



HAL
open science

Diversification des fourrages : intérêts pour améliorer leur valeur alimentaire et réduire les impacts environnementaux de la production de ruminants

Vincent Niderkorn

► **To cite this version:**

Vincent Niderkorn. Diversification des fourrages : intérêts pour améliorer leur valeur alimentaire et réduire les impacts environnementaux de la production de ruminants. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. tel-02786575

HAL Id: tel-02786575

<https://hal.inrae.fr/tel-02786575>

Submitted on 5 Jun 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DE
L'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Université Clermont Auvergne

Ecole doctorale des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement

Spécialité Nutrition

Vincent Niderkorn

UMR1213 Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores

INRA Auvergne Rhône Alpes

**Diversification des fourrages : intérêts pour améliorer
leur valeur alimentaire et réduire les impacts
environnementaux de la production de ruminants**



Soutenue le 7 juin 2017 devant le jury composé de :

M. Rémy Delagarde
M. Hervé Hoste
M. Giuseppe Bee
Mme. Cécile Martin
M. Philippe Michaud

Ingénieur de Recherches, INRA Rennes
Directeur de Recherches, ENV Toulouse
Chercheur, Agroscope Posieux
Directrice de Recherches, INRA Theix
Professeur, Université Clermont-Ferrand II

Rapporteur
Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examineur

REMERCIEMENTS

Au moment de faire le bilan de 12 années de recherche, mes pensées vont à toutes les personnes qui m'ont initié à la démarche scientifique ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont accompagné dans la mise en œuvre de mon projet.

En premier lieu, je tiens à remercier Hamid Boudra, Diego Morgavi (UMR Herbivores), Frédérique Chaucheyras-Durand et Henri Durand (Société Lallemand) qui m'ont permis de réaliser ma thèse à l'INRA et qui m'ont guidé dans mes premiers pas de chercheur. Leur compétence, leur bienveillance et leur disponibilité ont été déterminantes dans ma formation, que ce soit pour l'acquisition de la démarche de recherche ou pour la rédaction scientifique.

Je tiens à exprimer ma très grande gratitude à Jean-Baptiste Coulon qui fut mon directeur de thèse et qui m'a ensuite donné la possibilité de devenir Chargé de Recherche à l'INRA.

J'adresse mes remerciements à Bertrand Dumont et René Baumont qui m'ont accompagné dans la construction de mon programme de recherche et qui m'ont donné la possibilité de participer à plusieurs projets européens d'envergure, ce qui a été crucial dans la construction de mon réseau national et international.

Je remercie Nigel Scollan, Jamie Newbold, Eun Joong Kim et Mike Lee pour leur accueil lors de mon stage postdoctoral à l'IBERS (Université d'Aberystwyth, Royaume-Uni). Je pense également à Andrea Cabiddu, Fujiang Hou et Ajoy Kumar Roy, chercheurs sarde, chinois et indien avec qui j'ai cohabité pendant près d'un an. Vivre dans cet environnement très international était très enrichissant et a conduit à l'établissement de vraies amitiés.

Je tiens à exprimer ma plus grande reconnaissance à Hervé Hoste, parasitologiste, pour m'avoir associé à de nombreux projets, Didier Macheboeuf pour sa confiance et sa compétence dans les systèmes de fermentation *in vitro*, et Francois Pompanon d'être venu un jour me parler de DNA metabarcoding.

Je remercie toutes les personnes avec lesquelles j'ai travaillé sur les projets de recherche pour la qualité des échanges scientifiques, notamment Cécile Martin, Jean-Louis Peyraud, Rémy Delagarde et Isabelle Morel (*Multisward*), Catherine Picon-Cochard (*AnimalChange*), Hervé Hoste, Irène Mueller-Harvey, Giuseppe Bee, Frigga Dohme-Meier et toutes les personnes du consortium *Legume Plus*, ainsi que Adibe Abdalla et Henrique Ribeiro-Filho, mes collègues et amis brésiliens.

Je remercie très chaleureusement Cécile Ginane avec qui j'ai co-encadré la thèse de Guiseppa Copani, et aussi les doctorants, post-doctorants et stagiaires de Master pour leur participation aux différents projets : Jean, Aina, Elodie, Sylvia, Maria et Mickaël. C'est aussi l'occasion d'avoir une pensée très émue pour Miriam.

Un immense merci aux membres de l'ex-équipe Rapa, notamment Cécile Ginane, Anne Farruggia, Gaëlle Maxin, Jocelyne Aufrère, Donato Andueza, Aline Le Morvan, Angélique Quereuil, Pierre Capitan et Frédéric Anglard, pour les échanges scientifiques ou leur participation enthousiaste aux projets de recherche, que ce soit au laboratoire ou sur les dispositifs expérimentaux.

Je n'oublie pas tout le personnel de l'Herbipôle, et notamment Mickaël Bernard, Denis Roux, Michel Fabre, André Guittard, Sébastien Alcouffe et Bernard Mallet qui se sont investis avec professionnalisme lors des différentes expérimentations.

Enfin, je remercie Isabelle Veissier et Pierre Nozière pour leur confiance.

SOMMAIRE

CURRICULUM VITAE	1
AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION	7
EFFETS ASSOCIATIFS ENTRE ESPÈCES FOURRAGÈRES SUR LES PROCESSUS INGESTIFS ET DIGESTIFS	9
I. INTRODUCTION	9
II. DES EFFETS ASSOCIATIFS ENCORE MAL CONNUS	9
III. EFFETS ASSOCIATIFS ENTRE GRAMINÉES ET LÉGUMINEUSES	12
III.1. Etude <i>in vitro</i> des interactions digestives entre graminées et légumineuses	12
III.2. Etude <i>in vivo</i> des effets associatifs entre espèces fourragères sur l'ingestion et la digestion chez le mouton	12
IV. CONCLUSIONS	14
IDENTIFICATION ET EVALUATION DE LA VALEUR DE PLANTES BIOACTIVES	17
I. INTRODUCTION	17
II. SCREENING DE PLANTES	18
III. UTILISATION DU SAINFOIN ET DU TRÈFLE VIOLET CHEZ LES OVINS	19
IV. CONCLUSIONS	22
EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES PRAIRIES	25
I. INTRODUCTION	25
II. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES PRAIRIES PERMANENTES.....	25
II.1. Méta-analyse appliquée aux zones méditerranéennes et de montagne	25
II.2. Réponse d'une prairie permanente de moyenne montagne au changement climatique	26
III. EFFET DE LA DERNIÈRE GLACIATION SUR LA VÉGÉTATION ARCTIQUE ET CONSÉQUENCES POUR LA MÉGAFaute HERBIVORE	27
III.1. Développement méthodologique	27
III.2. Résultats et implication	28
IV. CONCLUSIONS	29
BILAN	31
I. BILAN SCIENTIFIQUE	31
II. BILAN SWOT	32
PROJET SCIENTIFIQUE	35
I. VALEUR DES PRAIRIES DIVERSIFIÉES POUR LES RUMINANTS	35
II. UTILISATION DE NOUVELLES RESSOURCES	36
III. UTILISATION DE FOURRAGES TROPICAUX.....	37
IV. ANIMATION SCIENTIFIQUE ET ENCADREMENT	38
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	39
PRODUCTION SCIENTIFIQUE	45

CURRICULUM VITAE

Vincent NIDERKORN

Né le 11 octobre 1970 à Hannonville (55)

Deux enfants (2003, 2005)

Situation professionnelle

Chargé de Recherche

UMR1213 Herbivores

Centre INRA Auvergne Rhône Alpes

63122 Saint Genès Champanelle

Tel : 04 73 62 40 69

e-mail : vincent.niderkorn@inra.fr



Parcours

- Depuis 2016 **Responsable équipe adjoint** (31 personnes dont 18 chercheurs/ingénieurs)
INRA ARA, UMR Herbivores, équipe Dinamic (Digestion, nutrition, aliments, métabolisme, microbes)
- 2007-2015 **Chargé de Recherche** (CR 1^{ère} classe depuis 2011)
INRA ARA, UMR Herbivores, équipe Rapa (Relations animal-plante et aliments)
Thématique de recherche : Valeur des ressources fourragères diversifiées pour les ruminants
- 2008 **Stage postdoctoral** (7 mois)
IBERS (Institute of Biological Environmental and Rural Sciences), Aberystwyth University, Wales, UK
Measuring methane production and microbial dynamic from monocultures of high water-soluble carbohydrate perennial ryegrass differing in its heading dates using RUSITEC
- 2004-2007 **Thèse de Doctorat**
Ecole Doctorale Sciences de la Vie et de la Santé, Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand), option nutrition et sciences des aliments, mention très honorable avec les félicitations du jury.
INRA ARA, UMR Herbivores, équipe Dima (Digestion Microbienne et Absorption. Partenariat industriel : contrat CIFRE avec la société Lallemand SA (Blagnac).
Activités de biotransformation et de séquestration des fusariotoxines chez les bactéries fermentaires pour la détoxification des ensilages de maïs
- 2003 **Stage de DEA** (6 mois)
IFBM (Institut Français de Brasserie-Malterie), Nancy
Détermination du potentiel toxigène de moisissures du genre *Fusarium* par des techniques de biologie moléculaire
- 2001-2003 **Diplôme d'Ingénieur des Industries Alimentaires** option **biotechnologies**
ENSAIA (Institut National Polytechnique de Lorraine), Nancy
- 1991-2000 **Technicien et agent de maîtrise de laboratoire**
- *Fromagerie Henri Hutin (groupe HOCHLAND), Dieue sur Meuse (8 ans)*
 - *Centre Hospitalier des Armées « Louis Pasteur », Berlin (service militaire actif, 1 an)*

1990 **DUT Biologie Appliquée**, option **industries alimentaires et biotechnologiques**
IUT « Le Montet », Villers les Nancy

Participations à des programmes scientifiques nationaux et internationaux

- 2014-2017 **Participation à un projet de recherche tripartite Afrique-Brésil-France** (Lutte contre la désertification en Afrique)
Echanges scientifiques et essai in vitro
- 2012-2016 **Participation au méta-programme INRA GISA-STReP** (Gestion Intégrée de la Santé Animale)
Essais in vitro
- 2012-2015 **Partenaire du projet européen Marie Curie** (Initial Training Network, ITN)
LegumePlus
Encadrement 1 thèse, 1 post-doctorat, 1 CDD chercheur 6 mois, 9 réunions scientifiques bi-annuelles
- 2011-2014 **Participation au projet européen AnimalChange**
Contribution à une méta-analyse et à une expérimentation sur l'écotron (infrastructure CNRS)
- 2010-2013 **Participation au projet européen Multisward**
Encadrement 3 Master 2 et 1 élève ingénieur, 3 réunions scientifiques annuelles
- 2010-2011 **Projet sur crédits incitatifs INRA-PHASE**
Collaboration avec le Laboratoire d'Ecologie Alpine (CNRS Grenoble) sur le DNA metabarcoding

Encadrement de travaux de recherche

Thèses et post-doctorats:

- 2013-2016 Co-encadrement de la thèse de **J.G. Dal Pizzol** avec H. Ribeiro-Fihlo : Nutritional evaluation of Missioneira Gigante Grass with or without legume inclusion. Université de Santa Caterina, Brésil. Soutenance en décembre 2016
- 2012-2015 Co-encadrement de la thèse de **G. Copani** avec C. Ginane (UMR Herbivores) : Benefits of including bioactive legumes (sainfoin and red clover) in grass-based silages on ruminant production and pollutant emissions. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. Soutenance en septembre 2015
- 2013 Encadrement du post-doctorat de **A. Ramsay** : Identification des substrats phénoliques de la polyphénol oxydase du trèfle violet et caractérisation des produits de la réaction. Université de Reading, UK

