, c'est-à-dire dans l'unité d'expression d'origine de la référence bibliographique. Aucune donnée par défaut ni aucune donnée convertie n'est intégrée dans la base ELFE. Les informations manquantes sont associées à la saisie « nd » (non documenté). Ce codage des informations non renseignées dans les références bibliographiques est fondamental pour la classification correcte des données en fonction de leur niveau de description (section 1.5).

1.4. CONVERSION DES DONNEES

Comme indiqué précédemment, les valeurs collectées dans la base de données ELFE proviennent de différents supports bibliographiques. Ces différents supports induisent une grande variabilité dans les unités d'expression des valeurs d'émission reportées (Tableau 1). A ce stade du projet, la production herbivore est uniquement représentée par la filière bovine et seuls les composés NH_3, N_2O, CH_4 et CO_2 sont étudiés.

Tableau 1 Nombre d'unités différentes pour l'expression des valeurs d'émission reportées dans la littérature collectée

	Bâtiment				St. [1]	Ep. [2]
	Bovin	Porc	Volaille	Tot.[3]		
NH_3	42	54	24	79	45	15
N_2O	26	20	5	44	31	12
CH_4	28	20	5	42	48	8
CO_2	18	18	3	30	22	3
n [4]	696	1 742	313	2 746	1 579	864

[1] Stockage ; [2] Epandage ; [3] Total pour les trois productions animales après avoir supprimé les unités identiques ; [4] Nombre de valeurs d'émission saisies

Afin de pouvoir analyser les valeurs d'émissions, la première étape a consisté à définir des unités de référence pour exprimer les FE (phase d'homogénéisation). Le tableau 2 présente les unités de référence qui ont été choisies par poste d'émission selon l'objectif d'utilisation (comparaison entre production, représentation des émissions sur l'ensemble de la chaine de gestion des effluents, utilisation réglementaire). Pour les postes bâtiment et stockage, trois unités différentes sont nécessaires par rapport aux objectifs d'utilisation alors que pour l'épandage, seules deux unités ont été choisies.

Tableau 2 Unités de référence par poste d'émission pour les émissions de $N\text{-}NH_3$, $N\text{-}N_2O$, $C\text{-}CH_4$ et $C\text{-}CO_2$

	Bâtiment	Stockage	Epandage
Unité 1	$g.LU^{-1}.jour^{-1}$ (1)	$g.m^{-2}.jour^{-1}$	$kg.ha^{-1}$
Unité 2	% excrété	% stocké	% épandu
Unité 3	$kg.animal^{-1}.an^{-1}$ (2)	$g.m^{-3}.jour^{-1}$	-

(1) LU (Livestock Unit) = 500 kg de poids vif ; (2) Pour les porcs et volailles: $kg.emplacement\ animal^{-1}.an^{-1}$

Aucune donnée par défaut n'a été ajoutée et aucune hypothèse n'a été posée pour la conversion des valeurs d'émission vers les unités de référence. Si les données nécessaires à la conversion ne sont pas renseignées dans la référence bibliographique concernée, alors les valeurs d'émission sont exclues de l'analyse. Deux méthodes de conversion ont été développées. La première consiste à convertir la valeur vers une quantité totale de composé (par exemple, passer de kg $NH_3.animal^{-1}.jour^{-1}$ à des kg NH_3) avant de la rapporter à l'unité de référence. La deuxième méthode consiste à convertir directement la valeur de l'unité d'origine vers l'unité de référence. En fonction des unités d'expression d'origine et de l'unité de référence, cette deuxième méthode permet d'aboutir à un pourcentage de valeurs converties plus important (par exemple, pour passer de kg $NH_3.animal^{-1}.jour^{-1}$ à l'unité de référence 3, aucune donnée n'est requise alors qu'avec la première méthode de conversion, si la durée n'est pas précisée, la conversion est impossible).

1.5. CLASSIFICATION DES DONNEES

De la même manière que pour la conversion des valeurs d'émission, la diversité des supports bibliographiques implique une grande hétérogénéité dans la description des conditions d'acquisition des valeurs d'émission. C'est pourquoi, elles ont été classées en fonction de leur niveau de description. Pour chaque poste d'émission, des variables clés (jugées les plus déterminantes dans la caractérisation des émissions) ont été identifiées parmi l'ensemble des variables de la base afin de calculer le pourcentage renseigné. Parmi la première catégorie de variables sur le système d'élevage décrite précédemment (section 1.2), 30, 39 et 47 variables clés ont été sélectionnées dans le fichier bâtiment pour les productions bovine, porcine et avicole respectivement. Dans les fichiers stockage et épandage, 35 et 34 variables clés ont été sélectionnées. Parmi la deuxième catégorie de variables décrivant le protocole de mesure des émissions gazeuses, 24 variables clés ont été sélectionnées dans le fichier bâtiment pour les productions bovine et porcine. Pour la production avicole, le nombre de variables clés sélectionnées est de 29. Enfin, dans les fichiers stockage et épandage, 19 variables clés ont été sélectionnées pour cette deuxième catégorie. La part totale des variables clés identifiées varie entre 11 et 24 % de l'ensemble des variables selon les fichiers. Après avoir calculé le pourcentage renseigné (en attribuant +1 lorsque l'information est présente dans la référence bibliographique et 0 lorsqu'elle est absente), les notes obtenues ont été pondérées de façon à ce que les deux catégories aient le même poids dans la note finale. Ensuite, chaque valeur d'émission saisie dans la base a été allouée à une des trois classes de « complétude » définies par le pourcentage de variables clés renseignées: classe 1 >50 % ; classe 2 30-50 % ; classe 3 <30 %.

1.6. ANALYSE DES DONNES

En fonction des objectifs, deux procédures d'analyse des données compilées dans la base ELFE peuvent être envisagées. L'ensemble des analyses décrites ci-dessous sont réalisées avec le logiciel R version 3.4.2.

La première procédure consiste à produire des moyennes de FE associées à un écart-type pour un système d'élevage donné. Le système d'élevage peut être préalablement défini de deux manières distinctes.
Dans le premier cas, la liste des systèmes est définie par expertise à partir des systèmes les plus communément représentés sur le terrain. Les experts de la production bovine associés au projet ELFE ont défini une liste de 66 systèmes d'élevages au bâtiment. Ces systèmes se définissent à partir de la filière (bovin laitier / bovin allaitant / engraissement) et du type d'effluent produit (lisier / fumier / mixte). Pour les systèmes lisier, un troisième niveau correspond au mode de logement afin de distinguer les systèmes avec un stockage temporaire à l'intérieur du bâtiment des systèmes qui stockent directement en extérieur. En ce qui concerne le stockage, la distinction se fait dans un premier temps sur le type d'effluent stocké (lisier / fumier) puis sur la filière concernée (bovin laitier / bovin allaitant / engraissement) soit, 6 systèmes de stockage au total.
Dans le deuxième cas, les variables évoquées ci-dessus (type d'effluent produit, mode de logement) sont testées statistiquement en appliquant des tests paramétriques (Student, Welch ou ANOVA) ou non-paramétriques (Wilcoxon ou Kruskal-Wallis) en fonction des conditions de validité de chaque test. L'application de ces tests permet de définir les systèmes en se basant sur les modalités pour lesquelles il y a une différence significative sur les moyennes de FE (par exemple, entre les moyennes de FE pour les systèmes lisier et fumier).

La deuxième procédure permet d'analyser l'ensemble des données saisies à l'échelle de la base sans organisation préalable par système. L'objectif est de déterminer les principaux facteurs d'influence qui impliquent une variabilité des FE. Cette analyse se fait sur un jeu de données comprenant les FE et certaines variables préalablement sélectionnées sur l'ensemble de la base. Ces variables ont été identifiées par expertise et sur la base des connaissances publiées pour chaque poste d'émission et gaz. Chaque variable est testée une à une afin de déterminer s'il y a un lien significatif avec les FE. Pour les variables quantitatives, le coefficient de corrélation est déterminé et pour les variables qualitatives, une analyse de variance est réalisée. Pour la production bovine au bâtiment et au stockage, environ 50 et 25 variables ont été sélectionnées respectivement (soit, environ 10 % et 17 % de l'ensemble des variables de la base). Ces variables correspondent en partie à des facteurs d'influence déjà mis en évidence dans la littérature (par exemple, la MAT (Matière Azotée Totale) des aliments pour les émissions de NH_3 ou encore l'utilisation d'une couverture pour les ouvrages de stockage). Néanmoins, d'autres variables correspondant à des pistes d'analyses pertinentes mais peu étudiées pour expliquer la variabilité des émissions ont également été sélectionnées (méthode de détermination des émissions ou méthode d'analyse des concentrations du composé gazeux par exemple).

2. RESULTATS ET DICUSSION

2.1. BILAN DES SAISIES

A ce jour, environ 5 200 valeurs d'émissions issues de 350 références ont été saisis dont 53 %, 30 % et 17 % pour les postes bâtiment, stockage et épandage respectivement. Sur l'ensemble des données, 33 %, 58 % et 9 % concernent les productions bovine, porcine et avicole. Une référence bibliographique fournit donc en moyenne 15 valeurs d'émissions qui concernent dans 24 % des cas, au moins deux productions différentes et/ou deux postes d'émission différents. Comme cela est mentionné dans Gac *et al* (2006), le NH_3 représente le composé gazeux majoritairement étudié dans la bibliographie relative aux émissions gazeuses des élevages.

Même si les saisies dans la base ELFE ne sont en rien représentatives des systèmes Français, les informations saisies permettent d'établir des profils des systèmes les plus étudiés dans la littérature. En ce qui concerne les émissions par les bovins au bâtiment publiées dans la littérature, 80 % des données saisies correspondent à la filière laitière, 12 % à l'allaitante et 8 % à l'engraissement (Figure 2). Parmi les données liées à la filière laitière, cette figure montre que 70 % correspondent à des systèmes lisier dont 57 % avec stockage du lisier à l'extérieur du bâtiment, 18 % à l'intérieur et 25 % non renseigné. Cette figure montre également que 45 % des données saisies pour le stockage extérieur d'effluent correspondent au stockage de lisier et 29 % au stockage de fumier (les données restantes concernent le stockage d'effluents liquides ou solides traités). Autant de données correspondent au stockage du lisier en cuve et dans des lagunes.

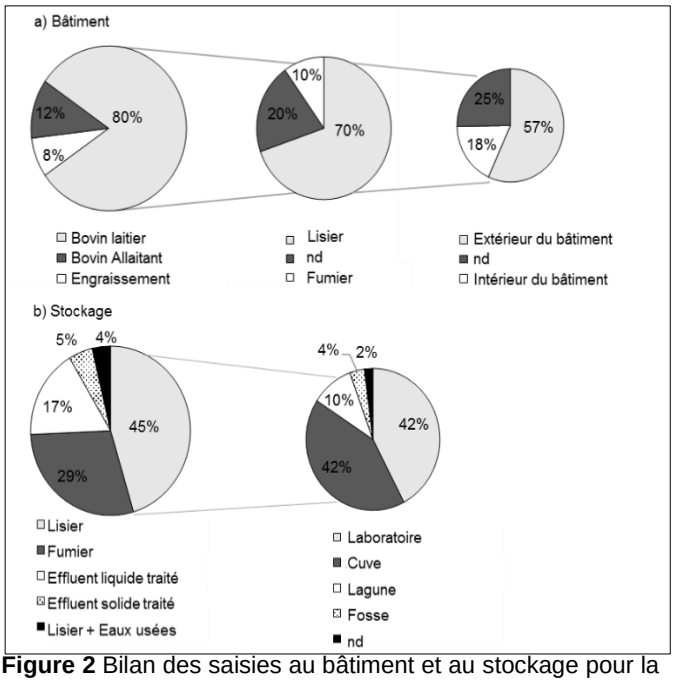


Figure 2 Bilan des saisies au bâtiment et au stockage pour la production bovine

2.2. VALEURS D'EMISSION CONVERTIES

La figure 3 présente les pourcentages de valeurs d'émission converties vers chacune des trois unités de référence à partir des deux méthodes combinées pour les postes bâtiment et stockage (la conversion des valeurs d'émission à l'épandage est en cours d'élaboration).

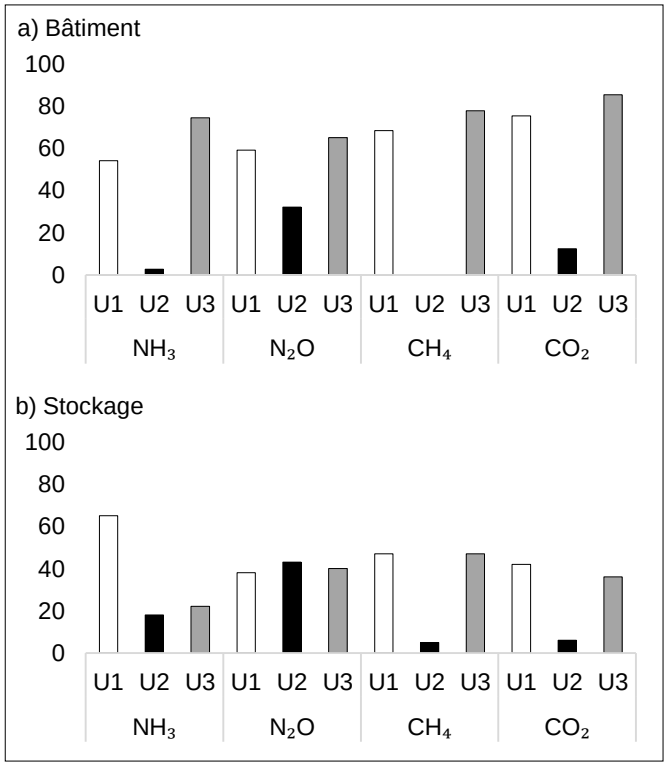


Figure 3 Pourcentage de valeurs d'émissions converties vers chacune des trois unités de référence (U1 : Unité 1, U2 : Unité 2 et U3 : Unité 3 ; cf. Tableau 2)

La figure 3 montre que pour le bâtiment, très peu de valeurs d'émissions ont pu être converties vers la deuxième unité (% N ou C excrété). En effet, très peu de références bibliographiques indiquent la quantité d'azote ou de carbone excrété. Etant donné que la majorité des valeurs d'émissions publiées sont ramenées au poids d'un animal ou par animal, les pourcentages de valeurs d'émission converties sont plus importants pour la première et la troisième unité ($g.LU^{-1}.jour^{-1}$ et $kg.animal^{-1}.an^{-1}$ respectivement).

Au stockage, les émissions de NH_3, N_2O et CO_2 sont majoritairement exprimées par unité de surface. La figure 3 montre pour ces trois gaz, des pourcentages de valeurs d'émission converties vers la première unité ($g.m^{-2}.jour^{-1}$) proches de 50 %. En ce qui concerne les émissions de CH_4 au stockage dans les références bibliographiques, elles sont autant exprimées par unité de surface que par unité de volume. Pour ce gaz, la figure montre des pourcentages de valeurs d'émission converties équivalents vers les unités 1 et 3. L'information sur les teneurs initiales en azote et en carbone est indiquée à hauteur de 33 et 9 %. En effet, très peu de valeurs d'émissions de CH_4 et de CO_2 ont pu être converties vers la deuxième unité (% C stocké).

2.3. VALEURS D'EMISSION CLASSEES

La figure 4 ci-dessous représente la répartition des valeurs d'émission de chaque poste (et de chaque production pour le bâtiment) au sein des trois classes de complétude. Cette figure montre que pour chaque poste d'émission et production animale, (excepté pour les émissions des volailles au bâtiment), la majorité des données se trouve dans la classe 2. Elle montre également que la classe 1 qui regroupe les données avec le meilleur pourcentage de renseignement correspond à la classe minoritairement représentée. Concernant les valeurs d'émission des volailles au bâtiment, elles sont principalement allouées à la classe 3 (c'est-à-dire, avec moins de 30 % des informations renseignées). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que ce poste représente celui pour lequel il y a le moins de saisies de réalisées (cf. Tableau 1).

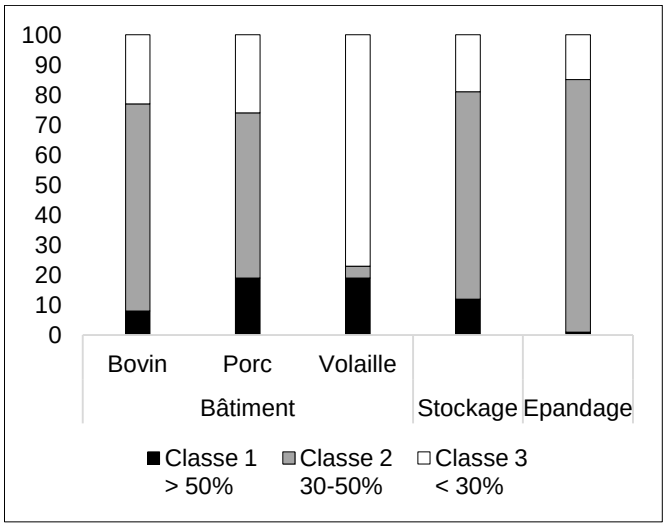


Figure 4 Répartition (en %) des valeurs d'émissions par classe de complétude

L'objectif de cette classification est de pouvoir caractériser chaque valeur d'émission par rapport au niveau de description de ses conditions d'acquisition. Cette approche permet également de réaliser un bilan des informations qui semblent nécessaires à la description des valeurs d'émission et de leurs conditions d'acquisition illustrant leurs faibles renseignements dans la littérature.

CONCLUSION

La démarche méthodologique développée dans le cadre du projet ELFE permet de mieux caractériser les données de la littérature et surtout, de déterminer leurs impacts sur les FE en vue d'aboutir ensuite à des niveaux d'émission plus précis. Ce projet est également un support pressenti pour rédiger des règles de « reporting » des informations dans les références bibliographiques. En effet, tout en valorisant la littérature publiée relative aux émissions gazeuses des élevages, ce projet permet de mettre en évidence les informations manquantes qui peuvent être un frein à l'analyse des résultats de certaines références bibliographiques. De plus, il permet d'identifier les systèmes d'élevage et les pratiques moins étudiés et ainsi, de proposer de nouvelles pistes de recherche. Parmi les perspectives associées à ce projet, les émissions au pâturage et lors du traitement des effluents seront intégrées à la base de données ELFE. Cela permettra notamment de pouvoir considérer la répartition des émissions au niveau des différents postes afin de pouvoir avoir un regard complet des émissions tout au long d'un continuum.

Les auteurs remercient l'ADEME, le Ministère de l'Agriculture et l'ANR pour le financement de ce projet.

Gac, A., Béline, F., Bioteau, T., 2006. Rapport final ADEME. 79 pp.