Masters et CDD:

- 2015 **Villamuelas, M.** (Co-encadrement avec D. Andueza, UMR Herbivores). Evaluation of the NIRS precision in predicting the chemical composition of sainfoin freeze dried samples using an equation built with oven-dried samples. *CDD Projet européen LegumePlus*
- 2012 **Bernard, M.** Etude des effets associatifs induits par l'incorporation de chicorée dans des mélanges fourragers sur les processus ingestifs et digestifs chez le mouton. *Ecole d'ingénieur, VetAgro Sup, Clermont-Ferrand*
- 2011 **Awad, M.** Etude des effets associatifs entre une variété de ray-grass anglais riche en glucides solubles et le trèfle blanc sur l'ingestion et la digestion chez le mouton. *Master 2 Production et transformation de la filière lait et viande, Ecole Supérieure d'Agriculture, Angers*
- 2011 **Julien, S.** Etude des effets associatifs entre l'ensilage de dactyle et l'ensilage de trèfle violet sur l'ingestion et la digestion chez le mouton. *Master de Recherche Nutrition et Sciences des Aliments, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand*
- 2010 **Brison, E.** Etude des effets associatifs entre une variété de ray-grass anglais riche en glucides solubles et la luzerne sur l'ingestion et la digestion chez le mouton. *Master*

de Recherche Nutrition et Sciences des Aliments, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand

- 2010 **Coudert, L.** (Co-encadrement avec D. Macheboeuf, INRA). Criblage *in vitro* d'une collection de plantes de la flore sauvage d'Auvergne pour leur potentiel à réduire les émissions de méthane par l'écosystème microbien du rumen. *Master de Recherche Nutrition et Sciences des Aliments, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand*
- 2005 **Tissandier, A.** Criblage de bactéries lactiques pour leur capacité à limiter l'impact des mycotoxines dans les ensilages de maïs. *Master 1 Sciences de la Vie et de la Santé, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand*

Responsabilités scientifiques, expertise et missions

- Depuis 2016 **Membre du Conseil de Direction Scientifique** de l'UMR Herbivores
- 2015-2018 **Membre de la Commission Scientifique Spécialisée (CSS)** Agronomie, Elevage, Sylviculture.
Evaluation des Chargés de Recherche et Directeurs de Recherche INRA
Rapporteur et membre de la plénière, INRA Paris
- 2015-2016 **Rapporteur dans les jurys de thèses** de J. Quijada (Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse), M. Girard et C. Malisch (Agroscope, Suisse), O. Desrues (Université de Copenhague)
- 2015 **Expert** pour l'évaluation d'un projet de recherche soumis à l'appel d'offre de l'Université ETH de Zurich (Suisse)
- 2012-2016 **Membre des comités de thèse** de J. Quijada (Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse), G. Copani (INRA, UMR Herbivores), J.G. Dal Pizzol (Université de Santa Caterina, Brésil), E. Gaudin (Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse)
- 2012-2015 **Membre du Conseil Scientifique** des utilisateurs de l'Unité expérimentale sur les Ruminants de Theix (UERT)
Mission 2015 : recensement des besoins des unités de recherche utilisatrices de l'herbipôle (Rapport, 17p.)
- 2012 **Rapporteur** pour le jury de soutenance du stage de fin d'études de H. Perraud Bonin, élève ingénieur (Vetagrosup, Clermont-Ferrand)
- 2010-2016 **Relecteur** régulier d'articles soumis pour publication dans différentes revues internationales (*Animal Feed Science and Technology, Animal Production Science, Journal of Dairy Science* et *Animal* notamment) et pour l'International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH)

Enseignement

- 2012 **Formation interne en zootechnie** (UMR Herbivores/Unité expérimentale). Module: les aliments et leur ingestion, 8h.
- 2009 **Formation aux doctorants du programme européen Marie Curie *Healthy Hay***, Digestion in ruminant, associative effects between plants on feed intake and digestion and potential role of plant secondary metabolites, 4h.

Formations complémentaires

- 2016 Optimiser le montage de projets et la réponse aux appels à projet (3j, FP INRA ARA)
- 2016 Gagner en efficacité dans sa communication managériale (2j, FP INRA ARA)
- 2016 Gestion des carrières et conduite de l'entretien d'activité des ingénieurs et techniciens de la recherche (2j, FP INRA ARA)
- 2015 Management de proximité (5j, FP INRA ARA)
- 2013 Logiciel R initiation (3j, FP INRA ARA)
- 2012 Encadrement des doctorants et master (2j, FP INRA ARA)
- 2012 S'affirmer de façon professionnelle (2j, FP INRA ARA)
- 2012 Zootechnie (2j, FP INRA ARA)

2011-2012 Mieux communiquer en public (2011, 2j; 2012, 2j; FP INRA ARA)
2010 Statistiques niveau 2 (4j, FP INRA ARA)
2009 Habilitation à expérimenter sur animaux vivants (80h, Université Blaise Pascal,
Clermont-Ferrand)
2007 Logiciel WIN ISI (spectrométrie infra-rouge) (1j, FP INRA ARA)

AVANT-PROPOS

Ma trajectoire professionnelle se caractérise par un tournant pris en 2000. Après une formation de technicien supérieur en industrie alimentaires et près de dix années passées dans l'industrie laitière comme technicien de laboratoire puis agent de maîtrise de laboratoire, j'ai choisi de faire évoluer fortement ma carrière et répondre à une volonté personnelle très prégnante, celle de m'orienter vers les métiers de la recherche. J'ai donc entrepris une formation d'ingénieur en congé de formation que j'ai complétée par un DEA de biotechnologies, puis une thèse à l'INRA Auvergne Rhône-Alpes.

Lors de mon stage de DEA, j'ai mené une étude visant à déterminer le potentiel toxigène de moisissures du genre *Fusarium* par des techniques de biologie moléculaire [77]. Ces travaux réalisés à l'IFBM (Institut Français de Brasserie et Malterie, Nancy) consistaient à mettre au point des outils moléculaires permettant de prévoir très tôt au champ l'altération de la qualité des orges de brasserie par ces moisissures, ce qui n'est rendu possible qu'à posteriori avec les méthodes traditionnelles (chromatographie, spectrométrie de masse). Des amorces de PCR spécifiques des souches de *Fusarium* productrices de trichothécènes ont été recherchées en utilisant les profils de production de toxines sur orge d'une cinquantaine de souches. Les résultats obtenus ont contribué à l'établissement d'une méthode analytique dont les perspectives sont importantes pour le suivi au champ de la contamination fongique et mycotoxique.

Ce stage sur les mycotoxines m'a permis d'obtenir une bourse CIFRE pour réaliser une thèse à l'UMR Herbivores en partenariat avec la société Lallemand visant à explorer les activités de biotransformation et de séquestration des fusariotoxines chez les bactéries fermentaires pour la détoxification des ensilages de maïs [27,66,67,76]. Grâce à un test *in vitro* [21,41,53], un screening de plus de 200 souches de bactéries fermentaires pour leur capacité à biotransformer et/ou séquestrer le déoxynivalénol, la zéaralénone et les fumonisines a montré que la séquestration de ces fusariotoxines majeures est une activité largement répandue chez ces microorganismes [20,52,75]. Cette propriété qui fait intervenir le peptidoglycane des bactéries [18,65], pourrait permettre de diminuer la biodisponibilité des fusariotoxines chez l'animal et, par conséquent, réduire leur effet toxique. Enfin, des essais ont montré qu'une fraction importante de zéaralénone était également instantanément séquestrée par la flore du contenu ruminal, formant un complexe stable dans des conditions simulant les compartiments post-ruminaux du tube digestif [19,51].

Peu après mon recrutement comme Chargé de Recherche à l'UMR Herbivores, j'ai effectué un stage postdoctoral à l'IBERS (Université d'Aberystwyth, Royaume Uni) qui m'a permis de parfaire ma formation à la recherche dans un laboratoire européen de premier plan, d'acquérir un certain nombre de compétences méthodologiques, et de débiter la constitution de mon réseau de collaboration international. Au cours de ce post-doctorat, j'ai participé à deux études. La première expérimentation consistait à comparer la production de méthane en système de fermentation ruminale en continu de trois monocultures de ray-grass anglais riches en glucides solubles et différant par leur date d'épiaison. Les résultats obtenus ont montré que la variété la plus tardive et la plus riche en glucides solubles est celle qui apporte le meilleur compromis entre utilisation des substrats pour l'animal et production de méthane [48]. La seconde expérimentation consistait à comparer avec le même système *in vitro* la fermentation ruminale de deux graminées récoltées en vert ou pré-fanées, et avec des teneurs en polyphénol oxydase contrastées. Il a notamment été montré que l'activité de l'enzyme était plus importante chez le dactyle que chez la fétuque élevée entraînant une meilleure protection contre la dégradation précoce des protéines végétales [17,39].

Par souci de cohérence avec ma thématique de recherche actuelle sur la valeur des fourrages diversifiés, je n'aborderai pas dans ce mémoire mes travaux de thèse et de post-doctorat. Je présenterai les apports de mes recherches sur i) l'intérêt des mélanges d'espèces fourragères (en incluant certaines plantes contenant des composés bioactifs) pour la nutrition des ruminants et ii) les effets du changement climatique sur la valeur des prairies. Ce mémoire s'achèvera par un bilan et la présentation de mon projet scientifique.

INTRODUCTION

Dans un contexte démographique et économique qui favorise l'augmentation de la production de produits animaux, un enjeu majeur de l'agriculture est d'améliorer la durabilité des systèmes d'élevage. Les productions animales fournissent environ un tiers des protéines consommées au niveau mondial (Herrero *et al.*, 2009) tandis qu'elles utilisent 75% des terres agricoles (Foley *et al.*, 2011) parmi lesquelles un tiers sont des terres arables et deux tiers sont des prairies ou des parcours (Steinfeld *et al.*, 2006). D'autre part, les élevages utilisent 35% des grains produits (Alexandratos and Bruinsma, 2012) et sont responsables de 14,5% des gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropogénique (Gerber *et al.*, 2013). L'élevage de ruminants est particulièrement pointé du doigt puisqu'il est considéré comme peu efficace en terme de conversion des protéines végétales en protéines animales et très fort producteur de GES sous la forme de méthane (CH₄) entérique (Herrero *et al.*, 2016). Par ailleurs, en plus des considérations environnementales, les attentes sociétales vis-à-vis de la qualité des produits et du bien-être animal se font de plus en plus prégnantes. Enfin, les éleveurs sont de plus en plus à la recherche d'autonomie alimentaire afin de mieux maîtriser leurs coûts de production en limitant les achats d'aliments à l'extérieur. L'ensemble de ces éléments de contexte conduisent à un regain d'intérêt pour l'augmentation de la part de l'herbe dans l'alimentation des animaux (Dawson *et al.*, 2011).

Les systèmes d'élevage herbagers permettent l'utilisation de ressources locales, non compétitives avec l'alimentation humaine, et contribuent au développement rural. Bien qu'en déclin depuis plusieurs décennies en Europe, les prairies fournissent en premier lieu une ressource alimentaire pour les ruminants dont l'impact sur la qualité des productions est reconnu, mais également toute une gamme de services écosystémiques (Huyghe *et al.*, 2014). Les prairies jouent un rôle majeur dans une large gamme de processus de régulation : régulation du climat par la fixation et le stockage de carbone, fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par les légumineuses, et régulation de la qualité de l'eau. Comme élément important de la qualité du paysage, leur valeur esthétique et culturelle est également communément partagée. Enfin, les prairies contribuent par leur diversité et leur composition floristique à la pollinisation des cultures ainsi qu'à l'hébergement et au maintien d'une faune sauvage diversifiée (Dumont *et al.*, 2009).

Depuis quelques années, l'INRA a fait de l'agro-écologie un chantier prioritaire. Appliquée aux systèmes d'élevage, l'agro-écologie vise, entre autres, à valoriser certaines régulations écologiques et l'agro-biodiversité pour combiner production, meilleure utilisation des ressources [26] et réduction des impacts environnementaux (Dumont *et al.*, 2013). En s'inscrivant dans ce courant, l'UMR Herbivores a pour mission de développer des systèmes durables d'élevage conciliant efficacité, viabilité socio-économique et adaptabilité des itinéraires de production tout en assurant la protection et la valorisation de l'environnement, le respect du bien-être animal, et la qualité des produits. Au sein de l'Unité, l'équipe Dinamic (Digestion, Nutrition, Aliments, Microbes), animée par Pierre Nozière, a pour mission de comprendre les mécanismes d'ingestion, de la digestion et du métabolisme qui contrôlent la nutrition de ruminants en prenant en compte plusieurs dimensions : efficacité d'utilisation des aliments, services et dys-services environnementaux, ainsi que le confort digestif et la qualité des produits (Figure 1). L'équipe contribue notamment à la conception de systèmes d'alimentation des ruminants basés sur des ressources non comestibles par l'homme.

Ma thématique de recherche a pour objet d'étude les fourrages diversifiés et se place à l'échelle de l'animal. Cette thématique s'inscrit dans les différentes dimensions de la nutrition des ruminants qui sont développées dans l'équipe et consiste à étudier les processus d'interactions alimentaires entre plantes fourragères et leurs conséquences sur l'ingestion et la digestion dans le but d'identifier des combinaisons de plantes susceptibles d'optimiser l'efficacité alimentaire, limiter les rejets polluants, et améliorer la santé des animaux. Je

m'intéresse à des mélanges fourragers de complexité variable : prairies permanentes, associations d'espèces fourragères cultivées, identification et évaluation de la valeur de plantes prairiales moins bien connues et/ou contenant des composés secondaires potentiellement bioactifs sur les processus digestifs et les parasites gastro-intestinaux affectant les ruminants. Ces travaux sont menés en utilisant des niveaux d'approches *in vitro* et *in vivo* complémentaires.

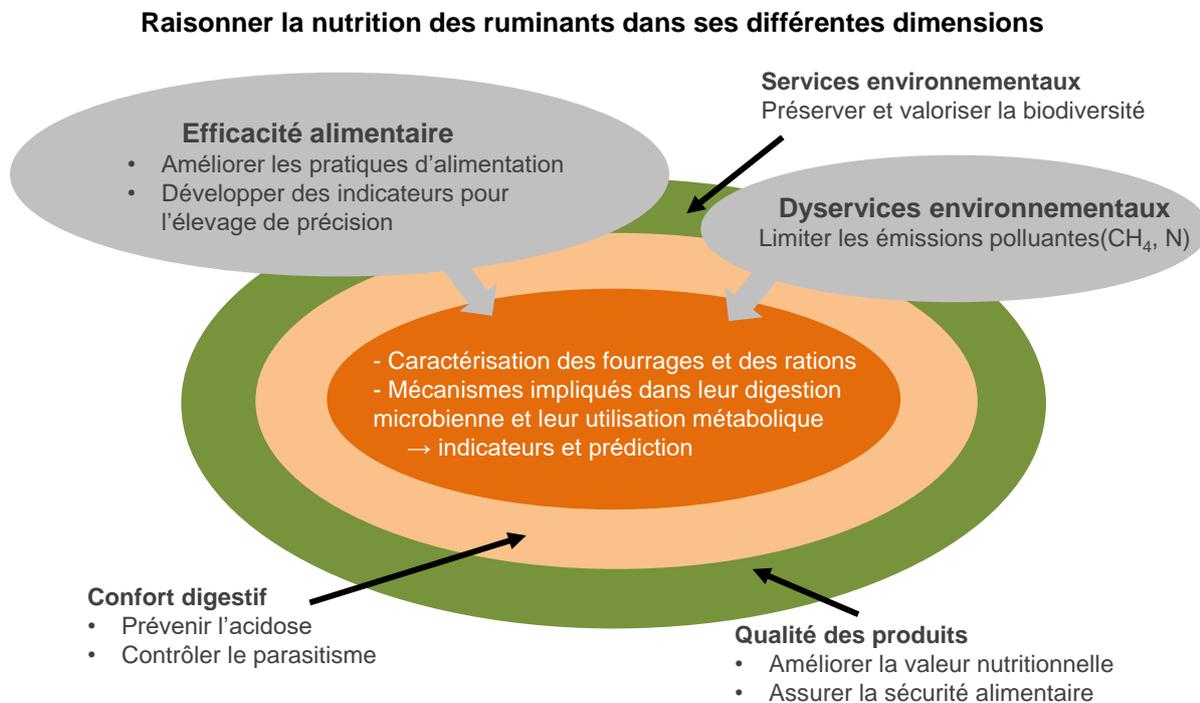


Figure 1 : Principales thématiques et questions de recherche de l'équipe Dinamic (Digestion, Nutrition, Aliments, Microbes)

Parmi les ressources fourragères, les légumineuses permettent de réduire l'usage des intrants chimiques (fertilisants azotés), ce qui est un des principes fondateurs de l'agro-écologie (Altieri, 2000), et prennent en compte l'intérêt pour l'éleveur et l'environnement de limiter l'achat de concentrés énergétiques et azotés [22,55]. Cependant, si les synergies entre graminées et légumineuses sont bien connues au niveau agronomique (Lüscher *et al.*, 2014), les effets associatifs entre ces plantes au niveau de leur utilisation par les animaux restaient moins bien connus [25]. Ces aspects sont développés dans le chapitre 1. De plus, certaines plantes contiennent des composés bioactifs sur les processus digestifs et le cycle de développement des parasites gastro-intestinaux permettant potentiellement de réduire certains rejets polluants (azote, CH₄ entérique) et de limiter l'usage des anthelminthiques de synthèse pour lesquels des multi-résistances sont observées au niveau mondial. Mes travaux sur ces plantes bioactives font l'objet du chapitre 2. Enfin, un volet relatif à l'effet du changement climatique sur la valeur des prairies a également été développé au cours de ces dernières années et est abordé dans le chapitre 3.

EFFETS ASSOCIATIFS ENTRE ESPÈCES FOURRAGÈRES SUR LES PROCESSUS INGESTIFS ET DIGESTIFS

I. INTRODUCTION

Les prairies diversifiées, prairies temporaires multi-espèces et prairies permanentes, apparaissent comme mieux à même de concilier productivité et respect des équilibres environnementaux que les monocultures (Tilman *et al.*, 1996; Hector and Bagchi, 2007). En premier lieu, la diversité spécifique apporte des bénéfices agronomiques. A titre d'exemple, une large étude menée sur 31 sites européens a permis de démontrer que des prairies multi-espèces produisaient de meilleurs rendements à l'hectare et réduisaient significativement les adventices lorsqu'on les comparait aux monocultures correspondantes (Finn *et al.*, 2013). Les mélanges d'espèces combinent généralement des plantes qui ont des dynamiques de croissance contrastées et souvent complémentaires. Les gains de productivité primaire sont souvent liés à la présence d'espèces légumineuses dans les mélanges, puisque non seulement la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique améliore la croissance des graminées du mélange, mais la présence de graminées semble également stimuler la fixation d'azote par les légumineuses (Nyfeler *et al.*, 2011). D'autre part, la diversité fonctionnelle apportée par les assemblages d'espèces est considérée comme un avantage clé de leur valeur agronomique lorsque leurs stratégies de capture ou de conservation des ressources sont suffisamment contrastées (effet de niche) (Sanderson *et al.*, 2004). Enfin, la diversité spécifique dans les prairies permet d'améliorer leur résistance aux événements climatiques extrêmes en stabilisant la productivité des écosystèmes (Isbell *et al.*, 2015). Les mélanges d'espèces permettent ainsi de réduire l'utilisation d'intrants sous forme de fertilisants azotés lorsque les légumineuses sont présentes et d'herbicides grâce à la réduction des adventices (Gastal *et al.*, 2012), ce qui contribue à la double performance économique et environnementale.

A l'échelle de l'animal, l'intérêt des prairies diversifiées est nettement moins documenté. Au-delà de la production primaire, la valeur alimentaire du fourrage mais aussi l'impact sur la qualité des produits animaux sont des éléments clé pour l'alimentation des ruminants. La présence de légumineuses permet d'augmenter la teneur en matières azotées totales du fourrage (Peyraud *et al.*, 2009) et plusieurs études ont montré que certaines associations fourragères comme celle composée de ray-grass anglais et de trèfle blanc permettent d'augmenter la production de lait par rapport à des monocultures de ray-grass anglais (Ribeiro Filho *et al.*, 2003; Egan *et al.*, 2014). Concernant la qualité des produits, les effets de la composition botanique des prairies ont été mis en évidence mais sans que les effets liés spécifiquement à la diversité aient été clairement démontrés (Farruggia *et al.*, 2008).

En parallèle des considérations agronomiques, une meilleure utilisation des prairies diversifiées nécessite de progresser dans la connaissance des interactions digestives entre espèces fourragères et plus largement dans la manière où les ruminants utilisent ces mélanges de plantes de l'ingestion jusqu'à l'élaboration des produits animaux. A travers cette problématique transparait la question de l'efficacité alimentaire de ces mélanges, afin de mieux utiliser les ressources prairiales et réduire les rejets polluants comme le CH₄ et l'azote urinaire par les animaux.

II. DES EFFETS ASSOCIATIFS ENCORE MAL CONNUS

Les systèmes actuels d'évaluation de la valeur alimentaire des fourrages considèrent généralement que les valeurs d'ingestibilité, de digestibilité, d'énergie et d'azote sont additives, et ne prennent pas en compte les possibles interactions entre les composants des différents fourrages d'une ration. Cependant, ces interactions peuvent modifier les processus métaboliques dans le tractus gastro-intestinal des ruminants et, en premier lieu, dans le rumen. En conséquence, l'ingestibilité et la digestibilité d'une combinaison de fourrages pourrait différer des valeurs moyennes pondérées de

ses composants, comme cela a été démontré entre fourrages et concentré énergétique (Berge *et al.*, 1991). Ces interactions digestives peuvent donc avoir un impact significatif en termes d'utilisation des substrats énergétiques et azotés, et d'émissions de CH₄ entérique. Par ailleurs, si l'augmentation du niveau d'ingestion avec des associations fourragères en comparaison des mêmes fourrages ingérés seuls a parfois été observée (Ginane *et al.*, 2002; Cortes *et al.*, 2006), la part relative des déterminants nutritionnels (liés aux performances digestives) et comportementaux (liés à la motivation à ingérer) n'est pas encore bien connue.

Une revue bibliographique [25] m'a permis d'identifier les principales situations dans lesquelles peuvent avoir lieu des effets d'interaction entre fourrages sur l'ingestion et la digestion, à savoir : i) l'augmentation des quantités ingérées avec certaines associations de graminées et de légumineuses sans que la part relative des stimuli pré- et post-ingestifs sur cette réponse ne soit clairement déterminée, et ii) la modification de certains processus digestifs dans le rumen, comme la protéolyse et la méthanogenèse, par l'action de certains composés secondaires bioactifs présents dans certaines plantes fourragères.