Vigan, A., Ponchant, P., Guingand, N., Espagnol, S., Hassouna, M., Lorinquer, E., Lagadec, S., Brame, C., Edouard, N., Genermont, S., Loyon, L., Eugène, M., Klumpp, K., Fiorelli, J-L., Mathias, E., Legall, C., Cohan J-P., Eglin, T., Robin, P., 2017. 12èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France. 386-390

Influence de la race, de la stratégie d'alimentation et de l'âge au 1er vêlage sur les émissions de méthane entérique intégrées à l'échelle du système laitier

DALL-ORSOLETTA A.C. (1), LEURENT-COLETTE S. (2), FORAY S. (3), LAUNAY F. (4), DELABY L. (5)
(1) UDESC, Lagès, SC 88520-000, Brazil
(2) AGRIAL, 4 rue des Roquemonts, 14000 Caen
(3) Institut de l'Elevage, Monvoisin, 35650 Le Rheu
(4) INRA, Domaine du Pin, Borculo, Exmes 61310 Gouffern en Auge
(5) INRA, UMR Pegase, 16 Le Clos, 35590 Saint Gilles

RESUME – Avec le méthane entérique, l'élevage des ruminants contribue aux émissions de gaz à effet de serre (GES). En France, il représente 7 à 8 % des émissions totales de GES. L'intégration des émissions de CH_4 à l'échelle du système d'élevage est peu décrite et l'analyse des possibles facteurs d'influence ouvre d'autres perspectives d'atténuation que celles connues à l'échelle individuelle. Les résultats issus de l'expérience à long terme « Quelle vache pour quel système ? » ont été valorisés afin de quantifier par modélisation les émissions de CH_4 du troupeau laitier. L'influence de la race, de l'âge au 1er vêlage et de la stratégie d'alimentation a été étudiée. Pour un même volume de lait livré (400 t), les émissions totales annuelles de CH_4 entérique varient de 10,7 à 19,2 t selon la race et la démographie des différents troupeaux. Ces quantités émises sont sensibles aux performances individuelles, au potentiel des vaches et aux stratégies d'alimentation favorables à son expression. L'aptitude à revêler et l'âge au 1er vêlage ont une influence importante sur les effectifs des différents troupeaux, donc sur les émissions. Intra système, différents leviers d'amélioration technique existent et sont souvent favorables à l'efficacité globale du système. L'impact de ces leviers doit être évalué globalement afin d'éviter de possibles effets défavorables associés sur l'environnement.

Effect of the breed, the feeding strategy and the first calving age on the methane emission integrated at dairy system level

DALL-ORSOLETTA A.C. (1), LEURENT-COLETTE S. (2), FORAY S. (3), LAUNAY F. (4), DELABY L. (5)
(1) UDESC, Lagès, SC 88520-000, Brazil

SUMMARY – With enteric methane, the ruminants contributes to greenhouse gases (GHG) emissions. In France, this represents 7 to 8% of the total GHG emissions. The integration of CH_4 emissions at the livestock farming system level is poorly described and the influential factors analysis offers other possibilities for mitigation than at the animal level. The results of the long term experiment "The cow for the system?" have been combined to quantify by modeling the dairy herd CH_4 emissions. The effect of the breed, the first calving age and the feeding strategy has been described. At the same level of milk sales (400 t), the enteric CH_4 annual emissions vary from 10.7 to 19.2 t according to the breed and herds demography observed. The total CH_4 released is sensitive to the individual performance and reduced with high genetic merit cows and high feeding strategies. The ability to be in-calf and the first calving age have an influence on the herd size, and consequently, on the CH_4 emissions. Within every system, different levers of technical improvement exist and are often associated with increased system efficiency. The impact of these levers has to be evaluated globally to avoid possible adverse associated effects on environment.

INTRODUCTION

Les émissions de méthane (CH_4) entérique associées à l'élevage des ruminants et à leur capacité à digérer les fourrages participent aux émissions totales de gaz à effet de serre (GES) dans le monde. En France, selon le CITEPA (2017), sur un total GES de 458 Mt eqCO2 émis en 2016, le CH_4 total représente 12,3 % des émissions et l'agriculture en assume 70 %. Enfin, environ 88 % de ce méthane d'origine agricole est constitué de CH_4 entérique. Soit, en eqCO2, 35 Mt de CH_4 entérique émis (7,6 % des émissions totales nationales). Si l'agriculture n'émet en France qu'environ 17 % des GES totaux, le CH_4 entérique représente néanmoins 51 % de cette contribution agricole (CITEPA, 2017). Mais cette contribution aux émissions de GES ne fait qu'augmenter compte tenu de la forte hausse de la demande alimentaire mondiale, notamment en produits animaux. L'élevage de ruminants, en Europe et dans le monde, est ainsi concerné par les engagements de réduction des émissions de GES affichés lors de la COP 21.

A l'échelle de l'animal, les quantités émises, leurs principaux facteurs de variation et les possibles actions de mitigation, notamment alimentaires, sont de mieux en mieux connus (Martin *et al.*, 2010 ; Hristov *et al.*, 2013 ; Knapp *et al.*, 2014). Ainsi, les émissions de CH_4 dépendent d'abord et surtout des quantités de matières organiques digestibles (MOD) ingérées par l'animal, et donc des quantités totales ingérées par jour (Sauvant et Nozière, 2013).

A l'inverse, les évaluations à l'échelle du système d'élevage sont beaucoup moins fréquentes et méritent que l'on s'y attarde afin d'envisager d'autres actions possibles de mitigation. Ces évaluations globales d'émissions de CH_4 entérique et l'étude de leurs principaux facteurs de variation nécessitent d'intégrer à l'échelle du troupeau les effets de la stratégie d'alimentation, sur l'ingestion et les performances de production des animaux, mais aussi sur les performances de reproduction et les stratégies de renouvellement associées. Elles reposent sur des données issues d'expérimentations de longue durée et sont souvent le fruit de travaux de modélisation (Rotz *et al.*, 2018).

L'objectif de cet article est de valoriser les résultats zootechniques de l'expérience « Quelle vache pour quel système ? » (QVQS) conduite durant 10 ans (2006-2015) sur le domaine INRA du Pin-au-Haras (Orne), afin d'estimer à l'échelle du troupeau laitier (vaches et génisses) l'influence de la race, de la stratégie d'alimentation et de l'âge au 1er vêlage sur les émissions totales de CH_4 entérique.

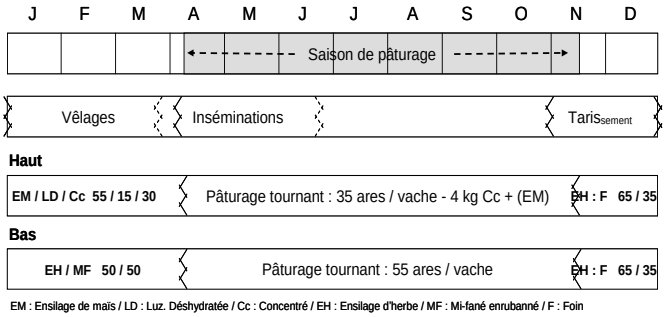
1. MATERIEL ET METHODES

1.1 Quelle vache pour quel système ? (Figure 1)

L'expérimentation QVQS a pour objectif d'évaluer au cours de leurs lactations successives la capacité d'adaptation de vaches laitières de race Holstein (Ho) ou Normande (No) conduites en vêlages groupés sur 3 mois en hiver (Jan à Mars), avec un âge au 1er vêlage à 2 ou 3 ans (V2ans / V3ans) et affectées à deux stratégies d'alimentation opposées. Dans la 1ère stratégie, caractérisée par de hauts apports nutritifs (Haut), l'objectif est de faciliter l'expression du potentiel laitier grâce à une ressource alimentaire et une ration adaptée à la demande animale. Dans la 2ème stratégie, caractérisée par de moindres apports nutritifs (Bas), l'animal s'adapte à la ressource alimentaire locale basée sur les principes d'un système herbager à bas intrants (Delaby et Fiorelli, 2014). Chaque année, pour toutes les vaches et génisses, la saison de reproduction se déroule du 21 Mars au 21 Juin (13 semaines). Les vaches sont inséminées sur chaleurs naturelles (5 observations par jour, sans assistance technologique) au-delà de 42 jours après vêlage. Les causes de réforme sont pour l'essentiel associées à l'absence de nouvelle gestation, puis aux problèmes graves de santé (mammites, boiteries) ainsi qu'aux quelques mortalités accidentelles. Chaque vache est affectée à une stratégie d'alimentation pour toute sa carrière. La combinaison des 3 facteurs étudiés aboutit ainsi à 8 systèmes laitiers différents, sur lesquels est évaluée depuis 10 ans l'aptitude des différents types de vaches à produire et se reproduire.

Les vaches du lot Haut reçoivent en début de lactation durant l'hiver (90 jours) en stabulation une ration complète *ad libitum* à base d'ensilage de maïs (55 %), de luzerne déshydratée (15 %) et de concentré et minéraux (30 %). A la même période, leurs homologues du lot Bas sont alimentées *ad libitum* avec une ration composée d'ensilage d'herbe récolté en coupe fine et préfané (50 %) et de mi-fané enrubanné (48 %) sans aucun apport de concentré, si ce n'est 2 % d'aliment minéral vitaminé (AMV). A partir de début Avril, les vaches du lot Haut ont accès à une surface de pâturage limitée de 35 ares/vache qui permet environ 90 jours de pâturage seul. Elles reçoivent en quantité constante jusqu'au tarissement 4 kg de concentré et AMV mélangés, et dès que nécessaire 5 à 8 kg d'ensilage de maïs et d'herbe. Les vaches du lot Bas disposent d'une surface de 55 ares/vache, qui permet 180 jours de pâturage seul et ne reçoivent aucun apport de concentré. Elles consomment environ 200 g/jour d'AMV et peuvent être complémentées si nécessaire avec de l'ensilage d'herbe. En fin de lactation, à la rentrée à l'étable après 220 j de pâturage, l'herbe pâturée est remplacée par de l'ensilage d'herbe. Durant le tarissement, toutes les vaches sont alimentées avec de l'ensilage d'herbe (65 %) et du foin (35 %), avant de retrouver 15 jours avant vêlage leur ration hivernale de début de lactation. L'alimentation des génisses est raisonnée selon leur âge au 1er vêlage, décidé à l'âge de 6 mois, avec un gain de poids objectif plus élevé dans le cas d'un vêlage à 2 ans.

Figure 1 : Calendriers d'alimentation et de reproduction de l'expérimentation « Quelle vaches pour quel système »



En stabulation, les quantités ingérées totales (QIgroupe en kg MS) à l'auge sont mesurées chaque jour selon les groupes de même stratégie d'alimentation par pesée des quantités distribuées et refusées. Au pâturage, l'herbe ingérée est estimée en moyenne par parcelle à partir des mesures de biomasse offerte, de la croissance de l'herbe et de la hauteur d'herbe disparue. Les quantités individuelles de concentré consommées sont issues des données du distributeur automatique de concentré (DAC). Chaque aliment, distribué à l'auge, au DAC ainsi que l'herbe offerte au pâturage, est échantillonné et sa composition chimique analysée afin d'en calculer la digestibilité de la matière organique (MO) et la valeur nutritive. La production laitière (PL) de chaque vache est mesurée lors des 2 traites quotidiennes et les taux butyreux (TB) et protéique (TP) individuels du lait sont évalués lors de 6 traites par semaine. Les vaches sont pesées chaque semaine tandis que leur état corporel est noté chaque mois par 3 opérateurs qualifiés. La ration détaillée, distribuée par classe d'âge aux différents lots de génisses, est enregistrée chaque semaine et ces animaux sont pesés tous les 15 jours, de la naissance au 1er vêlage.

1.2 Modèle de prédiction des émissions individuelles annuelles de CH_4.

L'ensemble des données d'ingestion et de production recueillies pendant 10 ans (soit 589 lactations, dont 41 % de primipares issues de 146 Ho et 151 No) a été validé et structuré par vache et par période de 14 jours (en moyenne 22 en lactation et 4 de tarissement). Compte tenu des vêlages groupés sur 3 mois, 6 périodes de vêlage possibles, de 2 semaines chacune, ont également été définies.

En hiver comme au pâturage, les quantités ingérées totales individuelles puis de chaque aliment de la ration ont été calculées à partir de l'ingestion totale du groupe Haut ou Bas et de la capacité d'ingestion (CI) estimée (Faverdin *et al.*, 2010) de chaque vache selon l'équation :

QIvache (kg MS/j)= QIgroupe x CIvache / CIgroupe avec CIgroupe = ∑CIvache

Les données individuelles ont ensuite été décrites par quinzaine de lactation-tarissement selon un modèle linéaire intégrant les facteurs contrôlés suivants : année (2006 à 2015), quinzaine de vêlage (de 1 à 6), race (Ho ou No), âge au 1er vêlage (2 ou 3 ans), rang de lactation (1, 2 ou 3 et plus), stratégie d'alimentation (Haut ou Bas) et les interactions significatives, combinant deux à deux les 4 derniers facteurs décrits ci-dessus. Finalement, les données d'ingestion et de production de 144 profils de vaches différents sont ainsi disponibles par quinzaine pour recomposer ensuite les différents troupeaux étudiés.

Les quantités ingérées journalières des rations successives des génisses de renouvellement ont été estimées par période de 3 mois selon l'évolution de leur poids vif et de leur CI (Agabriel et Meschy, 2010). Le gain de poids vif journalier a été modélisé à partir des pesées régulières selon la race et l'âge au 1er vêlage.

Pour les vaches comme pour les génisses, les quantités de CH_4 entérique émises par kg de MOD ingérée ont été estimées selon l'équation proposée par Sauvant et Nozière (2013) qui intègre le niveau d'ingestion (NI) et la part de concentré dans la ration (PCO). Puis, pour aboutir aux émissions de CH_4 entérique journalières, les quantités de MOD ingérées ont été estimées à partir des quantités de MO ingérées modélisées et de la digestibilité de la MO de la ration corrigée des interactions digestives (INRA, 2018). Les données obtenues pour chaque quinzaine sur les 144 profils de vaches et les profils de génisses ont finalement été sommées sur l'ensemble de l'année.

1.3 Intégration des émissions de CH_4 à l'échelle du système d'élevage.

A l'échelle du système d'élevage, l'évaluation des performances de production et la quantification des émissions de CH_4 entérique résulte de la combinaison des différents profils de vaches et génisses selon la démographie observée de chaque troupeau des 8 systèmes étudiés. Cette démographie dépend à la fois de la répartition des 3 rangs de lactation (primipare, 2ème puis 3ème lactation et plus) et des dates de vêlage réparties en 6 quinzaines. Le nombre de vaches en 1ère lactation définit alors le nombre de génisses de renouvellement à élever. Les résultats obtenus lors de l'expérimentation QVQS nous procurent la répartition des effectifs nécessaires à la reconstitution des troupeaux, en cohérence avec leurs propres performances de reproduction et les causes de réforme associées.

La démarche de comparaison des systèmes peut ensuite être appliquée soit à effectif constant pour un volume de lait livré variable, soit à volume de lait livré identique en adaptant alors les effectifs de vaches et de génisses. Dans un souci de simplification et de cohérence des ratios d'analyse, seule la seconde situation est présentée ci-après. Ainsi, une même exploitation livrant 400 tonnes de lait par an, soit une production de 434,8 tonnes (8 % de lait non commercialisé), avec des vêlages groupés de fin d'hiver a été simulée en y intégrant les performances des vaches et génisses au sein des 8 systèmes selon la race, l'âge au 1er vêlage et la stratégie d'alimentation.

2. RESULTATS - DISCUSSION

2.1 Performances individuelles et démographie des troupeaux (Tableau 1).

Durant la phase d'élevage, les génisses destinées à un vêlage à 2 et 3 ans ont consommé respectivement 4820 et 8250 kg MS, dont 30 et 50 % d'herbe pâturée, pour un gain de poids moyen de 780 et 620 g par jour. Les vaches des stratégies Haut et Bas ont consommé par année respectivement 6860 et 6060 kg MS, dont respectivement 38 et 57 % d'herbe pâturée. En moyenne, dans toutes les situations, les vaches de race Ho ont consommé environ 580 kg MS de plus que les vaches No.

Quel que soit le rang de lactation ou l'âge au 1er vêlage, les vaches du système Haut ont produit significativement plus de lait en 44 semaines que celles du lot Bas (+2110 kg). Mais la réponse aux apports nutritifs a été significativement plus marquée chez les vaches Ho (+2620 kg vs 1600 kg chez les No). L'effet de l'âge au 1er vêlage est marqué en 1ère lactation (+750 kg entre V2ans et V3ans - données non détaillées) puis la différence s'estompe de moitié environ à chaque nouvelle lactation, tout en restant significative en 2ème (+435 kg). Les taux butyreux et protéique sont sensibles à la race et au niveau d'alimentation. Dans tous les cas, les vaches No produisent un lait plus riche (+3,7 et +2,9 g de MG et MP par kg de lait). Les vaches du lot Haut, Ho comme No, ont produit un lait plus riche en protéines (+1,3 g/kg) mais moins riche en matières grasses (-1,5 g/kg). Les vaches No d'une part et les vaches du lot Haut d'autre part sont systématiquement plus lourdes avec des écarts respectifs de +40 kg et +57 kg de poids vif. La courte saison de reproduction met en difficulté toutes les vaches de race Ho qui ne revêlent qu'à 52 % tandis que 70 % des vaches No entament une nouvelle lactation.

Ces résultats, déjà observés par ailleurs (Dillon *et al.*, 2006 ; Beerda *et al.*, 2007), témoignent d'une réactivité différente de la production de lait, de matières et du poids vif aux variations d'apports nutritifs selon le potentiel laitier des vaches (Friggens *et al.*, 2007). Cette réactivité, plus marquée chez les vaches à fort potentiel laitier, est associée à une partition différente des nutriments, modifiant l'amplitude et la durée des variations négatives puis positives des réserves corporelles. A l'inverse, l'aptitude à revêler ne diffère pas selon les niveaux d'apports nutritifs Haut et Bas. Mais, chez les vaches Ho, les voies physiologiques par lesquelles passent ces résultats diffèrent selon les stratégies d'alimentation (Bédère *et al.*, 2017).

Le taux de renouvellement, globalement très élevé et qui oblige dans certains systèmes à acheter des génisses, est d'abord la conséquence de ces piètres performances de reproduction et ensuite de la politique de réforme, plus marquée chez les vaches No. Ainsi pour un même volume de lait livré, les effectifs de vaches laitières des troupeaux varient de 50 (Ho/Haut/V3) à 102 (No/Bas/V2), avec un effet associé à la race d'environ +30 % d'effectif chez les No. Compte tenu de la réactivité laitière plus forte des vaches Ho, l'effet de la stratégie d'alimentation est de respectivement +47 % et +37 % de vaches chez les Ho et No des systèmes Bas. Un âge au 1er vêlage à 2 ans nécessite un effectif de vaches supérieur de 10 % en moyenne, avec un effet plus conséquent dans la stratégie d'alimentation Bas (+15 % vs +5 %). Après intégration des génisses de renouvellement, et compte tenu des productions laitières individuelles différentes qui modulent la valeur UGB d'une vache, les effets sur les effectifs totaux (en UGB) par système évoluent dans la même logique mais sont moins marqués.

2.2 Emissions de méthane entérique à l'échelle du troupeau laitier selon les systèmes (Tableau 1).

En moyenne, les émissions journalières de CH_4 entérique calculées par vache évoluent de 336 g/j (No/Bas/V2ans) à 434 g/j (Ho/Haut/V3ans), soit des valeurs annuelles de respectivement 119 à 155 kg. Les émissions de CH_4 associées aux génisses varient de 160 g (V2ans) à 185 g (V3ans) par jour d'élevage, soit sur la période complète d'élevage de 115 et 200 kg respectivement. Ces valeurs se situent dans la gamme des données publiées, que ce soient les valeurs journalières issues de mesures expérimentales (Vermorel, 1995 ; Doreau *et al.*, 2014 ; O'Neill *et al.*, 2012) ou à l'échelle de l'année et calculées par diverses équations (Ellis *et al.*, 2010 ; Appuhamy *et al.*, 2016). Elles sont, pour les vaches laitières, plus élevées que celles calculées sur la base de la production laitière par le CITEPA (2017), notamment chez les vaches de race No.