La présence d'effets synergiques entre graminées et légumineuses tempérées sur l'ingestion volontaire de matière sèche est régulièrement observée, mais avec une amplitude qui varie selon les espèces et les proportions de chacune des familles botaniques (Figure 2a). L'écart par rapport à la linéarité semble être maximale lorsque la proportion de légumineuse est de 25%. Cependant, l'augmentation d'ingestion de matière sèche lorsque la proportion de légumineuse augmente n'entraîne pas d'augmentation d'ingestion de fibres (Figure 2b). Cette observation supporte le théorie selon laquelle ce sont les parois végétales qui sont limitantes, si bien que les animaux réguleraient leur ingestion à un niveau relativement constant de fibres (Van Soest, 1982).

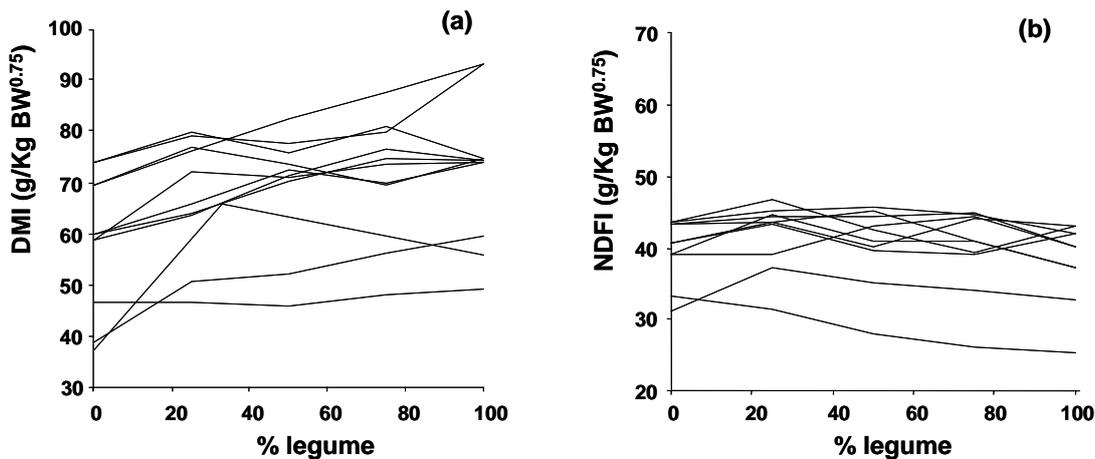


Figure 2. Réponses animales à la proportion de légumineuse dans des associations graminée-légumineuse sur l'ingestion volontaire de matière sèche (DMI, a) et de fibres (NDFI, b). Les données ont été compilées à partir de plusieurs études (Moseley and Jones, 1979; Hunt *et al.*, 1985; Reid *et al.*, 1987; Bowman and Asplund, 1988; Bhatti *et al.*, 2008).

Du point de vue de l'efficacité digestive, des effets de synergie sont généralement observés lorsque les teneurs élevées en énergie ou en composés azotés d'une plante compensent la carence en ces composés d'une autre plante créant un environnement ruminal plus favorable à la croissance microbienne et donc une stimulation de l'activité fibrolytique. Ces effets ont pu être observés lorsque des fourrages pauvres comme les pailles ou certaines graminées tropicales sont supplémentées par des légumineuses ou des feuilles d'arbres (Brown *et al.*, 1991). Dans le cas des associations graminée/légumineuse tempérées, les effets associatifs sur la digestibilité de la matière sèche ou des fibres sont généralement peu marqués et semblent varier selon les espèces associées (Figure 3a et b)

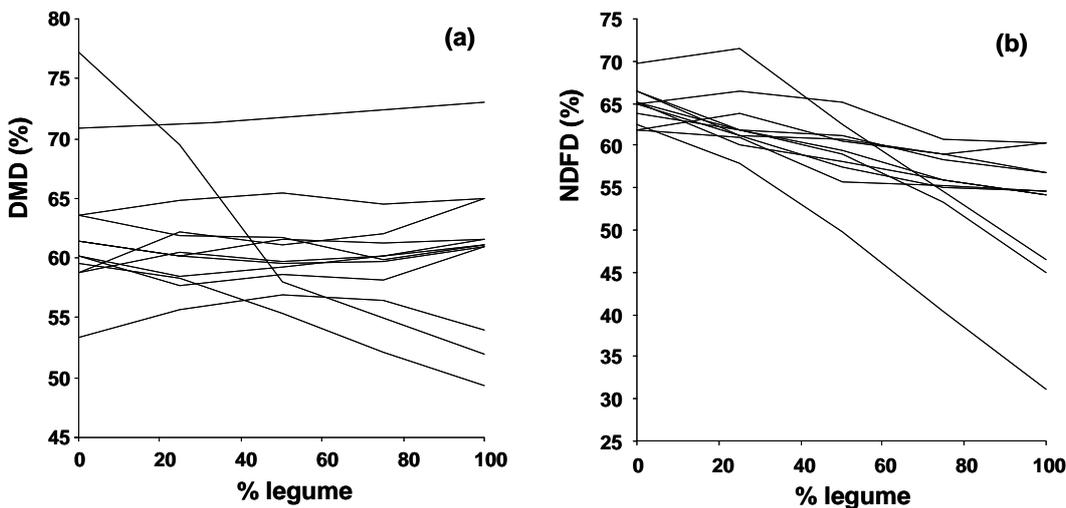


Figure 3. Réponses animales à la proportion de légumineuse dans des associations graminée-légumineuse sur la digestibilité de la matière sèche (DMD, a) et la digestibilité des fibres (NDFD, b). Les données ont été compilées à partir de plusieurs études (Moseley and Jones, 1979; Hunt et al., 1985; Reid et al., 1987; Bowman and Asplund, 1988; Bhatti et al., 2008).

La présence de métabolites secondaires bioactifs dans certaines plantes consommées par les ruminants peut modifier les processus digestifs dans le rumen ou impacter la santé des animaux (Rochfort et al., 2008). Les tannins condensés présents dans certaines légumineuses tempérées comme le sainfoin ou le lotier corniculé et dans de nombreuses plantes tropicales ont la propriété de former des complexes avec les protéines, ce qui a pour effet de protéger celles-ci d'une dégradation excessive par les protéases végétales et par les microorganismes protéolytiques du rumen (Min et al., 2005). Lorsque la teneur en protéines de la ration n'est pas limitante, ce mécanisme permet de diminuer la production d'ammoniaque en excès qui est à l'origine de l'excrétion azotée dans les urines qui représente à la fois une perte azotée pour le ruminant et un rejet polluant qui impacte par lixiviation la qualité des eaux, et par volatilisation la production de protoxyde d'azote, un puissant gaz à effet de serre (Waghorn, 2008). Les tannins condensés présentent également le potentiel de diminuer les émissions de CH₄ entérique (Jayanegara et al., 2012) et de lutter contre les nématodes gastro-intestinaux qui affectent notamment les petits ruminants. Les saponines, présentes par exemple dans la luzerne, suscitent également un fort intérêt en particulier pour ses effets inhibiteurs sur les populations de protozoaires du rumen et la manipulation des fermentations ruminales (Wina et al., 2005). Cependant la dégradation des saponines par la flore microbienne du rumen et l'effet des produits de dégradation sur les fermentations restent largement incompris. Enfin, la polyphénol oxydase (PPO), présente notamment dans le trèfle violet, est une enzyme capable de catalyser l'oxydation des phénols en quinones, des molécules hautement réactives pour se lier aux protéines et qui assurent une protection effective contre la protéolyse et la lipolyse lors de la conservation des fourrages sous forme d'ensilage (Lee et al., 2004). Depuis les années 2000, les recherches sur les plantes bioactives pour moduler les réponses animales sont en fort développement afin de mieux combiner efficacité alimentaire, diminution des rejets polluants et réduction des intrants médicamenteux. Cependant, compte tenu de la complexité des types de composés potentiellement actifs et la variabilité des réponses animales, ce champ de recherche reste largement ouvert avec un fort potentiel d'innovation.

D'un point de vue méthodologique, des approches *in vitro* et *in vivo* complémentaires peuvent être mises en œuvre pour étudier les effets associatifs entre fourrages. Les systèmes de fermentation ruminale *in vitro* en batch ou en système semi-continu (Rusitec) ont pour intérêts leur relative simplicité, leur faible coût, et la possibilité d'étudier la digestion ruminale d'un nombre important de substrats végétaux et de combinaisons de plantes. Les approches *in vivo* permettent quant à elles d'étudier l'ingestion, les activités de mastication, la digestion à travers l'ensemble du tractus gastro-intestinal, et de valider *in fine* les résultats prometteurs obtenus lors des essais *in vitro*.

III. EFFETS ASSOCIATIFS ENTRE GRAMINÉES ET LÉGUMINEUSES

III.1. Etude *in vitro* des interactions digestives entre graminées et légumineuses

Dans un premier état des lieux, j'ai testé les effets associatifs entre certaines espèces tempérées majeures de graminées (ray-grass anglais et dactyle) et de légumineuses (trèfle blanc, trèfle violet, luzerne et sainfoin) sur la digestion dans le rumen *in vitro* [16,40]. Les résultats obtenus sur les huit associations binaires graminée-légumineuse indiquent que le sainfoin peut interagir avec la graminée pour réduire la dégradation précoce de ses protéines et la production de CH₄, et cela quel que soit l'espèce associée. En dehors des mélanges contenant du sainfoin, les essais avec les autres associations fourragères testées n'ont pas mis en évidence d'interactions digestives *in vitro* marquées.

La présence dans le sainfoin de tannins condensés m'a fait fortement suspecter que ces composés étaient responsables des effets associatifs observés, hypothèse que j'ai vérifiée au cours d'une seconde expérimentation. En utilisant l'association dactyle-sainfoin, cet essai m'a permis de mieux caractériser la synergie digestive induite par la présence de sainfoin et de montrer que ce sont bien les tannins condensés du sainfoin qui sont responsables de ces effets grâce à l'utilisation du polyéthylène glycol, un composé qui inactive les tannins en les complexant [Figure 4 ; 13,38]. Ces résultats confortent les travaux d'Aufrère *et al.* (2007) qui avaient montré que les tannins condensés du sainfoin réduisaient la solubilité de l'azote de la luzerne *in vitro* et soutiennent la piste prometteuse que constitue le sainfoin comme composant d'associations fourragères conciliant une bonne valeur alimentaire et un impact environnemental réduit.

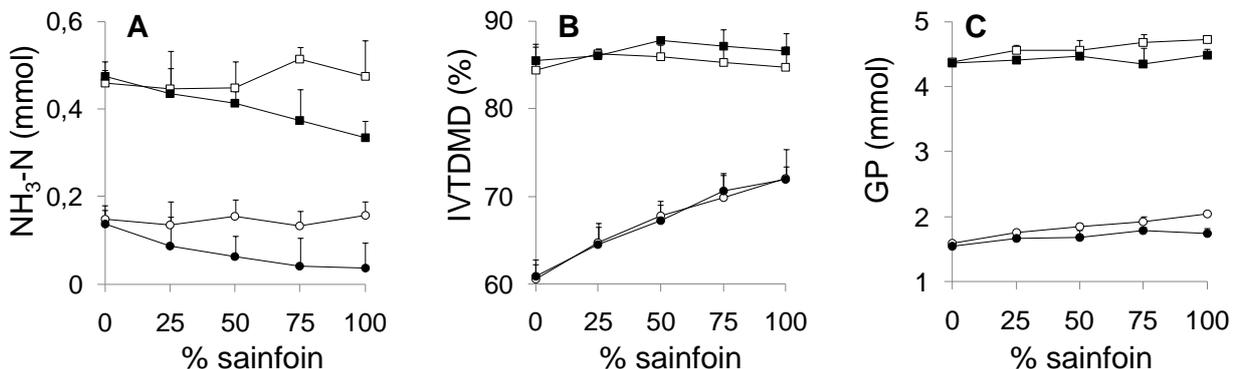


Figure 4. Production d'ammoniac (NH₃-N, mmol) (A), dégradabilité vraie de la matière sèche (IVTDMD, %) (B), et production totale de gaz (GP, mmol) (C), mesurées après 3,5 h (○, ●) et 24 h (□, ■) d'incubation avec (○, □) et sans polyéthylène glycol (●, ■).