De 24 à 36 mois d'âge, les génisses destinées à un 1er vêlage à 3 ans émettent 100 kg de CH_4, soit 50 % du CH_4 entérique émis entre la naissance et leur 1er vêlage. C'est également durant cette période que les émissions de CH_4 ramenées au gain de poids sont les plus élevées de la phase d'élevage. Intégrées à l'échelle du troupeau, compte tenu des besoins en renouvellement, ces émissions de la 3ème année d'élevage en regard d'une conduite en V2ans accroissent de 10 et 25 % des émissions totales de CH_4. C'est dire l'importance de l'âge au 1er vêlage, encore tardif en France, dans la mise en œuvre de possibles mitigations à l'échelle de l'élevage laitier (Knapp *et al.*, 2014 ; Dollé *et al.*, 2013).

Les émissions de CH_4 par vache et par an sont plus élevées dans le système Haut (+22 kg) et ce pour les 2 races, surtout du fait d'un niveau d'ingestion plus important (+800 kg MS/an) et assez peu du fait de la nature différente des rations. Rapportées au kg de MS ingéré, et à l'échelle du troupeau, les émissions de CH_4 sont assez peu variables et se situent dans nos travaux à une valeur moyenne de 22,3 g/kg MS ingéré. Cette valeur est en accord avec les données de la littérature (Niu *et al.*, 2018) qui souligne néanmoins une forte variabilité entre les expériences recensées.

A l'échelle du troupeau, les émissions entre systèmes varient presque du simple au double, avec une valeur minimale à 10,7 t (Ho/Haut/V2ans) et maximale à 19,2 t (No/Bas/V3ans). Pour une même quantité de lait livrée, ces écarts sont surtout sensibles à la démographie des troupeaux influencée d'abord par la production par vache, et donc la race et la stratégie d'alimentation, puis par les besoins en renouvellement très dépendants ici des performances de reproduction. En moyenne, les troupeaux No émettent 2,55 t de CH_4 en plus (+18 %) tandis que les troupeaux avec une stratégie

alimentaire Bas émettent +4,25 t de CH_4, soit 32,5 % en plus. De par la nécessité de plus de vaches et génisses pour un même volume de lait livré, les systèmes à bas intrants herbager vont de fait émettre plus de méthane entérique. Exprimé par kg de lait ou de matière utile (MU) produit, ces différences restent ainsi très marquées, avec entre extrêmes des valeurs qui varient de 24,6 à 44,2 g/kg de lait produit. Cette augmentation d'émissions par kg de lait entre les systèmes Haut et Bas est néanmoins moins importante chez les vaches No (+8,6 g/kg de lait) que chez les vaches Ho (+10,8 g/kg de lait). Les taux de renouvellement élevés associés aux contraintes de l'expérience « Quelle vache pour quel système » influencent les émissions totales des troupeaux. Ainsi, l'utilisation du modèle en simulant un taux de renouvellement de 30 % induit une baisse des émissions totales de 0,7 à 4,0 t de CH_4 selon les systèmes, avec un effet plus net dans les troupeaux Ho (-2,7 t) et Bas (-3,2 t).

CONCLUSION

Cette étude confirme l'intérêt d'une approche intégrative pour évaluer les facteurs d'influence et leur hiérarchie dans les émissions de CH_4 entérique associées à l'élevage des ruminants. Intra système, des voies d'amélioration possibles ont été soulignées, avec notamment le rôle important de la démographie du troupeau, sensible aux performances de production et de reproduction. Comme bien souvent en matière d'impact environnemental, toutes convergent vers une amélioration de l'efficacité des systèmes. Elles doivent néanmoins être évaluées globalement afin d'éviter de possibles effets défavorables associés.

Ce projet (n°16-60-C0004) est réalisé avec le soutien financier de l'ADEME dans le cadre du programme de recherche REACCTIF. Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Marion Lautrou, étudiante à AgroParisTech et Marie Gaborit, étudiante-apprentie à Lasalle Beauvais et Agrial, pour leur contribution pertinente à la réalisation de cette étude.

Agabriel, J., Meschy, F. 2010. Alimentation des bovins, ovins et caprins, INRA, Ed Quae, Versailles, 77-89.

Appuhamy, J., France J. Kebreab E. 2016. Glob. Change Biol., 22, 3039-3056.

Bédère N., Disenhaus C., Ducrocq V., Leurent-Colette S., Delaby L. 2017. J. Dairy Sci., 100, 2812-2827

Breeda, B., Ouweltjes, W., Sebek L.B.L., Windig, J.J., Verkamp R. 2007. J. Dairy Sci., 90, 219-228.

CITEPA, 2017. Rapport National d'Inventaire pour la France, CCNUCC, 700 pages.

Delaby, L., Fiorelli, J.L. 2014. INRA, Prod. Anim., 27, 123-134.

Dillon, P., Berry, D., Evans, R.D., Buckley, F., Horan, B. 2006. Livestock Sci., 99, 141-158.

Dollé, J.B., Moreau, S., Foray, S. 2013. Combiner production et environnement. Coll. L'essentiel, Idèle, 16 pages

Doreau, M., Ferlay, A., Rochette, Y., Martin, C. 2014. Animal, 8 :3, 420-430.

Ellis, J.L., Bannink A., France, J., Kebreab, E., Dijkstra, J. 2010. Glob. Change Biol., 16, 3246-3256

Faverdin, P., Delagarde, R., Delaby, L., Meschy F.2010. Alimentation des bovins, ovins et caprins, INRA, Ed Quae, Versailles, 23-58

Friggens, N., Berg, P., Theilgaard, P., Korsgaard, I.R., Ingvartsen K.L., Lovendahl. P., Jensen J. 2007. J. Dairy Sci., 90, 5291-5305

Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., Tricarico, J.M. 2013. J. Anim. Sci., 91, 5045-5069.

INRA, 2018. Alimentation des ruminants. Ed Quae, Versailles, 730 pages

Knapp, J.R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P., Tricarico, J.M. 2014. J. Dairy Sci., 97, 3231-3261.

Martin, C., Morgavi, D., Doreau, M. 2010. Animal, 4:3, 351-365.

Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A.N., Oh J., Arndt, C. *et al.*. 2018. Glob. Change Biol., 24, 3368-3389.

O'Neill, B., Deighton, M.H., O'Loughlin, B.M., Galvin N., O'Donovan, M., Lewis, E., 2012. J. Dairy Sci., 95, 6582-6590

Rotz, C.A. 2018. J. Dairy Sci., 101, 6675-6690.

Sauvant, D., Nozière, P. 2013. INRA, Prod. Anim., 26, 327-346.

Vermorel, M. 1995. INRA, Prod. Anim., 8, 265-272.

Tableau 1 : Performances de production et reproduction, démographie du troupeau et émissions de méthane entérique selon le système d'élevage caractérisé par la race (Ho / No), l'âge au 1er vêlage (2 / 3 ans) et la stratégie d'alimentation (Haut / Bas) pour un même volume de lait produit.

Race	Holstein				Normande			
Stratégie alimentaire	Haut		Bas		Haut		Bas	
Age au 1er vêlage	2 ans	3 ans	2 ans	3 ans	2 ans	3 ans	2 ans	3 ans
Lait total (kg - 44 s)	8553	8861	5830	6340	6161	6524	4463	5027
TB (g/kg)	37,2	37,5	39,3	38,9	41,2	41,4	42,7	42,2
TP (g/ kg)	31,7	32,1	30,9	30,8	34,9	35,1	33,6	33,4
Poids vif moyen (kg – 44 s)	634	689	583	635	687	733	621	665
Revêlage (%)	54	54	51	52	67	75	69	68
Renouvellement (%)	51	46	60	55	37	45	47	46
Vaches laitières	53	50	80	71	71	68	102	88
UGB génisses (1)	24	42	43	71	24	55	43	73
UGB totaux (2)	88	104	119	143	96	126	129	153
CH_4 vache (kg/an)	142	155	121	131	140	149	119	128
CH_4 génisse (kg) (3)	117	200	117	200	112	198	117	200
CH_4 total (tonnes /an)	10,7	12,4	15,3	17,2	12,9	16,2	17,5	19,2
CH_4 total /kg MS ingéré (g)	21,8	22,2	21,8	22,2	22,7	22,9	22,2	22,5
CH_4 total /kg lait produit (g)	24,6	28,6	35,2	39,6	29,8	37,3	40,2	44,2
CH_4 total /kg de MU (g)	333	382	472	531	367	457	496	548

(1) Les UGB génisses correspondent à l'ensemble des génisses présentes avec une valeur de respectivement 0,3 ; 0,6 et 0,9 UGB pour les femelles de 0 à 1 ans, 1 à 2 ans et plus de 2 ans. Soit 0,9 et 1,8 UGB par génisse élevée pour un vêlage à 2 ou 3 ans.
(2) Une UGB vache correspond à une vache produisant 6000 kg de lait, avec 0,09 UGB en plus ou en moins par tranche de 1000 kg de lait.
(3) Sur toute la durée d'élevage (de la naissance au 1er vêlage)

Analyse environnementale d'installations de méthanisation agricole en élevages bovins

GAC A. (1), LORINQUER E. (1), WILFART A. (2), ESPAGNOL S. (3)
(1) Institut de l'Elevage, Monvoisin, BP 85225, 35652 LE RHEU CEDEX
(2) UMR SAS, INRA, Agrocampus, 65 rue de Saint Brieuc, 35000 RENNES
(3) IFIP Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35650 LE RHEU

RESUME
Dans le cadre d'une évaluation de la performance environnementale de la production de biogaz agricole, quatre scénarios de méthanisation impliquant des effluents d'élevage bovin ont été étudiés : en production laitière et allaitante, en micro-méthanisation (50 kW de puissance installée) ou méthanisation à la ferme avec co-substrats (200 kW), avec ou sans traitement du digestat. Leurs bilans environnementaux ont été évalués par Analyse de Cycle de Vie au regard de deux objectifs distincts : la production d'énergie renouvelable et la réduction des impacts environnementaux des élevages. Les résultats confirment l'intérêt de la méthanisation comme source d'énergie verte comparativement au mix électrique français. En ce qui concerne les effets sur les bilans environnementaux des élevages, les résultats sont moins tranchés. Sur les situations étudiées, les installations de 200 kW sont plus performantes pour produire de l'énergie, mais peuvent engendrer des impacts supplémentaires par rapport à un élevage sans méthanisation, du fait d'étapes supplémentaires dans la gestion des déjections (traitement des digestat). La micro-méthanisation, technologie plus récente est encore peu optimisée. Des ouvertures sont proposées sur les leviers d'amélioration et sur des développements méthodologiques futurs.

Environmental assessment of agricultural biogas plants in cattle systems

GAC A. (1), LORINQUER E. (1), WILFART A. (2), ESPAGNOL S. (3)
(1) Institut de l'Elevage, Monvoisin, BP 85225, 35652 LE RHEU CEDEX

SUMMARY
Within the framework of an environmental assessment of the agricultural biogas production, four scenarios of methanation involving cattle manure were studied, coupling dairy and suckler beef systems, micro-methanation (50 kW of installed power) and on-farm plants with co-substrates (200 kW), with or without treatment of the digestate. Their environmental balance were estimated by Life Cycle Assessment with regard to two different objectives: the renewable energy production and the reduction of the environmental impacts of the farms. The results confirm the interest of the methanation as a green source of energy compared with the French electric mix. Concerning the effects on environmental balance of the farms, results are less clear. On the studied situations, the 200 kW plants are more efficient to produce energy, but can engender additional impacts compared with livestock production without biogas plant, because of additional stages in the manure management. The micro-methanation units, a new technology, are still few efficient. Openings are proposed on the levers of improvement and on future methodological developments.

INTRODUCTION

L'intérêt pour la méthanisation est croissant depuis quelques décennies, pour sa capacité à produire de l'énergie renouvelable à partir de la digestion anaérobie de la biomasse (Poeschl et al., 2010, Lijo et al., 2014). Le nombre d'installations de méthanisation à la ferme, à partir de biomasse agricole, en association ou non avec des déchets organiques, est en augmentation depuis une dizaine d'année (Bacenetti et al., 2016; Venanzi et al., 2018) et atteint 239 unités en France en 2017 (Sinoe, 2017).
Les intérêts de la méthanisation dans le secteur agricole sont de différents ordres. Le biogaz peut être utilisé pour produire de l'électricité et de la chaleur par cogénération ou être injecté dans un réseau dédié pour être utilisé en remplacement du gaz naturel ou comme carburant (Poeschl et al., 2012). La digestion anaérobie des matières organiques peut aussi contribuer à améliorer l'efficience du cycle des nutriments, en valorisant les ressources du territoire et par la transformation de la forme azotée, ou en limitant les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le méthane, liées au stockage des effluents d'élevage (Pellerin et al., 2013). Il peut s'agir également d'une opportunité de développement d'une activité complémentaire et l'apport d'un revenu supplémentaire à l'éleveur.
L'évaluation des performances environnementales de la production de biogaz agricole a déjà fait l'objet de travaux et de développement d'outils, tels que DIGES (Bioteau & Dabert, 2009). Utiliser l'approche de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) peut s'avérer utile pour aborder les différents intérêts que peuvent avoir les installations de méthanisation agricole. Des périmètres d'évaluation et des unités fonctionnelles différents peuvent alors être utilisés pour éclairer les différents aspects (van Huylenbroeck et al., 2007).
Cet article propose d'évaluer par ACV les performances environnementales de 4 scénarios de méthanisation agricole en élevage bovin, pour répondre à deux questions : Quel est le bilan environnemental de la production d'énergie par méthanisation ? et Quel est le bilan environnemental des élevages bovins qui intègrent la méthanisation ?

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. EVALUATION DE 4 SCENARIOS DE METHANISATION A LA FERME

Quatre scénarios de méthanisation impliquant des effluents d'élevage bovin ont été étudiés : S1-micro-méthanisation de lisier de bovin laitier (50 kW de puissance installée), S2-micro-méthanisation de fumier de bovin viande, menues paille et déchets de tonte (50 kW), S3-méthanisation de lisier et fumier de bovin lait avec cultures énergétiques et déchets d'industries agro-alimentaires et de collectivités (200 kW) sans traitement et S4-avec traitement du digestat (séparation de phase par vis compacteuse) (Tableau 1). L'ensemble des paramètres de

fonctionnement des unités ont été spécifiées à partir de données techniques recueillies sur des installations existantes, des références techniques et bibliographiques, et auprès de constructeurs (Levasseur., 2017) : quantité et composition d'effluents et de cosubstrats, quantité et composition du biogaz, taux de perte, énergie primaire produite, puissance et rendement des équipements, autoconsommation électrique, infrastructures, durée de vie des équipements, amortissement, etc.

N° Scenario	Production	Puissance installée (kW)	Effluents de l'élevage (tMB/an)	Cosubstrats de l'élevage (tMB/an)	Cosubstrats extérieurs (tMB/an)	Gestion du digestat
S1	Bovin lait	50	Lisier : 1247	0		Epandage sur surfaces en propre
S2	Bovin viande	50	Fumier : 900	Menue paille : 100	Tontes : 200	Epandage sur surfaces en propre
S3	Bovin lait	200	Lisier : 5475 Fumier : 2990	Maïs ensilage : 553 Ensilage herbe : 252 Refus pâturage : 680 Interculture : 151 Refus alimentation : 109	Graisses et boues de flottation (IAA) : 1852 Déchets céréales : 114 Marc pommes : 1466 Déchets fabricants aliments : 76	Epandage sur surfaces extérieures supplémentaires (plan d'épandage)
S4	Bovin lait	200	Idem S3	Idem S3	Idem S3	Séparation de phase (vis compacteuse) et épandage

Tableau 1 Caractéristiques des quatre unités de méthanisation à la ferme étudiées

Ces unités s'insèrent dans deux élevages bovins du Grand Ouest, l'un laitier, l'autre allaitant, basés sur des cas-type Inosys-Réseau d'élevage, dont les caractéristiques techniques sont présentées dans le tableau 2. Deux scénarios témoins sont également considérés pour comparer les performances environnementales des élevages avec et sans méthanisation.

Production	Bovin lait	Bovin viande
Système	Laitier spécialisé de plaine, herbe-maïs, Bretagne	Naisseur-engraisseur de charolais, Pays de la Loire Semi-intensif
Taille	63 vaches laitières (9000L/VL/an), 76 ha de SAU	70 vaches allaitantes, engraissement de 32 taurillons, 85 ha de SAU
Type d'effluent	Lisier (VL) + fumier (génisses) eaux vertes et blanches	Fumier
Stockage des effluents	Lisier et eaux vertes et blanches : Fosse extérieure non couverte; Fumier : fumière	Fumière

Tableau 2 Caractéristiques des élevages bovins étudiés

1.2. EVALUATION PAR ACV

Le bilan environnemental de chaque scenario a été évalué par Analyse de Cycle de Vie (ACV ; ISO, 2006). Les impacts environnementaux quantifiés sont le changement climatique, l'eutrophisation potentielle, l'acidification potentielle, l'occupation de surfaces et la demande en énergie non renouvelable. Les méthodes de caractérisation des impacts choisies sont CML 2001, RECIPE et CED (v1.8), les plus couramment utilisées dans les ACV de productions agricoles (Wilfart et al. 2016).

Pour aborder les deux fonctions des unités de méthanisation à la ferme retenues (production d'énergie renouvelable, réduction des impacts environnementaux des élevages), deux périmètres ont été définis (Figure 1) et deux types d'unités fonctionnelles utilisées pour exprimer les impacts : par kWh valorisé (somme de l'électricité vendue et de la chaleur utilisée, hors autoconsommation pour le digesteur) et par kg de lait corrigé sur la matière grasse et protéique (FPCM – Fat and Protein Corrected Milk) et/ou kg de poids vif pour la production de viande à la porte de la ferme pour l'activité d'élevage. En élevage laitier, la répartition des impacts entre le lait et la viande est réalisée selon la règle d'allocation biophysique (Koch & Salou, 2016). Pour évaluer la fonction de gestion des effluents, le périmètre prend en compte l'ensemble de l'atelier animal (et ses intrants) et la gestion des déjections par méthanisation. Dans le cas d'utilisation de cosubstrats, seule une part des impacts de la méthanisation est à attribuer aux productions animales. Une allocation des impacts liés au processus de méthanisation est réalisée en fonction du pouvoir méthanogène des intrants.

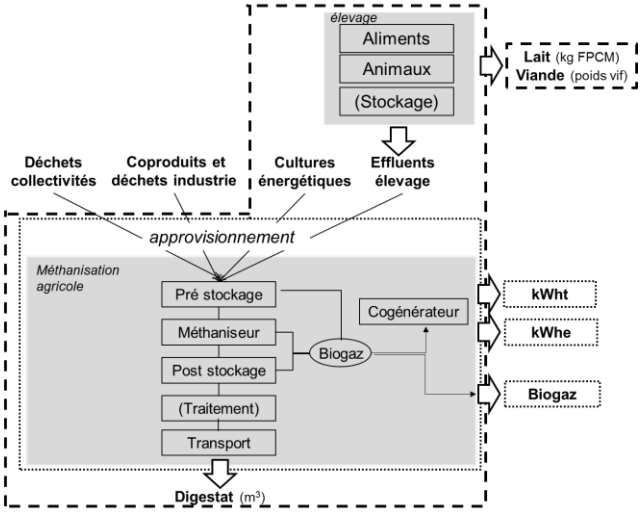


Figure 1 Les deux périmètres considérés et les unités fonctionnelles correspondantes (points : périmètre Méthanisation et production d'énergie ; tirets : périmètre Elevage et production de lait et viande)

2. RESULTATS

2.1. LA METHANISATION POUR PRODUIRE DE L'ENERGIE RENOUVELABLE

La figure 2 présente les impacts ACV des kWh valorisés, produits par les différents scénarios de méthanisation, en comparaison du kWh moyen produit en France (mix énergétique, prenant en compte les différentes sources d'énergie mobilisées, avec la prédominance du nucléaire). Produire 1 kWh par méthanisation agricole mobilise entre 2.5 et 17 fois moins d'énergie fossile que le mix électrique français (dans l'ordre S2, S1, S4, S3). La méthanisation agricole est cependant moins performante sur d'autres enjeux environnementaux, comme la qualité de l'air (proche pour S3 ; 14 fois plus pour S2) et le changement climatique (négligeable pour S3, 10 fois plus pour S2).