III.2. Etude *in vivo* des effets associatifs entre espèces fourragères sur l'ingestion et la digestion chez le mouton

Une série de trois expérimentations a été menée sur trois ans dans le cadre du projet européen *Multisward* (2010-2013) dont le principal objectif était de mesurer les performances des prairies multi-spécifiques en termes de rendement agronomique et de nutrition des ruminants sous différents environnements, et de déterminer les associations fourragères les mieux appropriées en fonction des conditions de climat et de sol. Au cours de ces expérimentations et avec l'aide d'étudiants de Master 2 et d'école d'ingénieur [70-73], j'ai étudié les effets associatifs *in vivo* entre certaines graminées et plantes dicotylédones majeures en établissant les lois de réponse de l'ingestion et de la digestion chez le mouton à différentes proportions de ces plantes. L'aspect original de ces expérimentations résidait dans la réalisation simultanée d'un nombre important de mesures sur animal en utilisant des essais en carré latin, afin d'améliorer les connaissances sur les interrelations

entre le comportement alimentaire et les paramètres digestifs. Les hypothèses testées étaient qu'en raison des interactions alimentaires entre plantes : i) la nature des espèces influence l'efficacité digestive des animaux et donc les émissions de CH₄, ainsi que les quantités de matière sèche ingérée, et ii) il existe des proportions de graminées et de légumineuses qui optimisent les effets d'association entre plantes sur l'ingestion et la digestion. En d'autres termes, il s'agissait de répondre à la question : « Y a-t-il simple additivité ou bien synergie entre espèces sur ces fonctions ? »

Des effets quadratiques significatifs, indicateurs d'effets synergiques, ont été observés entre dactyle et trèfle violet conservés sous forme d'ensilage, et entre ray-grass anglais et chicorée en vert, sur les niveaux d'ingestion volontaire journaliers, avec un optimum avec les proportions 50-50% [Figure 5 ; 23,32]. Cette synergie semblait davantage due à une plus grande motivation à ingérer des mélanges que des plantes pures, plutôt qu'à une digestion plus efficace puisque des effets quadratiques ont été observés sur la vitesse d'ingestion mais pas sur la digestibilité de la matière sèche. Par ailleurs, il n'a pas été observé d'effets associatifs significatifs entre plantes sur les émissions de CH₄, mais les émissions étaient plus faibles lorsque les animaux étaient alimentés avec des fourrages purs de trèfle violet ou de chicorée qu'avec les fourrages contenant une graminée.

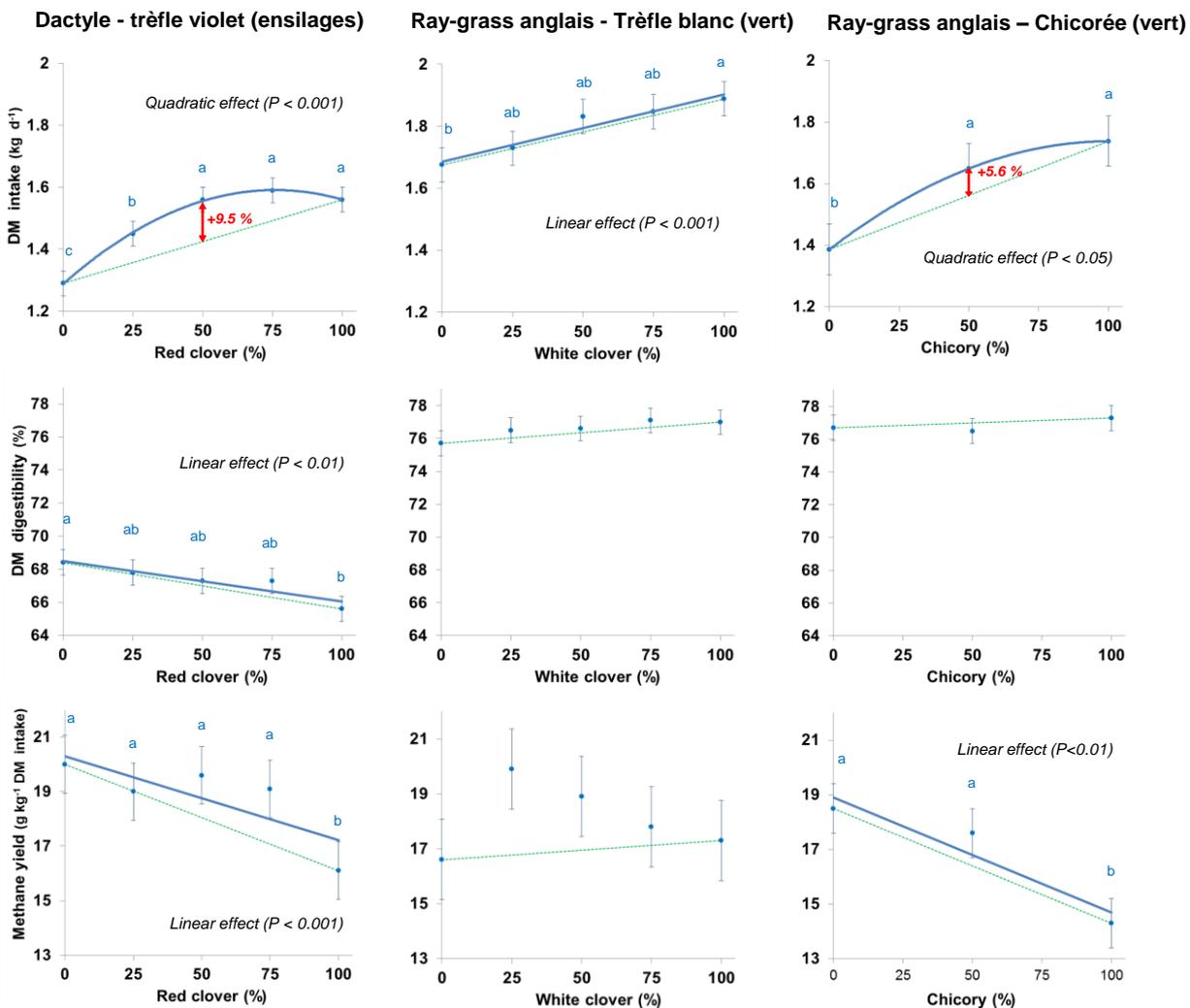


Figure 5. Ingestion volontaire de matière sèche (DM), digestibilité de la matière sèche et émissions de méthane chez des moutons alimentés avec différentes proportions d'ensilages de dactyle et trèfle violet, de fourrages verts de ray-grass anglais et trèfle blanc, et de fourrages verts de ray-grass anglais et chicorée. Les lignes pleines représentent les réponses linéaires ou quadratiques lissées, et les lignes pointillées représentent les réponses théoriques calculées à partir des valeurs observées sur fourrages purs.

Un résultat particulièrement intéressant a été observé avec le mélange d'ensilages de dactyle et de trèfle violet puisque, pour cette association, une synergie sur l'ingestion journalière de matière sèche digestible, indicatrice de performances animales, a pu être observée [6,37]. Par ailleurs, le comportement alimentaire de moutons alimentés avec des mélanges de ray-grass anglais et de trèfle blanc se caractérise par de très nets effets associatifs positifs sur les quantités ingérées, la durée et la vitesse d'ingestion juste après les périodes de distribution, mais avec une compensation lors des repas intermédiaires par de plus faibles quantités ingérées [Figure 6 ; 1]. Ce résultat confirme que l'association d'espèces fourragères peut fortement stimuler la motivation des animaux à ingérer.

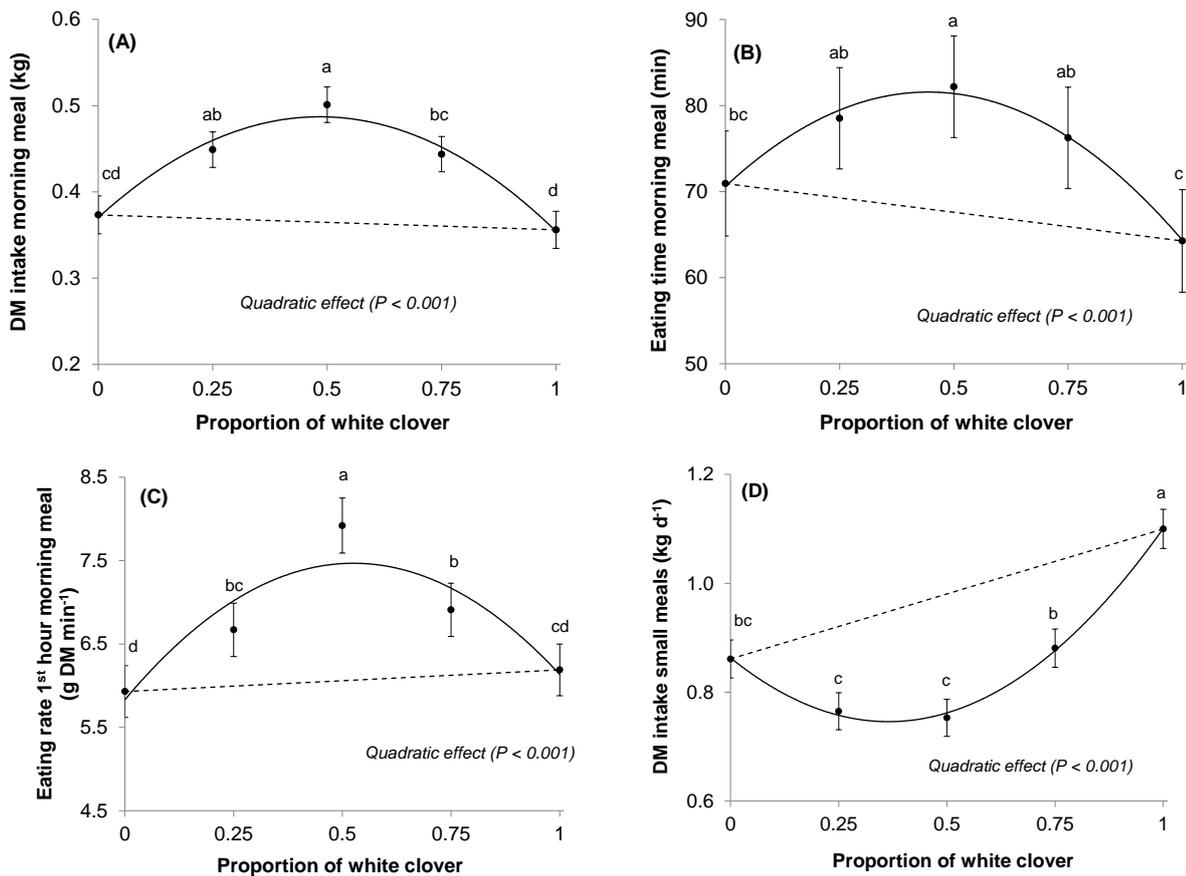


Figure 6. Ingestion de matière sèche (DM) (A), durée d'ingestion (B) et vitesse d'ingestion (C) après la distribution des repas principaux (ici, le repas du matin), et ingestion de matière sèche durant les repas intermédiaires (D) chez des moutons alimentés avec différentes proportions de ray-grass anglais et de trèfle blanc.

D'autre part, une expérimentation similaire menée au Brésil avec une association de graminée et de légumineuse tropicale (herbe à éléphant et foin d'arachide) a permis de montrer qu'une incorporation de 33% de la légumineuse suffisait à augmenter l'ingestion de matière organique digestible avec un effet quadratique positif sur ce paramètre, ainsi qu'une meilleure rétention d'azote par l'animal [2,43]. Ces résultats suggèrent que la synergie entre graminées et légumineuses sur l'ingestion pourrait être largement répandue.

IV. CONCLUSIONS

La mise en évidence de synergies entre graminées et légumineuses fourragères sur la valorisation de ces plantes par les ruminants fournit des arguments supplémentaires en faveur d'une plus large utilisation des légumineuses en élevage. Les légumineuses sont déjà reconnues pour fournir des

services productifs et agro-environnementaux importants à travers une plus grande autonomie protéique et azotée (via la fixation symbiotique), un accroissement de la productivité des prairies associant graminées et légumineuses, une réduction de la lixiviation des nitrates sous prairie et des émissions de protoxyde d'azote grâce à la réduction de la fertilisation minérale, et la sécurisation du calendrier fourrager dans le contexte du réchauffement climatique grâce à un enracinement plus profond (Lüscher *et al.* 2014).

Les résultats obtenus *in vitro* semblent indiquer que les interactions digestives entre espèces ont lieu principalement lorsque des composés bioactifs sont présents. En particulier, les tannins condensés réduisent la production de CH₄ par l'écosystème microbien et réduisent la dégradation des protéines alimentaires dans le rumen permettant d'envisager une réduction des pertes azotées urinaires. En plus du fait que les tannins condensés sont présents dans des légumineuses qui fournissent elles-mêmes les services décrits dans le paragraphe précédent, l'activité biologique de ces composés permet d'envisager d'une part une réduction des pertes énergétiques et azotées et donc une meilleure efficacité alimentaire, et d'autre part une réduction des rejets animaux responsables des émissions de gaz à effet de serre attribués aux ruminants. Le potentiel des plantes bioactives apparaissant important dans la problématique des fourrages diversifiés, j'ai décidé d'y consacrer une part importante de mes recherches à travers : i) un volet exploratoire visant à identifier de nouvelles plantes bioactives, ii) un volet plus opérationnel visant à évaluer des mélanges fourragers contenant des plantes bioactives mieux connues en situation d'élevage.

IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DE LA VALEUR DE PLANTES BIOACTIVES

I. INTRODUCTION

La plupart des composés des végétaux sont produits via le métabolisme primaire et ont un rôle direct sur la photosynthèse, la respiration, la croissance et le développement de la plante. C'est le cas pour une grande majorité des macronutriments disponibles pour les herbivores, à savoir les parois cellulaires, les glucides hydrosolubles, les protéines et les lipides. Les autres composés, dont certains peuvent s'accumuler dans des concentrations importantes dans les plantes, sont considérés comme des métabolites secondaires (Crozier *et al.*, 2006). Contrairement aux métabolites primaires, l'absence de métabolites secondaires n'entraîne pas la mort immédiate de la plante, mais lui confère plutôt un avantage pour sa survie. Selon leurs propriétés spécifiques, les composés secondaires peuvent par exemple protéger la plante des herbivores et des parasites, ou leur donner un pouvoir d'attraction pour les pollinisateurs (Bennett and Wallsgrove, 1994). Plus généralement, les composés secondaires sont souvent impliqués dans les mécanismes de défense des plantes, ainsi que dans l'amélioration de leur persistance et de leurs capacités d'adaptation. À ce jour, plus de 100 000 métabolites secondaires ont été identifiés et on estime que chaque végétal produit au moins une centaine de molécules différentes.

*Tableau 1. Type, concentration et effets biologiques de composés secondaires trouvés dans quelques plantes fourragères. Informations compilées (Barry *et al.*, 2001; Hoskin *et al.*, 2003; Ramirez-Restrepo and Barry, 2005; Hoste *et al.*, 2006)*

Espèce	Composés secondaires	Concentration (g/kg MS)	Effets biologiques
Légumineuses			
Sulla (<i>H. coronarium</i>)	Tannins condensés	51-120	Effets anthelminthiques
Lotier corniculé (<i>L. corniculatus</i>)	Tannins condensés	8-47	Effets anthelminthiques
Lotier pédonculé (<i>L. pedunculatus</i>)	Tannins condensés	16-80	Effets anthelminthiques
Luzerne (<i>M. sativa</i>)	Coumestrol	0-0,1	
	Saponines		Performances, digestion, qualité viande
Sainfoin (<i>O. viciifolia</i>)	Tannins condensés	10-80	Effets anthelminthiques, réduction CH ₄ et azote urinaire
Trèfle violet (<i>T. pratense</i>)	Isoflavones	7-14	Problèmes de reproduction chez le mouton
Lespedeza de chine (<i>L. cuneata</i>)	Tannins condensés	19-46	Effets anthelminthiques
Cytise (<i>C. palmensis</i>)	Flavones	50-110	Baisse d'ingestion
	Tannins condensés	25-50	
	Alcaloïdes	2-11	
Graminées			
Ray-grass anglais (<i>L. perenne</i>)	Tannins condensés	1.8	
	Alcaloïdes endophytes	0.012-0.030	Tétanie du ray-grass
Ray-grass d'Italie (<i>L. multiflorum</i>)	Tannins condensés	3-4	
Houlque laineuse (<i>H. lanatus</i>)	Tannins condensés	4-5	
Dicotylédones diverses			
Chicorée (<i>C. intybus</i>)	Sesquiterpènes lactones	3-5	Effets anthelminthiques
Plantin (<i>P. lanceolata</i>)	Hétérosides Iridoïde (Aucubine, catalpol)	30	Effets anthelminthiques
	Tannins condensés	14	

Lorsqu'ils sont ingérés par les herbivores, certains composés secondaires peuvent affecter négativement les fonctions métaboliques et cellulaires, entraîner une perte de poids ou même la mort de l'animal (Cheeke and Shull, 1985). Ils peuvent donc limiter l'ingestion volontaire (et donc les performances animales) surtout si l'animal a expérimenté certains troubles physiologiques liés à leur présence dans les espèces ingérées (Freeland and Janzen, 1974). Toutefois, consommés à de faibles concentrations ou dans des mélanges appropriés, certains composés secondaires peuvent

également avoir des effets bénéfiques sur la productivité et la santé des herbivores (Brooker and Acamovic, 2005) en interagissant avec certaines fonctions biologiques (Rochfort, 2008). Le tableau 1 liste un certain nombre de plantes fourragères bioactives chez les ruminants. Il faut noter que certains composés primaires, tels que des enzymes (par exemple la PPO) peuvent également être bioactifs. Ces composés qui sont parfois utilisés en médecine humaine, représentent un champ de recherche prometteur en nutrition animale, d'autant que les méthodes analytiques actuelles permettent de mieux identifier les molécules responsables d'activité biologique d'intérêt.

II. SCREENING DE PLANTES

L'idée selon laquelle la présence de composés secondaires bioactifs joue un rôle majeur dans la production d'interactions digestives [57,60,62] m'a conduit à réaliser un screening *in vitro* de 156 plantes issues des prairies très diversifiées du Massif Central pour tester leur potentiel à concilier haute digestibilité et réduction de la protéolyse ruminale et des émissions de CH₄ [9,10,33,74]. Les plantes ont été sélectionnées sur la base d'une valeur nutritive et d'une capacité à interférer sur les processus digestifs en grande partie inconnues. Certaines de ces plantes sont abondantes dans les prairies permanentes et peuvent être potentiellement consommées en quantités significatives au pâturage. Elles pourraient également être des espèces candidates pour la production d'extraits de plantes utilisables pour la manipulation des fermentations ruminales.

La fermentation de 13 de ces plantes a entraîné une production de CH₄ par unité de matière organique réellement dégradée au moins 50% plus faible que celle du ray-grass anglais utilisé comme témoin (Figure 7A). Parmi ces 13 plantes, deux réduisaient le CH₄ de plus de 80% (*Bidens tripartita* subsp. *tripartita* et *Scrophularia nodosa* L.) et quatre avaient une dégradabilité de la matière organique supérieure à 80% (*Bidens tripartita* subsp. *Tripartite*, *Epilobium hirsutum* L., *Xanthium strumarium* L. et *Serratula tinctoria* L.). Les mécanismes d'action conduisant à la réduction de la production de CH₄ semblent être différents selon les plantes puisque l'incubation de certaines d'entre elles entraînaient une accumulation de H₂ dans les gaz de fermentation, tandis que d'autres pas. La réduction de la production de CH₄ associée à une accumulation d'H₂ alors même que les substrats (CO₂ et H₂) sont présents, indique que la méthanogenèse est au moins partiellement inefficace, et ceci très probablement en raison la présence de composés ayant une action antimicrobienne sur les archaea méthanogènes.

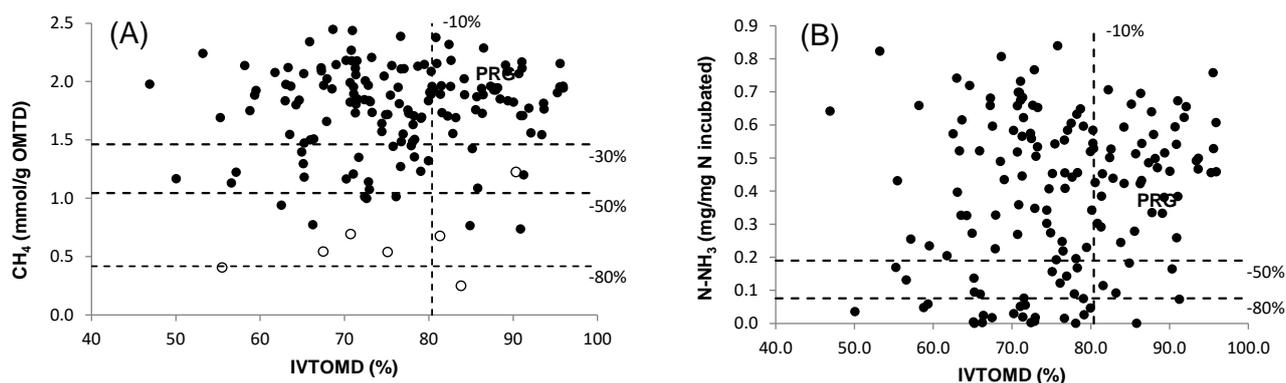
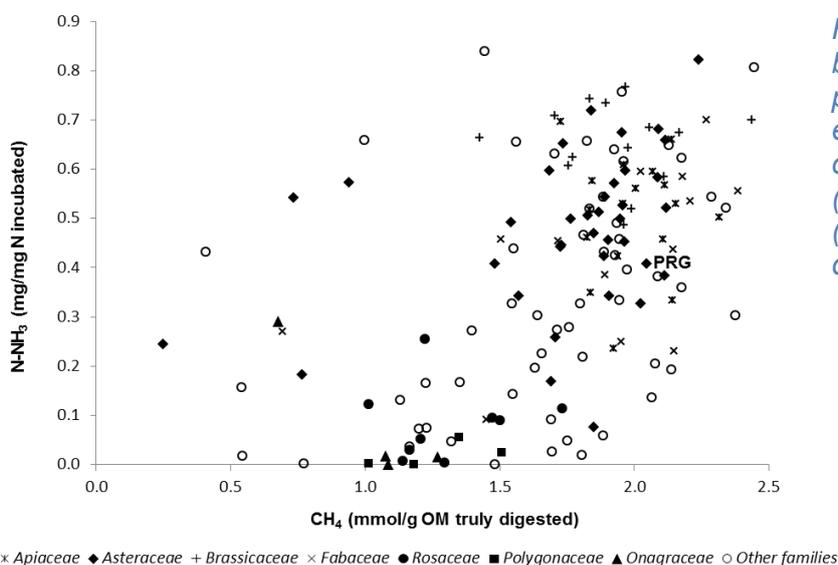


Figure 7. Distribution des plantes testées selon (A) la production de méthane (CH₄, exprimée en mmol/g matière organique réellement dégradée (OMTD)), (B) l'azote ammoniacal (N-NH₃, exprimé en mg/mg d'azote incubé) et la dégradabilité vraie de la matière organique *in vitro* (IVTOMD). (●) représentent les plantes menant à une accumulation de H₂ inférieure à 7.5 μmol/g matière organique, et (○) représentent les plantes menant à une accumulation de H₂ supérieure à 7.5 μmol/g matière organique. Les plantes produisant 15% moins de CH₄, 25% moins de N-NH₃ ou avec une IVTOMD 10% plus faible que celle du ray-grass anglais (PRG, témoin) étaient significativement différentes du PRG ($P < 0.05$).