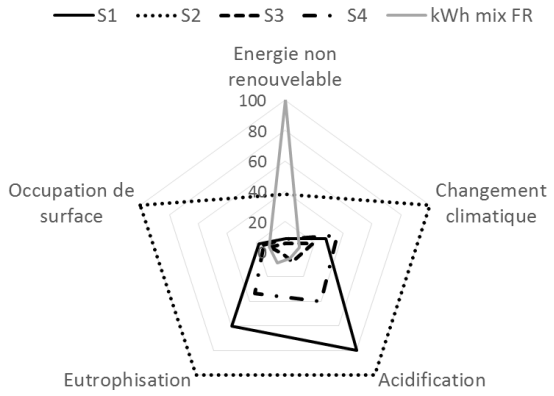


Figure 2 Impacts ACV relatifs des kWh valorisés produits par les différents systèmes de méthanisation en élevage bovin (en % de la valeur maximale pour chaque impact) comparés à la production d'un kWh avec le mix énergétique français

Ceci est lié à l'utilisation de ressources organiques issues des exploitations agricoles, des industries et collectivités. La micro-méthanisation (S1 et S2) se distingue par des performances énergétiques moindres (ration moins méthanogène et rendement moteur plus faible) par rapport aux unités de co-digestion plus grandes (S3 et S4) (systèmes développés depuis plus longtemps et plus optimisés, avec une ration plus énergétique), et par voie de conséquence, des impacts environnementaux plus élevés lorsqu'ils sont rapportés au kWh valorisé.

2.1. LA METHANISATION POUR REDUIRE LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ELEVAGES

Envisager la méthanisation comme une voie de réduction des impacts des élevages et de leurs produits dépend des scénarios (Figures 3 et 4).

La méthanisation permet de maintenir ou de diminuer l'impact sur les consommations d'énergie fossiles pour les scénarios qui valorise la chaleur (pour chauffer les bureaux et l'eau de la salle de traite pour S1). La méthanisation réduit généralement l'empreinte carbone du lait et de la viande (indicateur similaire ou réduit jusqu'à 17%), sauf pour le scenario S4, qui introduit une étape supplémentaire dans la chaine de gestion des déjections (gestion du digestat solide issu de la séparation de phase), induisant des émissions et pour le scénario de micro-méthanisation dont la performance technique est moindre.

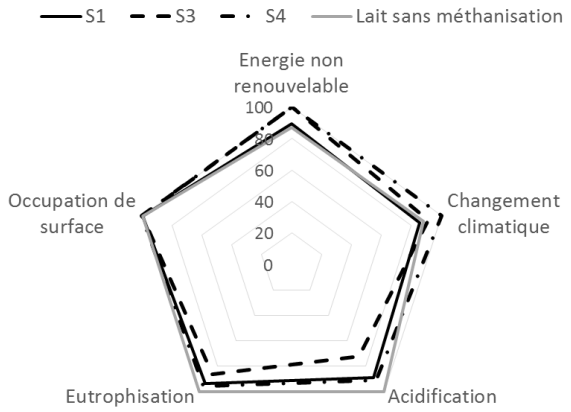


Figure 3 Impacts ACV des kg de lait produits par les élevages laitiers avec et sans méthanisation

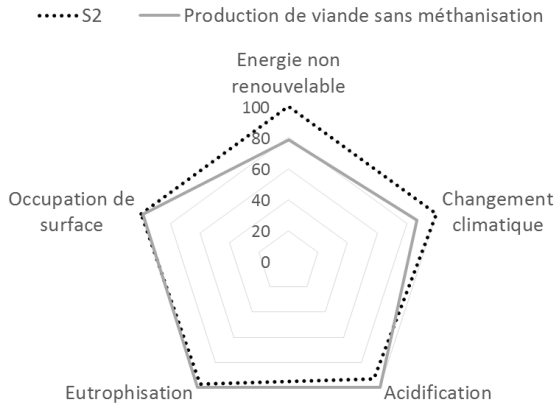


Figure 4 Impacts ACV des kg de viande bovine produits par l'élevage allaitant avec et sans méthanisation

Globalement, la performance environnementale des installations dépend de la qualité de la ration en entrée de méthanisation et des modalités de stockage et de gestion des intrants et des digestats (dont utilisation ou non de couverture). C'est le système S3, pour lequel les étapes de stockage sont courtes ou couvertes, qui présente les impacts les plus faibles, à la fois sur le climat, l'acidification et l'eutrophisation.

3. DISCUSSION

Cette évaluation a été menée dans le cadre du projet CASDAR METERRI qui a également établit des ACV sur des systèmes d'élevage porcins avec méthanisation. Les conclusions sont similaires sur ces unités.

Comme attendu, le choix de l'unité fonctionnelle influence grandement les conclusions, puisque certains scénarios présentent l'impact le plus bas avec une unité fonctionnelle, mais le plus haut avec un autre. Par exemple les unités de 200 kW (S3, S4 en lait et en élevage porcins) présentaient des impacts de changement climatique parmi les plus bas par kWh produit, mais parmi le plus haut par kg de produit animal.

En termes de modèle de méthanisation, la micro-méthanisation (S1, S2) se distingue des installations plus grandes avec des performances énergétiques moindres, et par voie de conséquence, des impacts environnementaux plus élevés lorsqu'ils sont rapportés au kWh valorisé comme aux kg de produits agricoles. Pour ces systèmes, la recherche de la performance énergétique n'est pas centrale ; d'autres intérêts sont recherchés (autonomie en chaleur, intérêt agronomiques, etc.). L'unité d'expression des impacts par kWh valorisé n'est pas suffisante pour analyser tout l'intérêt environnemental de ces systèmes.

Envisager la méthanisation comme une voie de réduction des impacts des élevages dépend des systèmes. En ce qui concerne la consommation d'énergie fossile, la situation est plus favorable avec une unité de méthanisation si l'élevage réutilise une part de la chaleur produite de manière suffisante (chauffage en grange, eau chaude salle de traite). Sinon, la méthanisation introduit une consommation électrique supérieure au niveau de la chaine de gestion des déjections. Sur les autres impacts, les situations sont contrastées : dans certains cas, la méthanisation permet de réduire jusqu'à près de 20% les émissions de gaz à effet de serre, dans d'autres, les impacts acidification ou eutrophisation sont augmentés dans les mêmes proportions. Les scénarios testés ne sont pas des situations optimisées mais se rapprochent de cas réels, tant au niveau des technologies mises en œuvre (rendement moteurs) que sur les rations (pouvoir méthanogène des effluents), sur la valorisation de l'énergie produite (peu de valorisation de chaleur possible en système bovins), ou sur la gestion des intrants et des digestats (durée de stockage, absence de couverture de la fosse stockant le digestat…). Ces résultats mitigés sur l'impact environnemental de la

méthanisation agricole en système bovin illustrent également que la méthanisation est un nouveau métier pour l'agriculteur qui, pour être optimisé, nécessite des investissements importants à la fois de main d'œuvre et économiques, alors que la majorité des élevages ne produit pas des effluents toute l'année (période de pâturage).

Au-delà de ces résultats, des leviers peuvent être mis en évidence pour améliorer la performance environnementale des unités de méthanisation agricole, valables sur l'ensemble des modèles et des impacts environnementaux : équilibre du ratio N/ potentiel méthanogène de la ration, valorisation optimisée de la chaleur, couverture des ouvrages.

D'un point de vue méthodologique, pour ce qui concerne l'évaluation des pertes et émissions gazeuses, peu d'informations sont disponibles dans la bibliographie sur les facteurs d'émissions. Les facteurs mobilisés sont d'origine diverses (calculateur DIGES, recherches bibliographiques) et des approximations ont dû parfois être réalisées, notamment pour les issus de traitement des digestats (assimilés à des digestats). Cela pose des interrogations sur le recouvrement et sur la finesse des facteurs d'émissions. Ainsi, le facteur d'émissions au préstockage (issu de DIGES) est commun à tous les intrants agricoles (lisier, fumier et quelle que soit la composition) or le flux calculé détermine la quantité de carbone disponible en entrée de méthanisation. D'autres interrogations fortes pèsent sur les taux de fuite au niveau du digesteur : ils sont de 1 % à 11%, voire 15 % selon les données de l'Irstea. Un taux de 3% a été retenu par défaut pour toutes les unités évaluées ici. Ce taux a une influence forte sur le bilan environnemental et le rôle de la méthanisation sur la réduction de l'impact environnemental. Une interrogation similaire concerne le taux de perte en torchère (fixé à 2 %). A l'avenir, il serait utile de disposer de mesures plus précises au niveau de digesteurs existants avec un bilan de masse tout au long des étapes d'un système de méthanisation. Un autre point d'amélioration déjà connu est de pouvoir disposer de mesures de potentiels méthanogènes des différents intrants (qui semblent souvent sur-estimés). Ces potentiels méthanogènes ont été utilisés pour réaliser une allocation des impacts, lorsque la méthanisation est envisagée comme une voie de réduction des émissions de GES des déjections. Cependant, ce paramètre est en lien uniquement avec le contenu carboné des co-substrats et les impacts plus directement liés aux émissions azotées, en particulier l'acidification et l'eutrophisation, n'y sont pas corrélés. Une allocation sur des paramètres qui lient davantage les caractéristiques des substrats en entrée et les effets environnementaux, comme le suggère la norme ISO (2006) aurait été souhaitable, mais aucune autre solution n'est apparue comme idéale. Pour conforter nos conclusions, une étude de sensibilité sur les facteurs et hypothèses de calcul les plus susceptibles d'avoir un effet sur les résultats aurait été utile (notamment, une allocation sur le contenu azoté des co-substrats), ainsi que la confrontation avec d'autres études et publications. A ce stade, il n'est pas aisé d'affirmer quels sont les modèles d'unités à privilégier ou les conditions pour maximiser la performance environnementale des unités de méthanisation, car les résultats sont dépendant des caractéristiques des cas étudiés et d'hypothèses de calcul.

CONCLUSION

L'analyse environnementale conduite sur les différents modèles de méthanisation agricoles ont permis d'éclairer leur performance environnementale au regard de deux objectifs distincts : la production d'énergie renouvelable et la réduction des impacts environnementaux des élevages. Cette étude met en évidence l'utilité d'exprimer des impacts selon plusieurs unités fonctionnelles et de considérer plusieurs périmètres, dans le cas d'évaluations de systèmes multifonctionnels. La digestion anaérobie est généralement présentée comme une façon de produire de l'énergie renouvelable, mais pour des systèmes d'élevage, c'est aussi une façon de gérer les effluents et en fin de compte de diminuer l'empreinte carbone des produits animaux. Sur les scénarios étudiés, les installations de 200 kW seraient plus performantes pour le 1er aspect et la micro-méthanisation pour le 2ème. L'application de l'ACV à des unités de méthanisation agricole est encore peu répandue, ce qui laisse ouvertes des perspectives de travaux pour le développement et la consolidation des méthodes.

Les auteurs remercient Lynda Aissani (Irstea) qui a apporté un appui méthodologique sur le choix d'hypothèses pour la réalisation des ACV ainsi que les financeurs et partenaires du projet CASDAR METERRI.

Bacenetti, J., Sala, C., Fusi, A., Fiala, M., 2016. Applied Energy 179, 669-686

Bioteau T., Dabert P., 2009. Cemagref, ADEME.

ISO, 2006. ISO 14044 : 2006. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland

Koch P., Salou T., 2016. Ed ADEME, Angers. 343 p.

Lijo, L., Gonzalez-Garcia, S., Bacenetti, J., Fiala, M., Feijoo, G., Lema, J.M., Moreira, M.T., 2014. Renewable Energy 68, 625-635

Levasseur P., 2017. Compte rendu CASDAR n°5344

Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., 2013. 455 p.

Poeschl, M., Ward, S., Owende, P., 2010. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 14, 1782-1797

Poeschl, M., Ward, S., Owende, P., 2012. J. Cleaner Prod. 24, 168-183.

Sinoe, 2017. www.carto.sinoe.org consulté le 15/4/2017

van Huylenbroeck, G., Vandermeulen, V., Mettepenningen, E., Verspecht, A., 2007. Living Reviews in Landscape Research 3.

Venanzi, S., Pezzolla, D., Cecchini, L., Pauselli, M., Ricci, A., Sordi, A., Torquati, B., Gigliotti, G., 2018. Science of the Total Environment 627, 494-505

Wilfart, A., Tailleur, T., Dauguet, S., 2016. Rapport Ifip. 206 pp.

Le projet CLIMGEN : vers une amélioration de la résilience des animaux d'élevage face aux changements climatiques

POMPANON F. (1), BRUFORD M.W. (2), CLIMGEN CONSORTIUM (3)

(1) Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont-Blanc, CNRS, Laboratoire d'Ecologie Alpine, 3800 Grenoble, France
(2) School of Biosciences, Cardiff University, Cardiff, UK
(3) https://climgen.bios.cf.ac.uk

RESUME
Le projet CLIMGEN associant 7 partenaires européens a développé des outils et approches visant à caractériser l'adaptation des animaux d'élevage (bovins, ovins, caprins, et porcins) à des climats contrastés.
Les principaux produits de ce projet qui sont:
- la mise en place d'une base de données associant données génétiques, géographiques et métadonnées (traits de production, méthode d'élevage, ….), permettant des requêtes permettent sur les resources génétiques associées à des conditions environnementales spécifiques,
- l'identification de régions génomiques impliquées dans l'adaptation de races locales à leur environnement,
- l'identification de bio-marqueurs de stress environnementaux et de marques épigénétiques en lien avec l'acclimatation,
- l'évaluation par simulation de différents scénarios de systèmes d'élevage (impliquant croisements, sélection génomique,...) pour augmenter la valeur adaptative des races.
Ce projet apporte des connaissances et outils dont l'utilisation doit contribuer à augmenter la résilience des élevages au variations climatiques dans un contexte de changement global.

The CLIMGEN project : towards the improvement of livestock resilience to face climate change

POMPANON F. (1), BRUFORD M.W. (2), CLIMGEN CONSORTIUM (3)

(1) Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont-Blanc, CNRS, Laboratoire d'Ecologie Alpine, 3800 Grenoble, France

SUMMARY
Seven European partners participated to CLIMGEN project to develop tools and approaches aiming at characterizing the adaptation of livestock (bovine, ovine, caprine and porcine) to contrasted climates. The major outcomes of the projects were:
- the set-up of a database associating genetic data with metadata on geographic origin, productivity traits, breeding schemes, etc.
- the identification of genomic regions involved in the adaptation of local breeds to the specificity of their environment,
- the identification of stress biomarkers and epigenetic marks associated to acclimation,
- the simulation-based assessment of different management schemes (involving crosses, genomic selection, etc.) to increase the adaptive value of breeds.
This project brings new knowledge and tools that would contribute to increase the resilience of breeds and breeding systems to face climate change.

INTRODUCTION

La façon dont laquelle les ressources agricoles peuvent faire face au changement climatique sans intervention directe est difficile à prédire (Thornton *et al.* 2009), et le rôle que peut jouer la diversité génétique pour minimiser l'impact de ces changements sur les animaux d'élevage est encore débattu (Vermeulen *et al.* 2012). Cependant, l'influence du changement climatique sur le secteur de l'élevage est maintenant admis, de même que la nécessité de compter à terme moins sur les produits vétérinaires et d'avantage sur la capacité des animaux afin de faire face aux stress environnementaux (O'Neill *et al.* 2010). Le maintien de systèmes d'élevages résilients passe ainsi par le développement de nouvelles stratégies se basant sur les propriétés intrinsèques des individus et populations, dans un contexte où les races spécialisées peuvent devenir vulnérables et où les techniques d'élevages sont complexes (Hoffmann 2010). Les stratégies d'élevage traditionnelles pour l'adaptation à l'environnement seront trop lentes pour suivre les changements du climat (Franks et Hoffmann 2012.) et elles ne prennent généralement pas assez en compte la diversité génétique , alors qu'elle peut contribuer à une adaptation rapide à des environnements stressants (eg Hayes *et al.* 2009, Frésard *et al.* 2013). Les technologies 'omiques constituent dans ce contexte des outils à haut potentiel pour assister les stratégies d'élevage (Hayes *et al.* 2013). Le projet Climgen (financement européen FACCE ERA-NET Plus) est une première étape contribuant au développement de tels outils, via des approches expérimentales et de modélisation.

1. ORGANISATION ET OBJECTIFS DE CLIMGEN

1.1. ORGANISATION DU PROJET

Le projet était organisé en 7 *Work Packages* (WP)

WP1 : coordination
WP2 : Analyse des cas d'étude et synthèse. L'objectif était de recenser les cas d'étude porcins, bovins, caprins et ovins et déjà disponibles à l'échelle internationale et pouvant être analysés dans le cadre du projet.
WP3 : Biomarqueurs de la réponse au stress. Il s'agissait d'étudier la réponse épigénétique de plusieurs espèces d'élevage à des stress environnementaux.
WP4 : Base de données et pipeline d'analyse. L'objectif était le développement de la base de données permettant l'analyse intégrée des données produites et collectées lors du projet.
WP5 : Analyse de donnée Intégrée. Ce WP regroupe l'ensemble des analyses comparatives effectuées (et encore en cours) afin de révéler les associations entre variabilité génomique/épigénomique et variations des paramètres environnementaux.

WP6 : Développement de stratégies d'élevage. Il s'agit ici de comparer, sur la base de simulations, l'efficacité de différentes stratégies d'élevage prenant en compte la diversité génétique des populations afin de faire face à des changements environnementaux.
WP7 : Dissémination. Un point important du projet était de partager les questionnements et résultats des études menées avec des parties-prenantes, en particulier lors de colloques communs.

1.2. PRINCIPAUX OBJECTIFS

Les principaux objectifs étaient :

(i) la mise en place d'une base de données permettant d'identifier des resources génétiques associées à des conditions environnementales spécifiques chez les poricins, bovins, caprins et ovins,

(ii) l'identification de régions génomiques impliquées dans l'adaptation de races locales à leur environnement,

(iii) l'identification de bio-marqueurs de stress environnementaux et de marques épigénétiques en lien avec l'acclimatation,

(iv) l'évaluation par simulation de différents scénarios de systèmes d'élevage pour augmenter la valeur adaptative des races.

Les principales informations liées au projet peuvent être retrouvées sur son site web (https://climgen.bios.cf.ac.uk).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. BASE DE DONNÉES

La base de donnée est destinée à être publique à court terme (http://bioinformatics.tecnoparco.org/climgen), et compile des données génomiques, géographiques et métadonnées (selon disponibilité : traits de production, méthode d'élevage, ….), sur laquelle des requêtes permettent d'identifier des resources génétiques disponibles associées à des conditions environnementales spécifiques. Cette base qui reprend également les données antérieures au projet devra continuer d'être alimentée dans le futur. Il faut noter que le grande majorité des données génétiques déjà disponibles (par exemple dans la base de donnée de la FAO DAD-IS) ne sont pas liées à des informations climatiques, phénotypiques ou de géo-localisation. Ainsi moins de 10% des données disponibles pouvaient être utilisées pour des analyses génome/environnement. De plus les formats de données sont hétérogènes et la réalisation de cette base de données a nécessité un gros travail d'homogénéisation ; un logiciel a été développé en ce sens (Marras *et al.* 2016, https://github.com/bioinformatics-ptp/Zanardi/). Un travail a également été effectué pour définir les métadonnées environnementales et phénotypiques qui auraient un intérêt à être collectées systématiquement dans les études futures, afin d'en renforcer l'intérêt par exemple en permettant le regroupement de données diversifiées dans des méta-analyses.

2.2. RÉGIONS GENOMIQUES IMPLIQUÉES DANS L'ADAPTATION LOCALE

La recherche de signatures de sélection liées à des variations environnementales a permis d'identifier des régions génomiques et gènes impliqués dans des adaptations locales. Par exemple un nouveau gène associé à un phénotype poil lisse (*Glial cell derived neurotrophic factor*, GDFN) a été identifié en lien avec l'adaptation au climat chaud et humide chez différents races bovines (races Senepol et Romosinuano). De nombreuses autres analyses sont en cours et on peut d'ores et déjà remarquer des parallèles entre d'autres cas d'étude. Des gènes impliqués dans le cancer de la peau et la régulation de la composition en acide gras en lien avec la température ont été retrouvés dans des races bovines espagnoles et caprines roumaines.

2.3. BIOMARQUEURS DE STRESS

L'étude de situations naturelles (comparaison de population ovines et caprines issues de climats à température contrastées au Maroc) et expérimentales (analyse de porcins soumis à des stress thermiques) a permis de mettre en évidence des régions génomiques à ADN différentiellement méthylées. On identifie par exemple chez la chèvre le gène PASK (*PAS Domain Containing Serine/Threonine Kinase*) connu pour jouer un rôle dans le métabolisme énergétique en lien avec des stress environnementaux. En parallèle, différentes analyses transcriptomiques (chez les porcins et les perdrix) ont également permis d'identifier des gènes impliqués dans la réaction à des variations environnementales. Globalement ces études confirment l'importance de prendre en compte les mécanismes épigénétiques lors de l'étude de la réaction à différents stress dont ils fournissent des biomarqueurs.

2.4. SCÉNARIOS DE SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

Le logiciel QMSim a permis de simuler des programmes d'élevage impliquant des races localement adaptées et des races commerciales. Les scénarios incluaient la sélection de traits de résistance, l'addition d'un nouveau set de traits et de l'introgression adaptative. Dans les conditions de l'étude, le scenario le plus efficace est basé sur l'introgression adaptative de lignées localement adaptées dans des lignées productives car elle permet la sélection d'allèles d'intérêt pour la fitness tout en maintenant un haut niveau de productivité.

CONCLUSION

Alors que de nombreuses analyses sont encore en cours, le projet dans ses différentes dimensions montre d'ores et déjà comment plusieurs types de données -omiques peuvent être utilisés en tant que marqueurs de la réaction aux stress environnementaux et de l'adaptation locale. Par ailleurs, les simulations de systèmes d'élevage ont donné des résultats assez intuitifs valorisant l'introgression adaptative à partir de races locales pour favoriser des allèles localement adapté tout en conservant un bon niveau de productivité.
Ce projet fait également ressortir l'intérêt de développer des bases de données génomiques intégrant un ensemble de métadonnées (environnementales, phénotypiques, en lien avec le système d'élevage) qui doit permettre à terme la compilation des projets réalisés au niveau international dans des méta-analyses pour un étude plus globale des relations génome/environnement. Les procédures développées dans le cadre de CLIMGEN, en lien avec la collecte, la compilation et l'homogénéisation de ces données peuvent servir de guide à de telles études dans le futur.

Les partenaires du projet CLIMGEN sont : Michael Bruford (coordinateur), Cardiff University, Royaume Uni; Licia Colli, Università Cattolica del Sacro Cuore, Italie ; Alessandra Stella, Fondazione Parco Tecnologico Padano, Italie ; Francois Pompanon, Universite Joseph Fourier, France ; Agustin Vlaic, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj-Napoca, Roumaniae; Javier Cañon, Universidad Complutense de Madrid, Espane; Juha Kantanen, MTT Agrifood Research Finland, Finlande
Financement : FACCE ERA-NET Plus project CLIMGEN (grant ANR-14-JFAC-0002-01)

Franks, S.J., Hoffmann, A.A. 2012. Ann. Rev. Genet., 46, 185–208
Frésard, L., Morisson, M., Brun, J.-M., Collin, A., Pain, B., Minvielle, F., Pitel, F. 2013. Genet. Sel. Evol., 45, 16
Hayes, B.J., Bowman, P.J., Chamberlain, A.J., Savin, K., van Tassell, C.P., Sonstegard, T.S., Goddard, M.E. 2009. PLOS ONE, 4, 8
Hayes, B.J., Lewin, H.A., Goddard, M.E. 2013. Trends Genet., 29, 206-214
Hoffmann, I. 2010. Anim. Genet., 41, 32–46.

Marras, G., Rossoni, A., Schwarzenbacher, H., Biffani, S., Biscarini, F., Nicolazzi, E.L. 2016. Anim. Genet., https://doi.org/10.1111/age.12485
O'Neill, C.J., Swain, D.L., Kadarmideen, H.N., 2010. Evol. Appl., 3, 5-6
Thornton, P., van de Steeg, J., Notenbaert, A., Herrero, M. 2009. Agric. Syst., 101, 113 – 127
Vermeulen, S.J., Campbell, B.M., Ingram, J.S.I. 2012. Ann. Rev. Environ. Res., 37, 195–222

Effet du mode de pâturage des parcours de la ferme de Carmejane sur la végétation et l'état corporel des brebis

GRISOT P.G. (1), LUCAZ M. (1), FOUILLOUX M.N. (2), DEMARQUET F. (3)
(1) Institut de l'Elevage, 570 avenue de la Libération, 04100 MANOSQUE
(2) Institut de l'Elevage, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 7
(3) EPLEFPA Digne – Carmejane, 04510 LE CHAFFAUT ST JURSON

RESUME
Au cours d'une période de 20 ans, deux modes de gestion du pâturage des parcours ont été testés sur la ferme expérimentale de Carmejane. Pendant dix ans, un pâturage complet de l'herbe a été réalisé dans le but de maitriser l'embroussaillement, puis sur les dix années suivantes, un pâturage qualifié de prudent a été pratiqué, centré sur la satisfaction des besoins des brebis et le renouvellement de la ressource pastorale. Ces deux modes de pâturage ont été évalués au travers du suivi des différentes strates de végétation, de l'évolution de la valorisation des parcs et de l'état corporel des animaux. Le pâturage complet s'est montré efficace pour maîtriser la strate arbustive, mais au détriment du renouvellement de l'herbe, conduisant à une perte de ressource et à des états animaux non satisfaisants. Lors du pâturage prudent, une régénération de la ressource pastorale a été observée avec de meilleurs états corporels sur les brebis et une valorisation plus stable des parcs.

Effects of the rangeland grazing management on Carmejane farm on the vegetation and the body condition score of the ewes

GRISOT P.G. (1), LUCAZ M. (1), FOUILLOUX M.N. (2), DEMARQUET F. (3)
(1) Institut de l'Elevage, 570 avenue de la Libération, 04100 MANOSQUE

SUMMARY
During 20 years, 2 different rangeland using management mode have been tested on Carmejane experimental farm. During the first ten years, a total grazing of grass has been adopted in order to control brush, then the following ten years, a rough grazing qualified as carefully has been adopted, centered on satisfying the ewes need and the pastoral resource renewal. Those 2 modes have been assessed by following up the different vegetation layers, the rangeland level of exploitation evolution and the body condition score of the ewes. The total grazing succeeded in controlling shrub layer but at the expense of the grass layer, resulting in a resource loosing and in a non-satisfying body condition score. During the careful grazing, a regeneration of pastoral resource has been observed with better body condition scores and a steadier rangeland level of exploitation.

INTRODUCTION

Dans le Sud-Est de la France, l'autonomie alimentaire des systèmes d'élevage ovin viande repose souvent sur la complémentarité entre les prairies cultivées et les surfaces pastorales, parmi lesquelles figurent les parcours, espaces naturels situés à proximité des exploitations, qui contribuent en moyenne à 40 % des besoins du troupeau. La durabilité des systèmes pastoraux, leurs performances de production annuelles et pluriannuelles dépendent ainsi en partie, de l'abondance et de la qualité de la ressource alimentaire pâturée sur parcours.
La problématique globale de l'étude est de comprendre dans quelle mesure les modalités de gestion du pâturage des parcours de la ferme ont impacté la ressource pastorale. Elle s'attache à faire la synthèse des résultats acquis sur la dynamique de la ressource pastorale à travers trois campagnes de suivi du recouvrement de la végétation, espacées sur une période de vingt ans : 1996, 2006 et 2016.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. MODALITES D'UTILISATION DES PARCOURS

L'objectif de l'expérimentation menée sur les parcours est de comparer deux modes de pâturage d'intensité différente.

Le pâturage dans les parcours de Carmejane s'effectue en parcs clôturés. Chaque parc est affecté à une saison d'utilisation majoritaire, pour une unique utilisation annuelle. Les règles de pilotage du pâturage sont basées sur l'obtention de l'état de la végétation lors de la sortie des animaux, dans un secteur bien précis : le secteur-pilote. Le secteur pilote correspond à une zone de pâturage homogène dont la végétation est caractéristique de la ressource du parc que l'on cherche à valoriser (Demarquet et al., 2007). La sortie des animaux est décidée sur l'observation de critères précis en fonction des objectifs fixés. Entre 1996 et 2006, un pâturage complet de l'herbe a été expérimenté. Le critère de sortie de parc du pâturage complet est un prélèvement de l'herbe à un taux de 90% (raclage) dans le secteur-pilote. Entre 2007 et 2016, les critères de sortie de parc ont été modifiés en raison d'un passage à un pâturage plus « prudent ». La décision de sortie des animaux s'effectue désormais sur des hauteurs de deux herbacées dominantes, l'aphyllante de Montpellier et le brachypode penné. La détermination de ces hauteurs d'herbe restante résulte de suivis réalisés en 2007, sur des parcs utilisés à différentes saisons, basés sur l'évaluation du format de la végétation pâturée par les brebis, afin de permettre un meilleur comportement d'ingestion (Agreil 2004). Un niveau de prélèvement du genêt cendré est également observé (tableau 1).

Tableau 1 : Critères de sortie de parc sur les herbacées et les arbustes en pâturage prudent

Brachypode penné		Aphyllante de Montpellier		Genêt cendré
Haut de parc	Milieu de parc	Haut de parc	Milieu de parc	
10 cm	15 cm	6cm	12 cm	Niveau de prélèvement < 1/3 du recouvrement
25% refus	50% refus	15% refus	30% refus	

L'enregistrement du chargement instantané et du nombre de jours de pâturage nous permet de calculer le niveau de valorisation d'un parc, se traduisant par le nombre de journées de pâturage d'une brebis par hectare et par an (jb/ha/an). Sur Carmejane, le niveau de chargement instantané est resté globalement stable sur les 20 ans de suivis, la conduite des parcours consistait à faire varier la durée de présence du lot dans le parc.

1.2. SUIVI DE LA VEGETATION

Le suivi de la végétation a été réalisé dans 8 parcs représentant environ le tiers de la surface pastorale de Carmejane et représentatifs de l'ensemble des parcours de l'exploitation. L'unité de relevé est le faciès, un secteur homogène d'un point de vue de la végétation et du relief. Chaque parc est divisé en un certain nombre de faciès (variable en fonction de la taille du parc). Au total, 90 faciès ont été inventoriés dans des milieux différents (37% de bois de feuillus, 35% de landes et 28% de résineux). La végétation d'un faciès est fractionnée en trois strates : herbacée, arbustive basse ou très accessible (majorité de feuilles à une hauteur inférieure à 80 cm, très accessibles pour le pâturage par les brebis) ; strate arbustive haute ou peu accessibles (hauteur comprise entre 80 cm et 2 m, peu accessible pour le prélèvement par les brebis).

Les données recueillies sont le recouvrement moyen de la strate, sa composition spécifique et le recouvrement de chaque espèce estimé selon l'échelle suivante : 0 : absente ; r : rare ; + : recouvrement inférieur à 5% ; classes de recouvrement : 5% – 10% – 15% …

Le recouvrement de l'espèce est une estimation, pour les ligneux, de la surface des feuilles en projection au sol ; et de la plante entière pour les herbacées. Pour la strate herbacée, les groupes botaniques étudiés ne correspondent pas exactement à la typologie employée par les botanistes. Il s'agit de groupes « fonctionnels » qui ont du sens d'un point de vue pastoral. On distingue ainsi les grandes graminées (brachypode penné, brome érigé), les petites graminées (fétuque ovine, carex divers), l'aphyllante de Montpellier (qui, au vu de sa dominance, est considérée comme un groupe), les légumineuses (lotier, coronille, astragale, sainfoin…) et les diverses (regroupant des espèces de toutes familles). Trois inventaires au cours des deux dernières décennies ont été réalisés : une caractérisation initiale des faciès de végétation en 1996 ; une campagne de relevés de clôture de dix années de pâturage complet en 2006 ; une campagne de clôture de dix années de pâturage prudent en 2015/2016.

1.3. SUIVI DE L'ETAT CORPOREL DES BREBIS

L'appréciation des réserves corporelles des brebis se fait par la méthode de palpation dans la zone lombaire. Une grille de notation propose l'attribution de Notes d'Etat Corporel (NEC) allant de 0 à 5, avec une précision au quart de point. A Carmejane, les deux troupeaux sont notés au début et à la fin de chaque stade physiologique. Seules les séquences physiologiques correspondant à des périodes de pâturage sur parcours et de plus d'1 mois ont été étudiées : des périodes où les brebis sont « à l'entretien » et ont de faibles besoins. Ainsi, pour le troupeau T1 (agnelage de fin d'hiver), nous nous sommes intéressés à la séquence de début de gestation (1,5 mois) qui a lieu en automne. La NEC de « Fin de Lutte » constitue la borne de début de séquence, et la NEC « 6-8 semaines avant la mise-bas » constitue la borne de fin. Pour le troupeau T2, nous nous sommes intéressés à la phase d'entretien (suite au sevrage des agneaux) sur parcours d'hiver (2,5 mois). Pour cette dernière phase, les bornes de la séquence pastorale sont la NEC réalisée au sevrage (année n-1) et la NEC de Début de Lutte (année n).

Les brebis sont identifiées individuellement, et différenciées par classe d'âge[1] : les jeunes brebis (< 2 ans), les adultes (3-6 ans), les vieilles brebis (7 ans ou plus). Seules les brebis ayant eu une performance de mise-bas ont été prises en compte dans l'étude. 15 années de suivi de la NEC ont été étudiés pour cette étude : de 2001 à 2015. Au total, la base de données est constituée de 6694 individus années.

1.4. ANALYSE DES DONNEES

Le niveau de valorisation des parcs n'a fait l'objet que d'une analyse descriptive.

Pour le suivi de la végétation, une analyse descriptive approfondie a été réalisée puis une analyse statistique suivant la méthode des modèles linéaires à effets mixtes (package nlme du logiciel R) a été réalisée pour analyser la relation entre le recouvrement de végétation par strate, et la conduite du pâturage matérialisée par les trois campagnes de relevés. Dans le modèle, plusieurs facteurs à effets fixes ont été testés. Le facteur étudié est la conduite du pâturage (état initial : 1996, pâturage complet : 2006, pâturage prudent : 2016). Les facteurs contrôlés sont le type de milieu (boisement de résineux, de feuillus, landes), la position du faciès dans le parc (haut, milieu, bas), la saison d'utilisation du parc (hiver, printemps/été/automne). Deux facteurs à effets aléatoires « nichés » ont été testés pour tenir compte de la variabilité inter-parc et inter-faciès (le faciès étant niché dans un parc). Un premier modèle complet a été réalisé avec tous les effets fixes. La sélection du modèle s'est opérée à travers le critère d'information d'Akaike (AIC) qui a permis d'éliminer les facteurs non significatifs. Le modèle retenu (un par variable-réponse) est par conséquent un modèle simplifié qui ne prend en compte que les effets et les interactions de facteurs significatifs au seuil alpha de 5%.

Pour l'évolution de l'état corporel des animaux, une analyse descriptive approfondie a été réalisée à partir de représentations graphiques et de calcul de fréquences. L'analyse statistique a porté sur la variable-réponse « variation de NEC » : différence entre la borne de début et de fin de séquence sur parcours. Le logiciel R et le package lme4 ont permis d'utiliser la méthode des modèles linéaires à effets mixtes pour analyser la relation entre la variation de NEC, et la conduite du pâturage matérialisée par deux modalités (pâturage complet, pâturage prudent) qui regroupent respectivement les années 2001 à 2006 et les années 2007 à 2015. Dans le modèle, plusieurs facteurs à effets fixes ont été testés. Le facteur étudié est la conduite du pâturage. Les effets contrôlés sont : le troupeau x stade physiologique x saison (T1 gestation d'automne, T2 gestation de fin de printemps, T2 entretien d'hiver), la classe d'âge (brebis jeune, adulte, vieille), la NEC de début de séquence (covariable). Des effets aléatoires croisés ont été testés pour tenir compte de la variabilité interindividuelle (identifiant brebis) et interannuelle (année).

2. RESULTATS

2.1. SUIVI DE VEGETATION

2.1.1. Strate herbacée

Le recouvrement herbacé varie significativement en fonction de l'année étudiée. Il a diminué après dix ans de pâturage complet (de 32 ± 13% à 21 ± 8%) et augmenté après le pâturage prudent (de 21 ± 8% à 39 ± 12%) pour retrouver un recouvrement équivalent à son état initial.

[1] L'âge de l'année considérée est calculé à partir de la date de la mise-bas

Tableau 2 : niveau de recouvrement herbacé par type de milieu

	1996	2006	2016
Tous milieux	32% [a]	21% [b]	39% [a]
Bois feuillus	29% [a]	23% [b]	41% [c]
Bois résineux	39% [a]	13% [b]	23% [c]
Landes	32% [a]	24% [b]	48% [c]

Un test de Student a mis en évidence les interactions significatives (p<0,05) entre le mode de pâturage et les trois milieux présents dans les parcs étudiés : les landes, les bois de chênes, les reboisements de pins noirs. Dans les landes et les bois de feuillus, le pâturage complet a légèrement diminué le recouvrement herbacé (cf. tableau 2). Dans les plantations de résineux, une baisse de recouvrement très significative est observée (de 39 ± 20% à 13 ± 7%). Après dix ans de pâturage prudent, une reprise du développement herbacé est observée dans les trois types de milieux. Les landes, les bois de feuillus et de résineux gagnent respectivement 16, 18 et 10 points de recouvrement par rapport à 2006. Le bilan après vingt ans est très positif pour les landes (+ 16 points entre 1996 et 2016) et les bois de feuillus (+12 points). Dans les plantations de résineux, le recouvrement de la strate en 2016 reste bien inférieur au recouvrement initial (- 16 points).