En termes d'efficacité d'utilisation de l'azote, la fermentation de 37 plantes a réduit de plus de 50% le ratio NH_3/N incubé, indicateur de la protéolyse ruminale, par rapport au ray-grass anglais, dont six plantes avec un ratio nul (*Oenothera biennis* L., *Polygonum hydropiper* L., *Hypericum perforatum* L., *Polygonum bistorta* L., *Actaea spicata* L. et *Sanguisorba officinalis* L.) (Figure 7B).

Une analyse multicritères et par famille botanique a également été menée. Les familles les plus efficaces pour réduire simultanément la production de CH_4 et la protéolyse étaient les *Rosaceae*, les *Onagraceae*, les *Polygonaceae* et les *Dipsacaceae* (Figure 8). Chez des espèces de *Polygonaceae*, diverses activités biologiques comme des effets antioxydants ou antiparasitaires ont déjà démontrées en raison de leurs hautes teneurs en composés phénoliques et en flavonoïdes (Peng *et al.*, 2003; Hsu, 2006). Des espèces d'*Epilobium* appartenant à la famille des *Onagraceae* peuvent avoir forte activité antimicrobienne (Battinelli *et al.*, 2001) et des teneurs élevées en polyphénols et en tannins hydrolysables. Par ailleurs, les *Polygonaceae* et les *Epilobium* sont couramment utilisées comme plantes médicinales traditionnelles (Wojdyło *et al.*, 2007).



Grace à ce screening de 156 plantes prairiales, nous avons une meilleure connaissance de leurs valeurs nutritive et environnementale qui étaient dans une très large mesure totalement inconnues. Les résultats obtenus tendent à confirmer le potentiel des composés bioactifs des plantes pour créer des synergies digestives au sein de mélanges d'espèces. Nous disposons ainsi d'une sélection de plantes candidates pour i) être de possibles plantes indicatrices de prairies à haute valeur environnementale, ii) la formulation d'associations fourragères innovantes pour les plantes les plus compétitives, iii) être utilisées sous formes d'extraits végétaux pour manipuler les fermentations ruminales. Sur ce dernier point, un partenariat avec une société industrielle locale (Phytosynthèse S.A) commercialisant des huiles essentielles pour l'alimentation animale a été initié. Il reste que l'utilisation pratique des plantes candidates dépend de leurs caractéristiques agronomiques, de leur palatabilité, de leurs effets à long terme *in vivo*, mais aussi de leur potentielle toxicité.

III. UTILISATION DU SAINFOIN ET DU TRÈFLE VIOLET CHEZ LES OVINS

Grâce à leur richesse en protéines et à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, les légumineuses permettent d'améliorer l'autonomie protéique des élevages et de réduire l'utilisation des fertilisants azotés. De plus, certaines légumineuses sont riches en tannins condensés comme le sainfoin [30] ou contiennent la PPO comme le trèfle violet. La PPO est une enzyme qui catalyse l'oxydation de composés phénoliques en quinones hautement réactives vis-à-vis des protéines. Les quinones, en se liant aux protéines tout comme le font les tannins condensés ont le potentiel d'en réduire la dégradation enzymatique et microbienne, notamment lors de la phase de fermentation lactique du

fouillage dans les silos. En effet, lors de cette phase, le hachage des plantes permet la mise en contact de la PPO présente dans les chloroplastes avec les composés phénoliques situés dans les vacuoles, et une fenêtre d'oxygénation permet la réaction d'oxydation avant la stabilisation des silos.

Le projet européen Marie Curie *LegumePlus* (2012-2015) a permis de constituer un réseau de jeunes chercheurs autour des légumineuses bioactives, et de développer une approche multidisciplinaire pour mieux comprendre l'intérêt de ces espèces fourragères. Ce projet avait pour objectif principal d'explorer les mécanismes d'action des composés bioactifs présents dans certaines légumineuses fourragères afin i) d'augmenter l'efficacité d'utilisation des protéines, ii) de réduire les émissions de méthane entérique, iii) d'améliorer la qualité des produits laitiers et carnés, et iv) d'inhiber les parasites gastro-intestinaux. Neuf instituts de recherche européens ont participé à ce projet, mobilisant des compétences autour de l'agronomie, l'amélioration des plantes, la chimie des tannins, les impacts environnementaux, la santé animale et la nutrition animale. L'objectif spécifique de la thèse de G. Copani que j'ai co-encadrée (avec C. Ginane, INRA UMRH) était d'analyser les bénéfices potentiels de l'utilisation du sainfoin et du trèfle violet en mélange avec une graminée sur la conservation des plantes en ensilage et leur utilisation par les ovins [54,56,69].

Dans un premier temps, cette thèse a permis de montrer que l'inclusion de sainfoin et de trèfle violet dans les ensilages de graminée (fléole) améliore la qualité du fourrage, la fermentation ainsi que la protection des protéines contre une dégradation au sein du silo [11,34]. Ce bénéfice sur la conservation du fourrage a été démontré en mini-silos à travers de plus faibles valeurs de pH, d'azote soluble et d'ammoniaque, et des concentrations plus élevées en acide lactique en comparaison de la graminée ensilée pure [Figure 9].

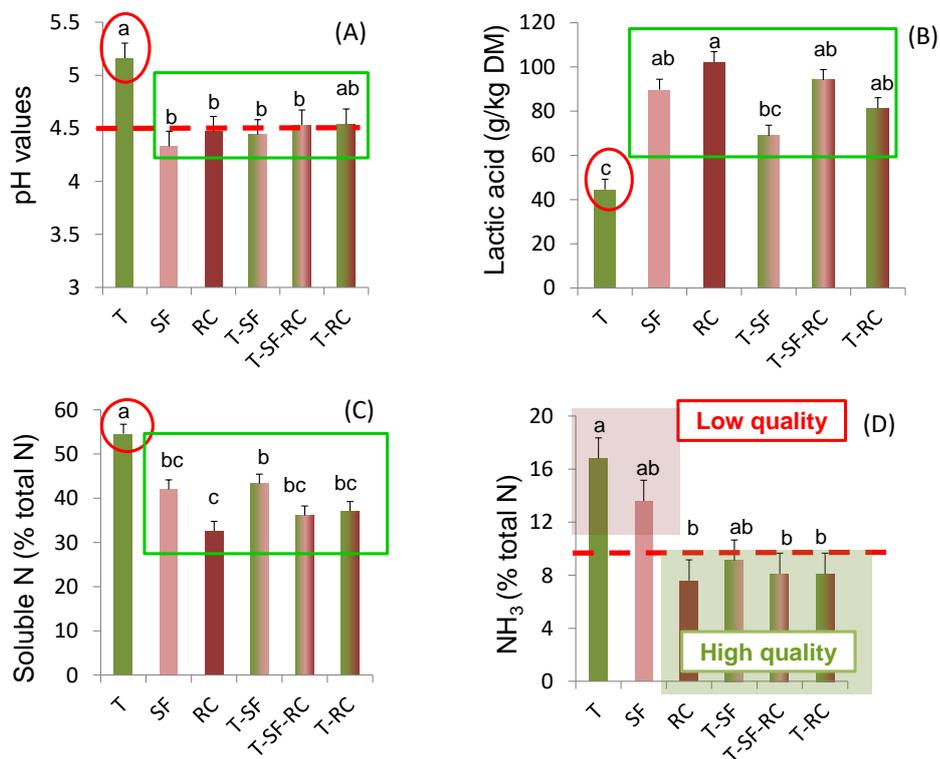


Figure 9. (A) Valeurs de pH, (B) concentration en acide lactique, et pourcentages (C) d'azote (N) soluble et (D) d'ammoniaque (N-NH₃) dans l'azote total dans les ensilages de fléole pure (T), sainfoin (SF) pur, trèfle violet (RC) pur, mélange binaire T-SF (50:50%), mélange binaire T-RC (50:50%) et mélange ternaire T-SF-RC (50:25:25%).

Lorsque ces mêmes ensilages ont été testés en système de fermentation ruminale *in vitro* [7], nous avons observé que la présence de trèfle violet en mélange binaire avec la fléole ou en mélange ternaire avec la fléole et le sainfoin entraînait une intensité de fermentation similaire à celle de la fléole pure, avec un effet associatif positif entre fléole et trèfle violet sur la production d'AGV. D'autre part, le ratio entre l'azote ammoniacal et l'azote insoluble, indicateur de la dégradation ruminale des protéines de l'ensilage, était plus faible lorsque le trèfle violet était présent dans les mélanges

suggérant que les complexes quinone-protéines sont restés relativement stables lors de la fermentation ruminale. Enfin, la production de CH₄ par g de matière sèche incubée était légèrement inférieure lors de la fermentation de l'ensilage de sainfoin que lors de celles des ensilages de fléole ou de trèfle violet. Globalement, ces essais ont montré que les bénéfices de l'addition de trèfle violet dans les mélanges que nous avons observés sur la qualité de l'ensilage sont aussi présents au niveau l'efficacité de la digestion ruminale. Le potentiel du sainfoin pour réduire la production de CH₄ par l'écosystème microbien ruminal semble dans une certaine mesure vérifié lorsque celui-ci est sous forme d'ensilage, mais pourrait être moins fort qu'en fourrage vert, probablement en raison d'une moindre disponibilité des tannins condensés préalablement complexés aux protéines végétales.

Afin d'étudier les effets des ensilages contenant du sainfoin et du trèfle violet sur la digestion de l'animal entier et les performances en conditions d'élevage, deux essais *in vivo* ont été menés en parallèle avec le même matériel végétal sur des moutons en cage à métabolisme et chez des agneaux en croissance (Figure 10).