Si l'on s'intéresse à l'évolution du recouvrement des différents groupes d'espèces qui composent la strate herbacée, les grandes graminées semblent avoir été plus affectées par le pâturage complet que les autres groupes. Avec une réduction de l'intensité de pâturage (période 2006-2016), tous les groupes voient leur recouvrement augmenter, particulièrement l'aphyllante qui connait une forte dynamique non seulement en utilisation hivernale mais aussi dans les parcs pâturés aux autres saisons (tableau 3).

Tableau 3 : niveau de recouvrement par groupe d'herbacées

	1996	2006	2016
Grandes Graminées	16%	8%	12%
Petites graminées	8%	6%	8%
Aphyllante	5%	6%	14%
Légumineuses	1%	1%	3%
Diverses	2%	1%	2%

2.1.2. Strate arbustive

2.1.2.1 Evolution de la strate arbustive très accessible

Au cours de la première période de pâturage complet, le recouvrement arbustif bas diminue en hiver, à cause de la disparition du genêt cendré et connait un développement aux autres saisons, grâce aux arbustes à feuilles caduques. En pâturage prudent, cette strate arbustive basse se développe, y compris en hiver (tableau 4), cependant le recouvrement du genêt cendré, principal arbuste pâturé à cette saison reste bas et stable (5%).

Tableau 4 : niveau de recouvrement arbustif très accessible par saison d'utilisation

	1996	2006	2016
Toutes saisons	13%	14%	23%
Hiver	28%	19%	26%
Printemps été automne	5%	12%	23%

2.1.2.2. Evolution de la strate arbustive peu accessible

Le recouvrement arbustif peu accessible varie significativement en fonction du mode de pâturage. Après dix ans de pâturage complet, la strate a beaucoup régressé (de 29 ± 13% à 19 ± 9%). Au contraire, le pâturage prudent a favorisé une reprise à la hausse en 2016 (24 ± 11%). Cette hausse observée en 2016 ne permet pas pour autant de retrouver le recouvrement initial. Le test de Student réalisé a permis de mettre en évidence des interactions significatives (p<0,05) entre le mode de pâturage et la saison d'utilisation des parcs. Après dix ans de pâturage complet, le recouvrement de la strate ligneuse haute a baissé significativement, ce quelle que soit la saison d'utilisation du parc. Plus précisément, cette diminution est attribuable aux espèces comestibles (cf. tableau 5). La broussaille non comestible est restée stable sur les vingt ans d'études et ce dans tous les parcs. Après dix ans de pâturage prudent, le recouvrement augmente de manière très significative dans les parcs de fin de printemps / été / automne. Par contre, il reste équivalent à son niveau de 2006 dans les parcs d'hiver.

Tableau 5 : niveau de recouvrement arbustif peu accessible par saison d'utilisation

	1996	2006	2016
Toutes saisons	29% [a]	19% [b]	24% [c]
Hiver	33% [a]	25% [b]	24% [ab]
Printemps été automne	27% [a]	16% [b]	24% [a]

2.2. EVOLUTION DE L'ETAT CORPOREL

Pour chacune des trois séquences d'utilisation de parcours étudiées, le pâturage complet réduit la perte ou conduit à une reprise d'état. Les résultats ne sont significatifs que pour la période d'entretien en hiver pour le troupeau 2 (tableau 6).

Tableau 6 : variation moyenne d'état corporel au cours des différentes séquences d'utilisation de parcours

	Complet	prudent
T1 gestation	-0.16±0.13 [a]	-0.12±0.09[a]
T2 gestation	-0.18±0.12[a]	-0.13±0.05[a]
T2 entretien	0.04±0.19 [a]	0.27±0.14[b]

Pour les différentes séquences, et de façon plus marquée pour la période d'entretien sur parcours en hiver, la proportion d'individus qui mobilise de l'état corporel est nettement plus faible en pâturage prudent. Les brebis jeunes sont celles qui bénéficient le plus d'une réduction de l'intensité de pâturage (tableau 7).

Tableau 7 : proportion de brebis qui mobilise de l'état corporel au cours des différentes séquences, par classe d'âge

		Jeunes	Adultes	Vieilles
T1 gestation	Pât. complet	53%	52%	54%
	Pât. prudent	48%	45%	48%
T2 gestation	Pât .complet	61%	52%	49%
	Pât. prudent	51%	48%	51%
T2 entretien	Pât. complet	31%	31%	26%
	Pât. prudent	7%	13%	13%

2.3. NIVEAU DE VALORISATION DES PARCS

Le niveau de valorisation moyen des parcs a globalement baissé entre 1996 et 2006. La pente est particulièrement forte entre 1997 et 2001, puis entre 2002 et 2006. Par la suite, le niveau se stabilise (cf. figure 1). En cette fin de deuxième période, le niveau semble se stabiliser autour de 130 jb/ha/an. La moyenne de valorisation est respectivement de 193 ± 61 jb/ha/an sur la décennie de pâturage complet, contre 125 ± 49 jb/ha/an sur la décennie de pâturage prudent.

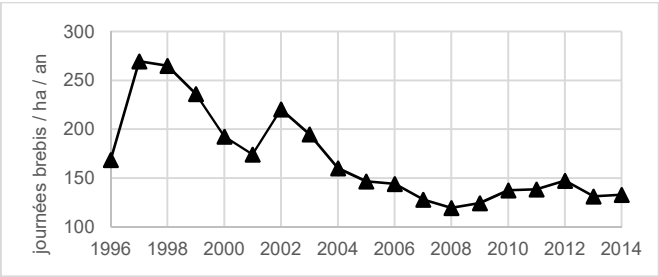


Figure 1 : Niveau de valorisation moyen des parcs entre 1996 et 2014

3. DISCUSSION

Impact du pâturage sur l'évolution de la strate herbacée

Après 10 ans de pâturage complet, la ressource herbacée a diminué de façon significative. La baisse du recouvrement est marquée dans les milieux boisés, plus particulièrement dans les bois de résineux. L'hypothèse de la fermeture des houppiers (recouvrement arboré) sur la régression de la ressource herbacée n'a pas été mise en évidence par l'analyse statistique. La diminution du recouvrement herbacé dans ces milieux boisés suggère plutôt une inhibition du développement des espèces majoritaires (grandes graminées) avec le mode de pâturage pratiqué.

En 10 ans de pâturage prudent, la reprise du développement herbacé est notable dans tous les milieux, avec une dynamique plus faible dans les bois de résineux. Tous les groupes d'herbacées voient leur recouvrement progresser : grandes graminées, petites graminées, mais c'est surtout l'aphyllante de Montpellier qui évolue fortement (+11 points dans les landes et bois de feuillus, + 3 points dans les bois de résineux). Pour autant, on ne constate aucune dérive de végétation ; les espèces agressives (brachypode, brôme) n'ont pas colonisé les milieux, pas plus que les plantes diverses. Les évolutions du recouvrement herbacé et de sa composition au cours des deux séquences contrastées de gestion du pâturage des parcours montre la plasticité des espèces herbacées présentes (inhibition du développement sous une pression sévère, redéveloppement sous une pression modérée), et souligne que l'intensité du prélèvement peut affecter le renouvellement de la ressource. Le pâturage complet n'apparait pas adapté à la strate herbacée des milieux étudiés et à leurs caractéristiques pédoclimatiques.

Evolution de la strate arbustive basse

En pâturage complet, les résultats montrent deux tendances : une diminution du recouvrement pour les utilisations hivernales et une progression dans les parcs pâturés aux autres saisons. La composition de cette strate arbustive accessible explique ces résultats : le genêt cendré représente 30 à 40 % du recouvrement dans les milieux de landes et de bois de feuillus et 75% dans les bois de résineux. La diminution du recouvrement arbustif bas, en hiver, s'explique donc par l'évolution du genêt cendré qui est la seule espèce à feuilles persistantes présente en hiver et sensible à un pâturage trop prononcé. Aux autres saisons, la présence d'autres arbustes à feuilles caduques, diversifie la part ligneuse du régime des brebis, réduit le niveau de prélèvement et permet le développement de la strate arbustive basse.

La réduction de l'intensité du pâturage avec le pâturage prudent bénéficie aux arbustes bas quelle que soit la saison d'utilisation. Cependant le genêt cendré ne se redéveloppe pas. Cette espèce régresse quand les prélèvements dépassent 30% de la pousse de l'année et lorsque cette intensité de pâturage est répétée plusieurs années consécutives. Le pâturage complet a probablement trop fortement impacté les capacités de régénération des genêts en place.

Strate arbustive haute

Son recouvrement diminue plus fortement au cours de la période de pâturage complet que la strate arbustive basse. Cette tendance est surprenante car la fourchette de hauteur du phytovolume devrait la rendre moins accessible aux brebis. La flexibilité de certaines espèces explique cependant une partie des prélèvements sur cette strate. La période de pâturage prudent voit le redéveloppement du recouvrement de la strate arbustive haute, hormis en hiver ou le lien avec l'importance du genêt cendré peut à nouveau être fait.

Pour la strate arbustive basse comme pour la strate arbustive haute, le redéveloppement constaté avec un pâturage prudent ne peut pas être considéré, compte tenu des niveaux de recouvrement atteints au bout de dix ans, comme une tendance nette à l'embroussaillement des parcours.

Niveaux de valorisation

Les évolutions observées du recouvrement de la strate herbacée et des arbustes au cours de la période de pâturage complet se traduisent sur le niveau de valorisation des parcs.

En effet, les critères de sortie de parc (fin de pâturage) étant resté inchangés durant toute cette période, le nombre de journées de pâturage par hectare est directement en lien avec la pousse annuelle résultant de la végétation en place. Au cours de la période de pâturage prudent, les critères de sortie de parc ont été définis pour favoriser le renouvellement de la ressource et mieux maintenir les états corporels au travers de l'équilibre du comportement d'ingestion des brebis : la valorisation annuelle est plus basse mais moins fluctuante. Le nombre de journées de pâturage par hectare n'est plus directement le reflet de la ressource annuelle disponible, permise essentiellement par les conditions climatiques printanières.

Etats corporels

Les séquences pastorales au cours desquelles l'évolution des états corporels a été mesurée, sont de durées inégales et se déroulent à des saisons différentes. La séquence de gestation sur parcours d'automne pour T1 dure en moyenne 45 jours ; la séquence T2 en gestion sur parcours en fin de printemps est d'environ 35 jours ; l'entretien sur parcours d'hiver de T2 est plus longue avec une durée moyenne 80 jours. L'effet de la saison de pâturage peut influencer les états corporels d'une part, au travers des températures et des intempéries propres à chacune des périodes, mais surtout par la qualité du report sur pied utilisé au pâturage qui dépend de l'intervalle de temps entre la pousse de printemps et la période d'utilisation. La difficulté de maintenir les états corporels des brebis lors des séquences de pâturage sur parcours en automne et en hiver a été l'un des éléments de motivation pour passer d'un pâturage complet vers un pâturage prudent.

Aucune amélioration significative n'est observée entre les deux modes de pâturage pour les brebis en début de gestation. Par contre, pour la séquence la plus longue et la plus exposée aux contraintes climatiques, l'entretien des brebis en hiver, le pâturage prudent améliore significativement les états corporels. La proportion d'individus qui présente une dynamique de maintien ou de reconstitution de leurs réserves évolue positivement pour toutes les classes d'âge : +24 point pour les jeunes, +18 points pour les adultes et +13 points pour les vieilles. Le pâturage prudent et les critères retenus pour son application semblent donc permettre, au vu des résultats, un meilleur équilibre du comportement d'ingestion des brebis.

CONCLUSION

Le pâturage complet a montré son efficacité pour contenir et même faire régresser la strate arbustive, mais sans assurer le renouvellement de l'herbe. Ainsi, ce mode de gestion a conduit, année après année, à une perte de ressource pâturable avec une mobilisation d'état corporel des animaux lors des séquences pastorales. La mise en place d'un pâturage prudent, avec un allègement de l'intensité de prélèvement visant à mieux garantir l'équilibre du comportement d'ingestion des brebis jusqu'à la fin du pâturage, a permis le redéveloppement des différentes strates végétales, sans dérives de végétation, ainsi que de meilleurs états animaux. Par rapport au pâturage complet, ce mode de gestion de parcours nécessite davantage de surfaces mais répond mieux à la conduite d'un troupeau pastoral et productif, en étant certainement plus robuste face aux aléas climatiques.

Demarquet et al, 2007. Renc Rech Rum 14, p192.
Agreil et al, 2004. Fourrages, 180, p467-481

Un AMI (Anti-Méthanogène Indice) qui veut du bien à votre prairie

MACHEBOEUF D. (1), CORNU A. (1), KERROS S. (2), RECOQUILLAY F. (2)
(1) Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France
(2) Phytosynthese, 57 avenue Jean Jaurès, 63260 Mozac, France

RÉSUMÉ – Un indice anti-méthanogène (AMI) simple a été développé pour caractériser les plantes de la prairie et de son proche environnement. L'objectif était d'évaluer le potentiel d'une plante pour réduire les émissions de méthane chez les ruminants, en tenant compte de sa valeur nutritionnelle. L'indice a été construit à partir de données obtenues *in vitro* par fermentation de 212 espèces de plantes utilisées comme substrat pur dans l'écosystème ruminal. Son principe repose sur la déviation observée entre la production de méthane mesurée et la valeur théorique calculée par la régression entre les productions de méthane et d'acides gras volatils (AGV), plantes atypiques exclues. Les plantes ont été classées en 3 groupes : 44 ont activé la méthanogénèse (AMI < -0,20), 104 pour lesquelles la stœchiométrie des fermentations était normale (-0,20 ≤ AMI ≤ 0), et 64 plantes qui ont eu un effet anti-méthanogène significatif (AMI > 0). L'effet le plus important a été observé avec *Bidens tripartita* (AMI = 1), mais nombre de plantes ont obtenu des valeurs d'AMI positives prometteuses comme par exemple : *Origanum vulgare* (0.61), *Scrophularia nodosa* (0.56), *Serratula tinctoria* (0.49), *Succisa pratensis* (0.19), *Polygonum bistorta* (0.17) et *Hypericum perforatum* (0.16). L'effet anti-méthanogène ne semblait pas porté par des familles particulières de plantes, mais plutôt individuellement par certaines espèces. L'AMI a permis de classer les plantes selon leur potentiel anti-méthanogène. Il souligne l'importance de conserver certaines espèces dans la prairie. Il pourrait aussi contribuer à l'estimation d'une valeur environnementale des prairies à partir de leur composition botanique. Le double critère AGV-AMI permet de caractériser une plante par le couple (énergie récupérée, énergie perdue) et ouvre des perspectives vers un diagnostic énergétique de la prairie

An antimethanogenic index (AMI) for pasture plants grazed by ruminants

MACHEBOEUF D. (1), CORNU A. (1), KERROS S. (2), RECOQUILLAY F. (2)
(1) Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

SUMMARY- A simple antimethanogenic index (AMI) was developped to characterize the plants growing in the meadows and the neighbouring environments. The purpose of the AMI is to evaluate the potential of a plant species to reduce methane emissions by grazing ruminants, while taking into account its energy value. The AMI was built from *in vitro* rumen fermentation data obtained from a set of 212 plants used as pure substrates. The AMI could be seen as the deviation between measured methane production and its theoretical value coming from the regression between methane and volatile fatty acid (VFA) productions. The plants were then classified into three groups : 44 plants that activated methanogenesis (AMI < -0.20), 104 plants with normal stoichiometry of fermentation (-0.20 ≤ AMI ≤ 0), and 64 plants with a significant antimethanogenic effect (AMI > 0). The strongest effect was observed with *Bidens tripartita* (AMI = 1) and numerous other plants had a promising positive AMI, including *Origanum vulgare* (0.61), *Scrophularia nodosa* (0.56), *Serratula tinctoria* (0.49), *Succisa pratensis* (0.19), *Polygonum bistorta* (0.17) and *Hypericum perforatum* (0.16). The anti-methanogenic effect did not seem to be carried by some plants families but rather individually by particular plants. AMI was able to classify plants according to their antimethanogenic potential. AMI findings also highlight the importance of keeping certain species in the meadow. Once a meadow's botanical composition is known, the AMI could be included in the criteria used to evaluate its environmental potential and bring new information on the multiple services provided by pasture. The couple VFA-AMI understood as (recovered energy, lost energy) could be used to characterize fermentation of plants and opens up prospects for an energy diagnosis of the meadow.

INTRODUCTION

Les prairies permanentes, particulièrement en zone de montagne, ont des avantages non négligeables sur les prairies temporaires, notamment par les services écosystémiques qu'elles rendent. Elles conservent une biodiversité qui leur confère une résilience face aux stress climatiques (e. g. sécheresse). De plus, elles sont un élément important pour la typicité et la qualité des produits (fromages ou viande) qui sont reconnues par les consommateurs. Pourtant, ces dernières décennies, la conduite des prairies s'est modifiée quelque peu (augmentation de la fréquence des coupes, apport de fertilisant) dans le but d'accroître les rendements, avec une baisse concomitante de la diversité florale (Pierik et al. 2017).

L'objectif de ce travail est d'apporter des informations sur la valeur environnementale des plantes de prairie et ainsi de compléter la connaissance des multiples services rendus par le pâturage. Il pourrait permettre de réhabiliter certaines plantes qui ont été marginalisées et ne subsistent plus que dans les talus et les fossés.

En effet, les plantes ont la capacité de synthétiser des métabolites secondaires qui leur permettent de se défendre contre les agresseurs (maladies, insectes, herbivores) ou de favoriser leur reproduction. Ces molécules de structures diverses (tanins, saponines, terpènes, composés phénoliques de petite taille, organo-sulfurés), ont parfois des propriétés anti-microbiennes qui peuvent influencer la digestion chez les ruminants, en particulier moduler les fermentations ruminales. Certaines plantes, riches en métabolites secondaires, peuvent notamment induire des variations des émissions de méthane dans le rumen.

Dans ce travail, la production de méthane de l'écosystème ruminal a été mesurée dans un essai de fermentation *in vitro* pour 212 plantes de prairie mais aussi de bordures, talus, fossé, haie, sous-bois, berges de ruisseau, etc... Un indice

simple a été construit pour estimer le potentiel anti-méthanogène (AMI) des plantes en tenant compte de leur valeur nutritive.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. SUBSTRATS VÉGÉTAUX

Un lot de 212 espèces de plantes a été collecté dans la région du Massif Central entre 370 et 1660 m d'altitude. Les échantillons étaient constitués des parties aériennes de 5 à 50 individus selon la taille des plantes, à un stade floraison dans la plupart des cas. Ils ont été congelés dans de l'azote liquide, lyophilisés, broyés à la grille de 3 mm et conservés à l'abri de la lumière pour réduire au minimum la dégradation des métabolites secondaires.

Le lot comprenait 45 familles botaniques. La mieux représentée était celle des *Asteraceae* avec 50 espèces. Suivaient les *Apiaceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Brassicaceae*, *Lamiaceae* avec respectivement 23, 19, 15, 15 et 10 espèces. Les autres familles avaient moins de 10 représentants et 20 n'étaient représentées que par une seule espèce.

Compte-tenu de la grande diversité des plantes récoltées, les teneurs des principaux constituants des plantes se sont distribuées avec une large amplitude. Pour les parois, la teneur en *Neutral Detergent Fiber* (NDF) a été comprise entre 15,7 et 81,3 % de la matière sèche. Elle a été comprise entre 13,3 et 55,7 % pour *Acid Detergent Fiber* (ADF) et entre 1,3 et 23,1 % pour la lignine nette. La teneur en azote couvrait une plage de 0,6 à 5,2 % représentant 4 à 32 % de la matière azotée totale (MAT) selon les plantes. Pour ces constituants, la distribution des valeurs n'était pas normale et quelques plantes atypiques (toujours <15) avaient des valeurs particulières (*outliers*). De même, la teneur en matière minérale qui était en moyenne de 10,5 %, a varié dans une plage de 1,3 à 39,0% avec 11 plantes particulières qui avaient des teneurs comprises entre 20 et 39 %. Par conséquent, il était important de rapporter la mesure des produits de fermentation à la matière organique du substrat.

Le Ray Grass Anglais (*Lolium perene*) a été choisi comme plante témoin (T) pour les essais de fermentations *in vitro*. Il a été récolté à un stade végétatif de 6 cm de hauteur lors d'une 3e repousse, ce qui a permis d'obtenir un substrat très fermentescible qui servait de référence haute. Il a été traité comme les autres échantillons.

1.2. FERMENTATIONS *IN VITRO*

Le profil fermentaire (gaz et acides gras volatils (AGV)) de chaque plante a été obtenu en incubant 600±0,5 mg de substrat pur de la plante pendant 24 h à 39°C avec une culture microbienne du rumen. Les fermenteurs étaient préalablement mis sous atmosphère d'azote avant de recevoir 40 ml de la culture microbienne constituée de 2 volumes d'un tampon carbonate-phosphate et d'un volume d'inoculum microbien du rumen, puis scellés et agités de façon intermittente 30 secondes toutes les 3 minutes. L'inoculum était obtenu à partir du contenu ruminal filtré à 800 µm de 3 moutons adultes de race Texel. Les animaux étaient alimentés au niveau de l'entretien avec un régime constitué de 80 % d'un bon foin de regain de Ray Grass Anglais et 20 % d'un concentré de type « agneau finition ».

Chaque substrat a été incubé en triple lors de 3 périodes expérimentales distinctes. Chaque période expérimentale incluait 4 incubations de T, soit un total de 48 répétitions sur les 12 périodes de fermentations qui ont permis de tester l'ensemble des plantes.

1.3. REPONSES EXPERIMENTALES

La concentration en AGV dans le milieu de culture a été analysée par CPG en début et en fin de fermentation, permettant de calculer par différence une production nette. La production de gaz des batches a été mesurée avec un capteur de pression et la composition du gaz (H_2, CH_4, CO_2) a été déterminée par µGC. Compte-tenu de la teneur en matières minérales qui pouvait être importante pour certaines plantes, les productions de méthane et d'AGV ont été rapportées à la quantité de matière organique de la plante introduite dans le batch (MOi) et exprimées en µmol/g MOi. Puis, les productions ont été normalisées et exprimées comme un ratio de la moyenne de T pour chaque période expérimentale (productions relatives à T) pour s'affranchir des variations inter-périodes.

1.4. CONSTRUCTION DE L'INDICE

Notre AMI a été construit à partir des données de fermentations ruminales *in vitro*. Une plante avait un effet anti-méthanogène significatif ($p < 0,01$, AMI > 0) lorsque sa production moyenne de méthane était inférieure à la valeur ajustée de la régression CH4=f(AGV) moins 2,58 fois l'écart type du ray-grass témoin (e.t.T) en faisant l'hypothèse que e.t. est uniforme sur le domaine expérimental. L'indice était alors calculé de la façon suivante : $AMI = \frac{(Af - Am)}{Amax}$

où

Am était la valeur mesurée de la production relative de méthane pour la plante concernée,

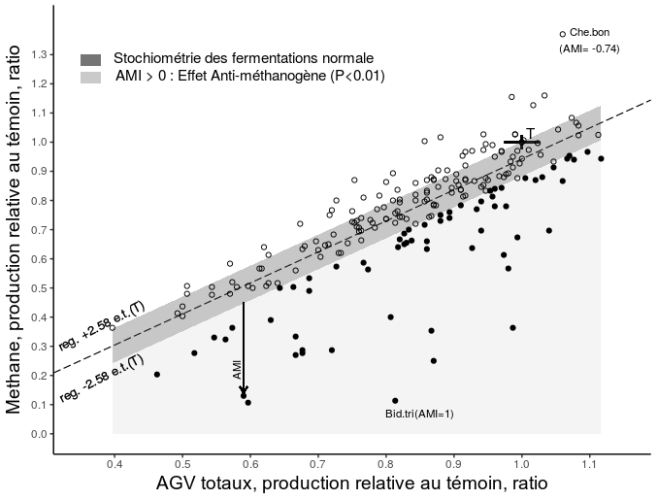
Af était la valeur ajustée de la production relative de méthane calculée à partir de la régression CH4=f(AGV) - 2.58 e.t.T pour la plante concernée, et

Amax était le maximum des différences (Af-Am) observées pour les 212 plantes.

L'écart type de T a pris la valeur de 0,023 pour la production relative de méthane. Il était de 0,019 et 0,025 pour les productions relatives de gaz total et d'AGV.

2. RESULTATS

Figure 1 : représentation graphique de la régression CH4=f(AGV) pour les 212 plantes étudiées. Les points localisés dans la zone gris clair correspondent aux plantes ayant un effet anti-méthanogène, comme Bidens tripartita (Bid.tri) dont l'AMI est égal à 1



2.1 RELATION ENTRE LES PRODUCTIONS DE GAZ ET D'AGV

Il y a eu une relation forte entre les gaz et les AGV produits lors de la fermentation microbienne *in vitro* des plantes. Le coefficient de détermination (R^2) était de 0,86 mais s'élevait à 0,90 si les 7 plantes particulières (*outliers*) qui ont produit peu de gaz (de 20 à 50 % de moins que T) étaient retirées du jeu de données.

Par contre, la relation s'est avérée beaucoup moins étroite (R^2 =0,62 ; RSE=0,13) entre la production de méthane et la production d'AGV, car un grand nombre de plantes s'écartait

de la droite de régression (figure 1). En particulier, il a été trouvé 16 plantes atypiques (*outliers*) parmi lesquelles une qui activait la production de méthane de 37 % par rapport à T (*Chenopodium bonus-henricus*) et 15 qui la réduisaient très fortement : de 30 à 90 % par rapport à T. Ces points ont été écartés pour établir l'équation de la droite de régression CH_4 = 1,06(±0,04).VFA -0,12(±0,03), R^2=0,80, RSE=0,08. C'est cette équation qui a été utilisée pour obtenir les valeurs ajustées entrant dans le calcul de l'AMI.

2.2 CLASSEMENT DES PLANTES

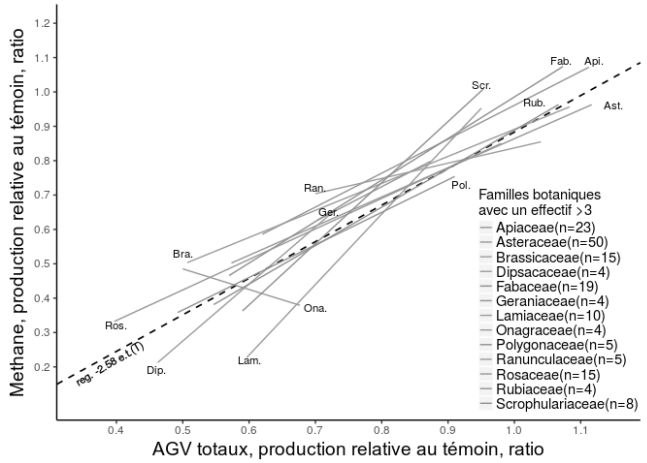
L'AMI a varié de -0,74 (*Chenopodium bonus-henricus*) à 1 (*Bidens tripartita).* Les plantes ont été classées en 3 groupes en fonction de la valeur de l'indice :

- 44 plantes qui ont un AMI inférieur à -0,20 (figure 1, zone blanche), qui se situent au dessus de la droite de régression +2,58 e.t.T et qui activent la méthanogénèse.
- 104 plantes qui ont un AMI compris entre -0,20 et 0 (figure 1, zone gris foncé), incluses dans l'intervalle régression ± 2,58 e.t.T et pour lesquelles on considère que la fermentation se déroule normalement (stœchiométrie non perturbée).
- 64 plantes avec un AMI positif (figure 1, zone gris clair) qui ont un potentiel anti-méthanogène significatif (p< 0,01) en dessous de la droite de régression -2,58 e.t.T. Parmi celles-ci, on retrouve bien sûr les 15 plantes atypiques qui réduisaient fortement le méthane dont *Bidens tripartita* qui a obtenu la valeur d'indice la plus élevée.

Parmi ces plantes ayant un AMI positif ,on trouve des plantes de prairie telles que *Origanum vulgare* (0.61), *Serratula tinctoria* (0.49), *Cirsium vulgare* (0,42), *Ranunculus acris* (0,40), *Hippocrepis comosa* (0,21), *Succisa pratensis* (0.19), *Polygonum bistorta* (0.17), *Hypericum perforatum* (0.16), *Galium verum* (0,12), *Sanguisorba minor* (0,12), *Taraxacum* section *Ruderalia* (0,11), mais aussi des plantes de bordures, lisières ou fossés comme *Impatiens glandulifera* (0,68), *Scrophularia nodosa* (0.56), *Sedum telephium* (0,52), *Sambucus ebulus* (0,46), *Securigera varia* (0,45), *Epilobium hirsutum* (0,44), *Petasites albus* (0,14), *Cardamine amara* (0,14), *Filipendula ulmaria* (0,13) ou encore des plantes rudérales ou adventices comme *Xanthium strumarium* (0,89), *Silybum marianum* (0,52), *Alliaria petiolata* (0,35), *Dipsacus fullonum* (0,17), *Ballota nigra* (0,14).

Par ailleurs, la fermentation de certaines de ces plantes a entrainé une production relative d'AGV qui était de l'ordre de grandeur de celle de T (p>0,01): *Cardamine amara* (0.98), *Cirsium vulgare* (0.97), *Petasites albus* (1.06), *Xanthium strumarium* (0.99), *Hippocrepis comosa* (0.94), *Alliaria petiolata* (0.99), *Ranunculus acris* (1.04), *Sedum telephium* (0.98), *Taraxacum* section *Ruderalia* (1.12). Elles ont donc la particularité d'apporter une quantité élevée de nutriments avec une émission de méthane réduite.

Figure 2 : effet de la famille botanique



2.3 EFFET DE LA FAMILLE BOTANIQUE

Le pourcentage de plantes déclarées anti-méthanogènes dans les familles dont les effectifs étaient les plus grands (n ≥10), était respectivement de 34, 13, 16, 20, 33, et 40 % pour les *Asteraceae, Apiaceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Brassicaceae*, et *Lamiaceae.* La famille des *Polygonaceae* a présenté quant à elle le meilleur taux de plantes actives (60 %), avec 3 espèces sur 5 qui avaient un AMI positif. Cependant la droite de régression de cette famille reste au niveau du seuil AMI =0 (Figure 2), les AMI individuels étant en effet, généralement proches de cette valeur. Pour les *Lamiaceae,* une bonne partie de la droite de régression se trouve dans la zone active (Figure 2) mais cela n'est dû qu'à une seule plante, *Origanum vulgare*, qui a eu un effet très prononcé. Seule la famille des *Onagraceae* a présenté des productions de gaz total et de méthane assez constantes et faibles mais là encore la partie de la droite de régression dans la zone active n'est due qu'à une seule espèce, *Epilobium hirsutum*.

En conséquence, aucune famille botanique ne s'est démarquée au-dessus du seuil AMI =0 (Figure 2). L'effet sur le méthane ne semble donc pas porté par des familles botaniques mais plutôt par des espèces particulières.

3. DISCUSSION

3.1 STŒCHIOMÉTRIE NORMALE OU PAS

La conception de notre AMI repose sur l'écart entre la production de méthane d'une plante et la valeur qui serait obtenue dans les conditions d'une fermentation normale. Par conséquent, la justesse de l'indice repose sur la définition de la zone de fermentation normale. Mais qu'est-ce qu'une fermentation normale ? C'est le cas lorsque le métabolisme microbien n'est pas perturbé. Il n'y a pas d'inhibition des enzymes qui dégradent les polymères (cellulose, amidon, protéines) en monomères, et de celles qui transforment les monomères en produits de fermentation (gaz, AGV, ammoniac). Le niveau des produits de fermentation obtenus dépend alors uniquement des quantités de substrats et de leur accessibilité par les micro-organismes. Dans ce cas, le modèle stœchiométrique proposé par Demeyer (1991) qui considère le méthane comme le seul accepteur final des électrons s'applique. Au contraire, lorsqu'il y a inhibition enzymatique, les variations des productions fermentaires ne sont plus liées aux quantités de substrats ou à leur accessibilité. Alors, la stœchiométrie ne suit plus le modèle de Demeyer et il y a d'autres accepteurs terminaux d'électrons.

Pour vérifier que le choix des zones de fermentation normale et anormale est correct, nous avons essayé de relier par une régression multiple, les variations de la production d'AGV avec les composants primaires des plantes (matière minérale, NDF, lignine, MAT) et la famille botanique. Dans le cas des 104 plantes de la zone de fermentation considérée par hypothèse comme normale (figure 1, zone gris foncé), le modèle a été très significatif ($p = 6.10^{-12}$; R^2 = 0,754 ; R^2 ajusté = 0,645) avec le facteur famille et les variables NDF et matières minérales très significatifs dans le modèle (p < 0,001). Par contre, le modèle était non significatif (p = 0,142) pour les 64 plantes ayant un AMI positif, situées dans la zone de fermentations anormales (figure 1, zone gris clair). Il est à noter que dans cet essai, les glucides solubles n'ont pas été mesurés dans les plantes et n'ont donc pas pu être introduits dans la régression multiple. Malgré cela, les variations de la production d'AGV sont bien liées aux constituants primaires des plantes et à leur agencement vu au travers du facteur famille dans la zone normale alors qu'elles ne le sont pas dans la zone anormale.

3.2 DISCUSSION ENTRE AMI(s)

Un certain nombre d'essais de criblage de plantes ont eu lieu ces 20 dernières années, toujours *in vitro*. Une bonne partie portait sur la mesure de la fermentescibilité et l'estimation de la valeur nutritive ou encore sur l'effet des plantes sur la production d'ammoniac et donc n'apportait pas d'informations sur leur potentiel à réduire les émissions de méthane. Souvent les productions de gaz ou d'AGV étaient exprimées par g de matière sèche incubée, ce qui peut rendre l'interprétation des résultats délicate compte-tenu de la quantité de matière minérale qui peut être élevée dans certaines plantes. Parmi les travaux qui se sont intéressés au potentiel anti-méthanogène, beaucoup ont privilégié l'étude d'extraits plus ou moins purifiés (tanins, saponines, huiles essentielles, etc.) utilisés comme additifs dans une ration de base. Deux essais (Bodas *et al.*, 2008 ; Garcia-Gonzalez *et al.*, 2008) ont testé des plantes brutes (pas d'extraits purifiés) toujours en tant qu'additif et ont mis en évidence le potentiel anti-méthanogène de certaines d'entre-elles. Ils ont créé des intervalles de classes selon l'ampleur de l'effet mais n'ont pas proposé d'indice. Ils n'ont pas non plus mesuré les valeurs nutritionnelles de ces plantes car elles étaient utilisées en tant qu'additif dans la ration. Avec des plantes Australiennes utilisées comme substrats purs, Durmic *et al.*, (2010) ont défini une « zone désirable » correspondant à des valeurs élevées en AGV et de faibles valeurs de méthane, prenant ainsi en compte les 2 critères énergétiques, mais ne proposent pas de classement. De plus, les relations entre le gaz total et les AGV d'une part et entre le méthane et les AGV d'autre part, n'étaient pas très précises (R^2 respectivement de 0,42 et 0,23) car établies à partir des pressions de gaz et des concentrations finales en AGV dans le milieu de fermentation plutôt que des productions nettes. Par ailleurs, les plantes atypiques (*outliers*) n'avaient pas été retirées pour calculer la régression.

Bien que n'ayant pas mesuré les émissions de méthane, l'équipe Suisse du RAC (Scehovic, 2001) a proposé 2 indices pour classer les plantes de prairie : l'indice d'activité négative potentielle (IANP) et l'indice d'activité fermentaire potentielle (IAFP). L'IANP mesurait l'inhibition d'une enzyme cellulase *in vitro* par ajout de métabolites secondaires extraits de la plante testée. L'IAFP mesurait quant à elle, la baisse du pH après incubation *in vitro* de la plante avec du fluide ruminal pendant 18h. Bien qu'ils ne donnent aucune information sur le potentiel anti-méthanogène des plantes, ces travaux sont les premiers qui combinent 2 critères, l'un concernant l'aspect nutritionnel et l'autre l'effet particulier des métabolites secondaires.

Parmi les plantes étudiées, très peu sont communes avec notre essai. Cependant, par exemple *Polygonum bistorta* obtient un classement cohérent, comparativement avec celui obtenu par Scehovic et al (2001).

3.3 VERS UN DIAGNOSTIC ÉNERGÉTIQUE

Les mesures de fermentation *in vitro* de cet essai nous apportent les 2 critères qui donnent toute l'information sur l'énergie tirée de la plante. D'une part, la production nette d'AGV relative au témoin représente l'énergie récupérée par le ruminant sous forme de nutriments et d'autre part, l'AMI négatif représente les pertes en énergie dues au méthane. L'AMI étant calculé par différence par rapport à une valeur théorique normale à production d'AGV équivalente, il a une meilleure justesse qu'une production de méthane. De plus, contrairement à la production de méthane, l'AMI est orthogonal (figure 3) donc indépendant de la production d'AGV. Dans cette figure par exemple, la régression de la figure 1 (zone gris foncé) correspond à la zone horizontale comprise entre AMI = -0,20 et AMI = 0.

La plante peut alors être caractérisée par sa position dans le plan des énergies : récupérée x perdue. On peut lui attribuer une note dans le cadre d'un diagnostic de performance énergétique à l'instar de ce qui se fait dans l'immobilier (figure 4) ! Pour cela, l'axe de l'énergie récupérée a été segmenté en 3 compartiments (mauvais/moyen/bon) et l'axe de l'énergie perdue en 4 compartiments (mauvais/moyen/bon/excellent). La récupération d'énergie était considérée bonne lorsque la production d'AGV était similaire à celle de T (supérieure à 90 % de celle de T). Elle était considérée moyenne lorsqu'elle était comprise en 60 et 90 %, et mauvaise lorsqu'elle était inférieure à 60 % de celle de T. Les pertes en énergie étaient considérées comme moyennes lorsqu'elles correspondaient à un AMI compris entre -0.25 et 0. L'AMI était considéré bon (faibles pertes en énergie) lorsque qu'il prenait des valeurs positives jusqu'à 2 fois l'amplitude de la zone moyenne (0>AMI>0,50) et excellent (très faibles pertes) au-delà (AMI>0,50). Un AMI trop faible (AMI < -0,25) était jugé mauvais (pertes trop importantes).

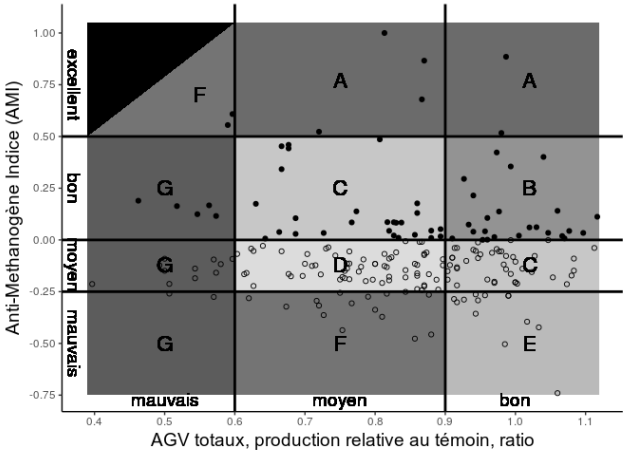
Les notes peuvent être alors attribuées de la façon suivante dans le système de coordonnées des énergies récupérée-perdue (figure 3) :

A : (bon, excellent) ; (moyen, excellent)
B : (bon, bon)
C : (moyen, bon) ; (bon, moyen)
D : (moyen, moyen)
E : (bon, mauvais)
F : (moyen, mauvais) ; (mauvais, excellent)
G : (mauvais, mauvais) ; (mauvais, moyen) ; (mauvais, bon)

La zone en noire (figure 3) est une région de contrainte que l'AMI ne peut pas atteindre compte-tenu de la mauvaise fermentescibilité du substrat.

Cette grille de notation permet de classer les plantes selon le double critère AMI-AGV. Elle pourrait permettre aussi de faire le diagnostic de performance énergétique d'une prairie. Le plus pratique serait d'effectuer un prélèvement représentatif de cette prairie et de réaliser la mesure de fermentation puis de projeter le point dans le plan des énergies récupérée x perdue pour obtenir directement la note. Cela nécessite cependant d'utiliser toujours le même témoin T entre les différents laboratoires. Cette méthode permettrait la comparaison de prairies de typologies très différentes, pouvant héberger des diversités floristiques plus ou moins grandes. Une autre méthode serait de réaliser ce diagnostic en connaissant les valeurs individuelles des plantes et la composition botanique de la prairie. Il faudrait dans ce cas prendre en compte d'autres facteurs tels que l'appétence ou le stade phénologique. En effet, certaines plantes comme par exemple les ombellifères (*Apiaceae*) peuvent offrir une fourniture énergétique élevée en début de cycle mais beaucoup plus faible à la floraison (Andueza *et al.*, 2010). Cette méthode de prévision de l'AMI d'une prairie nécessiterait d'enrichir notre base de données d'un grand nombre de mesures supplémentaires.

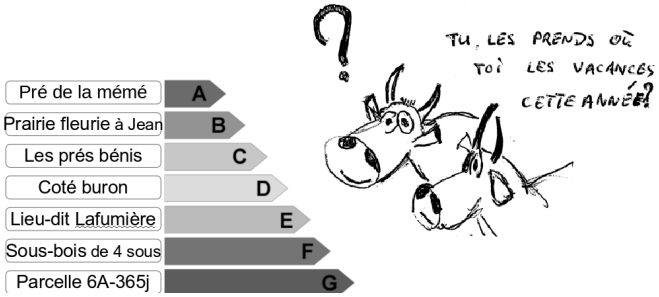
Figure 3 : grille de notation pour un diagnostic de performance énergétique



CONCLUSION

Les données *in vitro* ont permis de trouver un AMI simple qui permet de classer les plantes selon leur potentiel anti-méthanogène. Il enrichit la base de connaissances sur les multiples services rendus par la prairie. Il peut contribuer à l'estimation de la valeur environnementale des prairies et montre l'intérêt de ré-implanter ou de préserver certaines espèces. Le double critère AMI-AGV ouvre aussi des perspectives sur la possibilité de faire un diagnostic énergétique de la prairie.

Figure 4 : vers un diagnostic énergétique de la prairie ?



Ce projet a reçu le soutien de l'Institut Carnot France Futur Elevage. Nous remercions Guy Lalière (éthnobotaniste indépendant, 6, rue des Plats, 63000 Clermont-Ferrand), Arnaud Descheemacker et Romain Pradinas du Conservatoire Botanique National du Massif Central (Le Bourg, 43230 Chavaniac-Lafayette) pour leur aide dans l'identification et la collecte des plantes. Nous remercions l'INRA unité Herbipôle (UE1414), Mickaël Bernard pour l'organisation et Bernard Mallet, André Guittard pour le soin apporté aux animaux. Nous remercions en particulier Roger Bergeault pour son aide durant l'expérimentation.

Andueza, D., Cruz, P., Farruggia, A., Baumont, R., Picard, F., Michalet-Doreau, B. 2010. Grass Forage Sc., 65, 325-334

Bodas, R.; Lopez, S.; Fernandez, M.; Garcia-Gonzalez, R.; Rodriguez, A.; Wallace, R., Gonzalez, J. 2008. Anim. Feed Sc. Technol., 145, 245-258

Demeyer, D.I. 1991. in : Jouany J.P.(Ed.) Rumen microbial metabolism and ruminant digestion, INRA Editions, 217-237

Durmic, Z.; Hutton, P.; Revell, D.K..; Emms, J.; Hughes, S., Vercoe, P.E. 2010. Anim. Feed Sc. Technol., 160, 98-109

Garcia-Gonzalez, R.; Lopez, S.; Fernendez, M.; Bodas, R. , Gonzalez, J., 2008. Anim. Feed Sc. Technol., 147, 36-52

Pierik, M.E., Gusmeroli, F., Marianna, G.D., Tamburini, A., Bocchi, S. 2017. Agric. Ecosyst. Environ. 244, 14–21

Scehovic, J. 2001 Rev. Suisse Agric., 33, 239-244

Caractérisation de la qualité des sources d'abreuvement du bovin laitier dans le nord-ouest de la wilaya d'El Tarf (Algérie)
Characterization of the quality of drinking water sources for dairycattle in the northwest of the El Tarf wilaya (Algeria)

HOUD-CHAKER K. (1), KADRI S. (2), LAADJAL A. (3), MEBIROUK-BOUDECHICHE L. (3)
(1) Laboratoire d'agriculture et fonctionnement des écosystèmes, Département d'Agronomie, Université Chadli Bendjedid El Tarf, B.P 73, 36 000, EL Tarf, ALGERIE
(2) Laboratoire de Recherche: Biodiversité et Pollution des Écosystèmes, Université Chadli Bendjedid El Tarf, B.P 73, 36 000, EL Tarf, ALGERIE
(3) Laboratoire d'épidémio-surveillance, santé, productions et reproduction, expérimentation et thérapie cellulaire des animaux domestiques et sauvages, Université Chadli Bendjedid El Tarf, B.P 73, 36 000, EL Tarf, ALGERIE.

INTRODUCTION

Les animaux d'élevage sont tributaires d'un apport constant et régulier en eau, leurs organismes sont composés de 65 à 80% d'eau (Olkowski, 2009). L'eau est un facteur déterminant dans le déroulement des fonctions vitales de l'organisme. Le bovin laitier doit alors disposer en permanence d'une eau en quantité suffisante et de qualité sanitaire acceptable (Houd-Chaker et Slimani, 2014). L'objectif de cette étude est la caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux destinées à l'abreuvement du bovin laitier de la zone nord-ouest de la wilaya d'El Tarf.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a été conduite dans un bassin laitier du nord-ouest de la wilaya d'El Tarf (nord-est de l'Algérie). Les prélèvements de 6 points d'eau : 3 puits P1, P2 et P3, 2 forages F1 et F2 et 1 réseau public RP), ont été effectués durant le printemps et l'été dans des flacons en verre de 500mL. La température, le pH ainsi que la salinité ont été mesurés *in situ*. Les paramètres indicateurs d'une pollution organique, minérale et bactériologique ont été analysés au laboratoire selon les méthodes d'analyses préconisées (AFNOR, 1997 et Rodier et al., 2009).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX D'ABREUVEMENT

La température de l'ensemble des sources analysées est élevée, les résultats dévoilent une haute salinité associée à une forte dureté. Cette dernière est proportionnelle à la quantité de sels dissouts (Harrat et Achour, 2010). Le pH peut avoir des répercussions importantes sur les animaux. Néanmoins, les valeurs observées révèlent que le pH est neutre et reste dans les limites de potabilité pour le bovin laitier; ces valeurs pourraient s'expliquer par la nature géologique du terrain.

2.2.PARAMETRES DE POLLUTION ORGANIQUE DES EAUX D'ABREUVEMENT

Les valeurs enregistrées en nitrates, phosphore, fer et chlore sont conformes aux normes OMS, les résultats concordent avec ceux de Merzoug et al (2011). Néanmoins, ils révèlent que les nitrites sont présents à fortes doses dans certains points et présagentune pollution d'origine anthropique.

Tableau 2 Résultats des paramètres de pollution organique des eaux d'abreuvement (mg/l)

	NO_2	NO_3	P	Fe	Cl
P1	0,07±0,03	38,5±16,36	0,19±0,04	0,1±0,03	135,5±70,8
P2	0,4±0,04	30,16±8,64	0,26±0,12	0,15±0,16	139,9±26,1
P3	0,12±0,11	34,16±9,45	2,38±1,19	0,23±0,17	427,9±499,6
F1	0,17±0,08	35,16±10,48	7,03±7,9	0,11±0,04	66,3±23,7
F2	0,11±0,09	28±5,4	2,6±1,43	0,11±0,13	111,6±46,9
RP	0,2±0,07	29±11,71	2,05±1,67	0,08±0,05	72,06±82,5
	0,043*	0,539NS	0,018*	0,302N	0,049*

NO_2 : nitrites, NO_3 : nitrite P : phosphore, Fe : fer, cl : chlorure

2.3. PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX D'ABREUVEMENT

La qualité bactériologique des eaux d'abreuvement du bovin laitier est basée sur le concept des germes indicateurs d'une contamination fécale (Dermaux, 1999).Les données bactériologiques obtenues montrent que toutes les sources sauf F1 sont fortement contaminées.

CONCLUSION

Cette étude révèle que les eaux des sources analysées sont fortement minéralisées et caractérisées par une importante salinité; avec une pollution nitrique détectée. En outre, l'analyse bactériologique montre que la majorité des sources sont fortement contaminées et sont de ce fait impropres à la consommation animale.

Dermaux V., 1999. Lyon, 111p.
Harrat N ., Achour S.,2010. JLRH 8 : 47-54
Houd K., Slimani A., 2014. LRRD .Vol 26, N° 2, Pub N°25
Merzoug D., Khiari A., Aït Boughrous A., Boutin C., 2011. Hydroécologie Appliquée 17 : 77–97.
Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. Dunod, 9e éd., 1600p.
Olkowski A,A., 2009. Guide de terrain relatif aux bovins, aux chevaux, à la volaille et aux porcs, 185p.

Tableau 1 Résultats des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux d'abreuvement

	T (°C)	O_2 (mg/l)	Salinité	pH	Dureté (°F)	CT (UFC/100ml)	CF (UFC/100ml)	SF (UFC/100ml)
P1	19,5±2	6,09±1,27	0,11±0,04	7,07±0,5	19,7±21	6800±4813	80±83,6	840±477,4
P2	18,6±4	5,82±1,87	0,53±0,05	7,48±0,5	27,3±10,7	633,33±233	70±67	270±411,7
P3	19,1±5	5,87±1,35	1,08±1,19	7,2±0,9	55,5±28,6	3466,6±3353	240±279,2	222±293,1
F1	18,9±2	6,45±1	0,31±0,04	7,3±0,4	32,1±17,7	241,6±142,8	2±4,4	2±4,4
F2	18,1±3	7,2±2,68	0,6±0	7,12±0,8	41,1±15,6	308,3±104,3	68±53,5	4±5,4
RP	21,6±3	3,5±0,24	0,11±0,04	7,18±0,7	47,9±72	143±133,7	25,6±22,2	26,±21,9
P	0,653 NS	0,012*	0,016**	0,914NS	0,019*	0,001***	0,04*	0,021*

*NS : non significatif, * Différence significative, ** Différence hautement significative, *** Différence très hautement significative.*
CT et CF : coliformes totaux et fécaux, SF : streptocoques fécaux

Emissions de méthane entérique en bâtiment, avant et après la traite, chez les vaches laitières durant la saison de pâturage

Indoor methane emission of grazing dairy cows before and after milking

DALL-ORSOLETTA A.C. (1), DELABY L. (2), LEURENT-COLETTE S. (3), LAUNAY F. (4), RENAND G. (5)
(1) UDESC, Lagès, SC 88520-000, Brazil
(2) INRA, UMR Pegase, 16 Le Clos 35590 Saint Gilles
(3) AGRIAL, 4 rue des Roquemonts 14000 Caen
(4) INRA, Domaine du Pin, Borculo, Exmes 61310 Gouffern en Auge
(5) INRA, UMR Gabi, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy en Josas cedex

INTRODUCTION

Les émissions de méthane entérique issues de l'élevage des ruminants, notamment des bovins, représentent une part importante des gaz à effet de serre imputée à l'agriculture (Dollé *et al.*, 2011). La mesure de ces émissions sur un nombre conséquent d'animaux reste un challenge, notamment en période de pâturage. Chez les vaches laitières, la rentrée à l'étable lors des deux traites quotidiennes permet d'envisager la réalisation de mesures ponctuelles grâce à l'utilisation d'appareils « GreenFeed » (GF - C-Lock Inc., South Dakota - USA) en bâtiment.

L'objectif des travaux relatés ci-dessous est de quantifier durant les heures encadrant les deux traites quotidiennes, les émissions de CH_4 de vaches laitières Holstein (Ho) et Normande (No) au cours de la saison de pâturage 2017.

MATERIEL ET METHODES

Dans le cadre de l'expérimentation « Quelle vache pour quel système ? » mise en place au domaine INRA du Pin au Haras, des vaches Ho et No, primipares et multipares, sont affectées à deux stratégies d'alimentation opposées (Haut et Bas) afin d'évaluer à long terme leur aptitude à produire et se reproduire dans le cadre d'une conduite en vêlages groupés de fin d'hiver (Bédère et al, 2017). Durant la saison de pâturage, sur prairies d'association ray-grass anglais-trèfle blanc, les vaches du lot Haut (33 ares/vache) reçoivent en plus de l'herbe pâturée, 4 kg brut de concentré et dès que nécessaire de l'ensilage de maïs (EM - 5 à 10 kg MS/jour) en stabulation au moment de la traite tandis que les vaches du lot Bas (55 ares/vache) sont alimentés exclusivement avec de l'herbe pâturée. La production laitière individuelle est mesurée lors des 2 traites quotidiennes et les vaches sont pesées une fois par semaine. Les quantités d'ensilage de maïs consommées par le lot Haut sont mesurées chaque jour par pesée de l'offert et des refus.Durant 140 jours, du 26 Juin au 12 Novembre 2017, 26 vaches du lot Haut et 29 vaches du lot Bas ont eu accès respectivement à l'un des deux GF mis en place dans la stabulation. Au cours d'une journée, les vaches ont pu accéder aux GF entre 7 et 10 heures le matin et entre 15 et 17 heures l'après-midi. Le principe de mesure ponctuelle du flux de CH4 émis lors de chaque visite des GF a été décrit par Renand *et al.* (2016).

RESULTATS ET DISCUSSION

Sur les 55 vaches, 47 ont fréquenté au moins une fois un GF, avec pour certaines un faible nombre de visites. Pour garantir une évaluation satisfaisante des émissions durant le temps d'accès imparti, seules les vaches qui comptent au moins 130 visites ont été considérées. Après validation, 30 vaches (12 Haut et 18 Bas) ont été conservées et ont réalisées au total 4496 visites. A raison de 0 à 3 visites par jour, le nombre de jours avec au moins une évaluation d'émission validée varie de 43 à 137 jours selon les vaches. Ces données moyennes journalières (n = 2842) réparties en 5 périodes de 28 jours, ont fait l'objet d'une analyse de variance selon un modèle mixte intégrant les effets race (n=2), rang de lactation (n=2), âge au 1er vêlage (n=2 - 2 ou 3 ans), stratégie d'alimentation (n=2) et périodes (n=5) en considérant les jours en mesures répétées et les vaches comme aléatoires. Durant 97 jours (26/06 au 02/10), les vaches du lot Haut ont été complémentées et ont consommé 7,4 kg MS d'EM. Les vaches du lot Bas n'ont reçu aucun apport de complément. En moyenne brute, les émissions de méthane s'élèvent à 358 g (± 97) par jour, soit 57,4 g (± 17,1) pour 100 kg de poids vif et 24,5 g (± 20,0) par kg de lait.

Tableau 1 : Effet de la race et de la stratégie d'alimentation sur les émissions de CH_4 de vaches laitières au pâturage

Moyennes	Rac e		Alimentation		
ajustées	Ho	No	Haut	Bas	ETR
CH_4 (g/jour)	352	360	387 [a]	325 [b]	34 ,3
CH_4 (g/kg lait)	17,4[a]	27,6[b]	22,0	23,0	7,63
CH_4 (g/100kg P.Vif)	56,5	53,4	58,6[a]	51,3[b]	4,41

Les émissions de CH_4 par jour ou rapportées à 100 kg de poids vif ne diffèrent pas significativement entre race. Par contre, rapporté au kg de lait produit, les vaches de race No émettent 10 g de CH_4 en plus par kg de lait. La stratégie d'alimentation Haut entraine une augmentation significative des émissions de 62 g par jour, sans différence significative par kg de lait produit. Cette augmentation associée à l'alimentation est d'abord le reflet du niveau d'ingestion plus élevé chez les vaches du lot Haut. Mais également la conséquence des apports de fourrages, ingérés pendant la période en stabulation, qui induisent une augmentation des émissions de CH_4 en post prandial. En effet, la cinétique d'émissions de CH_4 au cours de la journée est très marquée par les phases d'ingestion (Hammond et al, 2016 ; Garnsworthy et al, 2012). Les valeurs observées sousestiment donc probablement les émissions moyennes journalières de CH_4, notamment chez les vaches du lot Bas qui ne consomment que de l'herbe, surtout lors de grands repas après la traite. La comparaison avec les données calculées selon le modèle décrit par Orsoletta et al (2018 - cet ouvrage) confirme cette sous-estimation de 30 à 50 g/j associées aux mesures ponctuelles des GF.

CONCLUSION

Si la hiérarchie des effets évalués semble conforme à l'attendu, l'évaluation des émissions de CH_4 à l'aide de GF se doit d'intégrer les cinétiques d'ingestion, ce qui fragilise les résultats obtenus lors de mesures ponctuelles au moment de la traite dans le cas d'une alimentation au pâturage.

Ce projet (n°16-60-C0004) est réalisé avec le soutien financier de l'ADEME dans le cadre du programme de recherche REACCTIF.

Bédère N., Disenhaus C., Ducrocq V., Leurent-Colette S., Delaby L. 2017. J. Dairy Sci., 100, 2812-2827
Dollé J.B., Agabriel J., Peyraud J.L., Faverdin P., Maneville V., Raison C., Gac A., Le Gall A., 2011. INRA Prod. Anim., 24, 415-432
Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernadez-Medrano J.H., Saunders N., 2012. J. Dairy Sci, 95, 3166-3180
Hammond K.J., Waghorn G.C., Hegarty R.S. 2016. Anim. Prod. Sci. CSIRO, 56, 181-189
Renand G., Vinet A., Maupetit D. 2016. Renc. Rech. Rum. 23, 1922