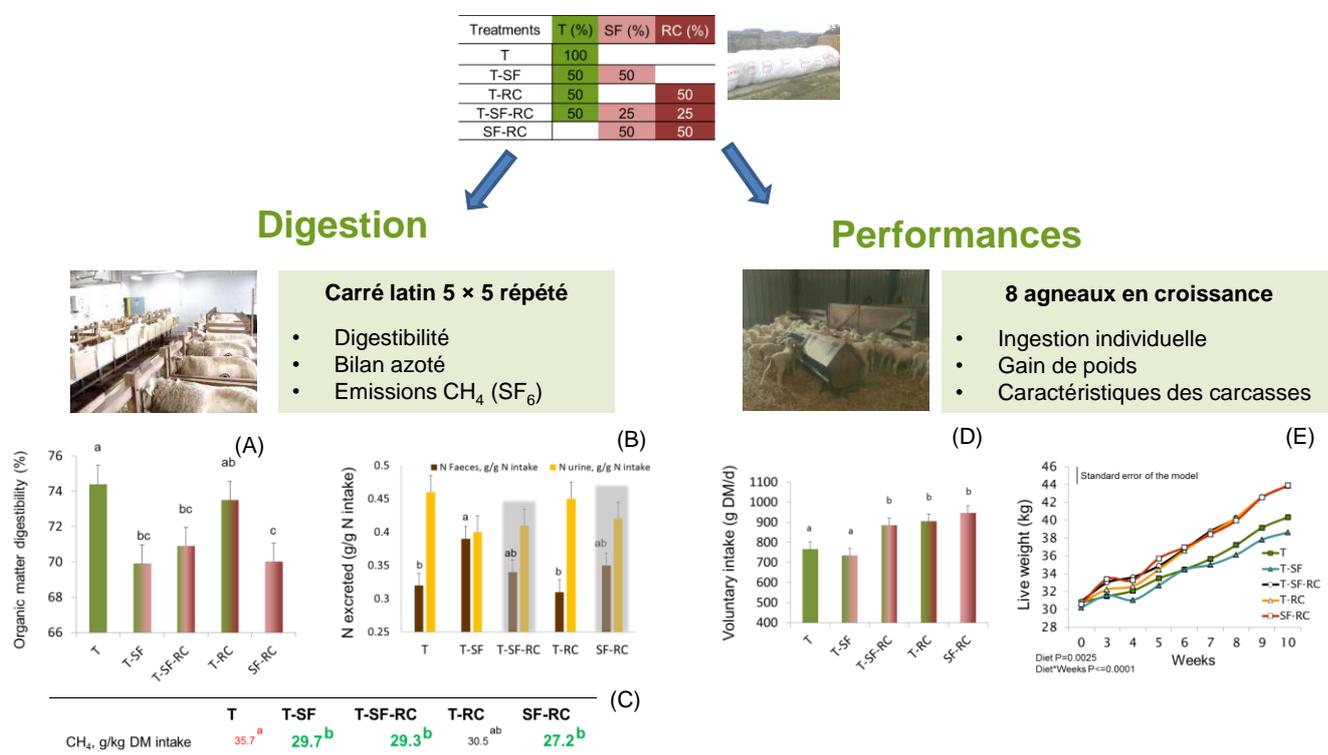


Figure 10. Essais *in vivo* de digestion et de performances chez des ovins alimentés avec différents ensilages contenant de la fléole (T, témoin en pur), du sainfoin (SF) ou du trèfle violet (RC) : (A) Digestibilité de la matière organique, (B) Proportions de l'azote ingéré excrétées dans les urines et les fèces, (C) émissions de méthane (CH₄) par g de matière sèche ingérée, (D) Ingestion volontaire journalière, et (E) cinétique de croissance des agneaux.

Les résultats obtenus en cage à métabolisme indiquent que l'inclusion de sainfoin dans les ensilages réduit la digestibilité de la matière organique par rapport à la fléole pure (Figure 10A), mais que les niveaux de rejets polluants sont proportionnellement moins élevés. En effet, l'excrétion de l'azote était davantage dirigée vers les fèces que vers les urines pour le mélange fléole-sainfoin qu'avec les autres traitements (Figure 10B). Ce résultat suggère que les complexes tannins-protéines ne se sont pas totalement dissociés lors de leur transit tout au long du tube digestif des animaux et semble confirmer l'hypothèse selon laquelle les complexes se reformeraient dans les conditions alcalines de l'intestin après dissociation dans les conditions acides de l'abomasum (Mueller-Harvey, 2006). Ce « shift » d'excrétion azotée des urines vers les matières fécales est bénéfique en termes d'impact

sur l'environnement car l'azote urinaire est plus volatile et donc plus rapidement converti en gaz à effet de serre (protoxyde d'azote) que celui contenu dans les fèces (Varel *et al.*, 1999), mais n'apporte pas d'avantage productif puisque la proportion d'azote retenu dans les tissus animaux semble ne pas être améliorée. Concernant les émissions de CH₄ entérique, celles-ci apparaissent comme moins élevées avec les animaux alimentés avec les mélanges contenant du sainfoin qu'avec ceux alimentés avec de la fléole pure (Figure 10C). Comme pour ce qui a été observé *in vitro*, les différences entre traitements étaient relativement faibles, ce qui pourrait dû à une disponibilité limitée des tannins déjà engagés dans des complexes avec les protéines dans l'ensilage.

L'alimentation d'agneaux en croissance avec les mélanges comportant du trèfle violet s'est traduite par une augmentation de l'ingestion de matière sèche, en comparaison des agneaux alimentés avec la fléole pure [Figure 10D, 3,45]. Le plus faible niveau d'ingestion observé avec le mélange fléole-sainfoin peut en grande partie s'expliquer par une plus forte teneur en fibres et une moindre digestibilité. En toute logique, les niveaux d'ingestion élevés chez les agneaux alimentés avec des ensilages contenant du trèfle violet ont mené à des vitesses de croissance plus élevées (Figure 10E) atteignant jusqu'à 235 g/jour pour le mélange fléole-trèfle violet (contre 145 g/jour pour le mélange fléole-sainfoin) et à des poids de carcasse atteignant 20,5 kg pour le mélange fléole-trèfle violet (contre 17,2 kg pour le mélange fléole-sainfoin). Enfin, des analyses complémentaires réalisées en collaboration avec les Universités de León (Espagne), Pérouse (Italie) et Catane (Sicile) sur des échantillons de contenu ruminal et de muscle (*Longissimus*) prélevés à l'abattage des agneaux ont permis de montrer que des effets positifs et additifs sur la biohydrogénation ruminale et sur la composition en acides gras polyinsaturés du muscle pouvaient être observés en présence de sainfoin et de trèfle violet [4,29,44].

En conclusion de cette thèse, les résultats indiquent que chaque espèce apporte des avantages différenciés, plutôt orientés vers la qualité de l'aliment et les performances animales pour le trèfle violet, et plutôt orientés vers la réduction des rejets pour le sainfoin [28,56]. Par ailleurs, ces travaux ont alimentés ceux réalisés dans le projet *LegumePlus* par A. Ramsay lors de son post-doctorat et qui ont permis d'améliorer sensiblement la méthode d'extraction et de quantification par HPLC des tannins condensés du sainfoin lorsque celui-ci est analysé sous forme d'ensilage [5,31].

IV. CONCLUSIONS

Mes recherches sur les plantes bioactives s'intègrent dans le développement de l'agroécologie en élevage à travers plusieurs principes comme le recours accru à des régulations biologiques afin de concevoir des systèmes productifs mais moins dépendants des intrants (grâce à l'usage des légumineuses, notamment) ou le fait de considérer la biodiversité comme une ressource et un patrimoine à préserver. J'ai choisi d'aborder ce sujet avec une stratégie à plusieurs niveaux d'approches: i) un volet exploratoire avec le screening de 156 plantes prairiales qui m'a permis de mieux appréhender la valeur de ces plantes et leur potentiel à réduire les rejets polluants de CH₄ et d'azote, et ii) un volet opérationnel qui a consisté à tester et comparer les effets de deux légumineuses bioactives, le sainfoin et le trèfle violet contenant des tannins condensés et la PPO respectivement, et cela sur un continuum allant de la qualité de l'aliment jusqu'à la qualité de la viande produite chez des agneaux en croissance.

Le champ de recherche sur les plantes bioactives reste largement ouvert compte tenu du nombre et de la complexité des mécanismes liés à la synthèse des molécules actives selon les espèces, le stade de développement des plantes, les génotypes et les conditions environnementales qui déclenchent et modulent leur production. Un autre niveau de complexité se situe dans le devenir des molécules actives dans l'animal, et notamment dans le rumen au niveau duquel de nombreuses biotransformations ont lieu avec de possibles adaptations de l'écosystème microbien. A moyen terme, mes travaux sur cette thématique devrait consister à tester *in vivo* quelques plantes particulièrement prometteuses issues du screening de plantes et à ouvrir l'utilisation de ressources bioactives à des sous-produits de l'agro-industrie contenant des tannins ayant potentiellement des effets à la fois sur la nutrition et la santé animale. Les recherches sur ce type de ressources

contribuent à explorer d'autres principes de l'agréologie appliqués aux systèmes d'élevage, à savoir le bouclage des cycles à travers la valorisation des déchets agro-industriels et la gestion intégrée de la santé animale à travers la réduction des intrants médicamenteux.

EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES PRAIRIES

I. INTRODUCTION

Les grands bouleversements climatiques qu'ils soient passés comme celui ayant eu lieu lors de la transition entre Pléistocène et Holocène (McLauchlan *et al.*, 2013) ou le réchauffement anthropique actuel modifient les grands cycles biogéochimiques avec des répercussions sur les structures de végétations dans les prairies (Craine *et al.*, 2013). Actuellement, tous les modèles climatiques prédisent une augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique, des températures moyennes et une plus forte variabilité des températures et des précipitations d'ici la fin du 21^{ème} siècle (Van Oldenborgh *et al.*, 2013). Une concentration croissante de CO₂ atmosphérique est l'aspect le plus prévisible du changement atmosphérique mondial: entre 1980 et 2014, elle est passée de 338 à 398 ppm. En 2100, la concentration atmosphérique de CO₂ pourrait atteindre entre 421 et 936 ppm selon les scénarios, tandis que la température moyenne annuelle de la surface de la terre devrait augmenter de 1,1 à 2,6°C par rapport à la période 1986-2005 (Collins *et al.*, 2013). D'autre part, l'augmentation de la variabilité intra et interannuelle est un autre aspect important du changement climatique. Schär *et al.* (2004) prévoient que la variabilité d'une année à l'autre pour la zone centrale de l'Europe doublera d'ici à 2100. Cela se traduirait en particulier par une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur et des sécheresses pendant la saison de croissance de l'herbe.

Si les effets du CO₂ et de la température sur la croissance des végétaux et la dynamique de végétation dans les prairies ont fait l'objet de nombreux travaux et synthèses (Soussana *et al.*, 2002; Picon-Cochard *et al.*, 2013), l'impact du changement climatique sur la qualité des fourrages a été moins étudié et les efforts ont davantage porté sur les prairies semées des zones tempérées que sur les prairies permanentes. Néanmoins, la végétation des prairies pouvant être affectée d'une part par la sécheresse et les températures élevées en zone méditerranéenne, et d'autre part par les basses températures en zone de montagne, l'étude de ces situations apparaît comme particulièrement pertinente. L'hypothèse est que les modifications de l'écophysiologie des plantes et de la composition botanique des prairies en réponse au changement climatique peuvent affecter la composition chimique du fourrage et donc son utilisation par les herbivores.

II. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES PRAIRIES PERMANENTES

II.1. Méta-analyse appliquée aux zones méditerranéennes et de montagne

Dans le cadre du projet européen *AnimalChange* (2011-2014) qui visait à intégrer des options de mitigation et d'adaptation des productions animales au changement climatique, j'ai contribué à la réalisation d'une méta-analyse coordonnée par B. Dumont à partir de données issues d'expérimentations de manipulation climatique en champ pour comprendre les effets de ces changements sur la qualité des fourrages issus des zones méditerranéennes et de montagne [8,36]. Il ressort de ce travail que, prises séparément, les variables du changement climatique n'entraînent pas de baisse notable de la qualité des fourrages (Figure 11). En particulier, nous n'avons pas montré d'effet de l'augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique sur la teneur en fibres et la digestibilité. Néanmoins, l'élévation de la concentration en CO₂ atmosphérique réduit en moyenne de 9% la teneur en azote des fourrages, bien que celle-ci puisse être maintenue par l'augmentation de la part des légumineuses dans les couverts. Nous n'avons pas observé d'effet de l'augmentation des températures sur les teneurs en azote, sucres solubles et fibres ainsi que sur la digestibilité des fourrages, mais avec certaines disparités entre zones. En effet, nous avons mis en évidence une augmentation de 9% de la teneur en azote des fourrages en zone de montagne, ce qui n'est pas observé en zone méditerranéenne.

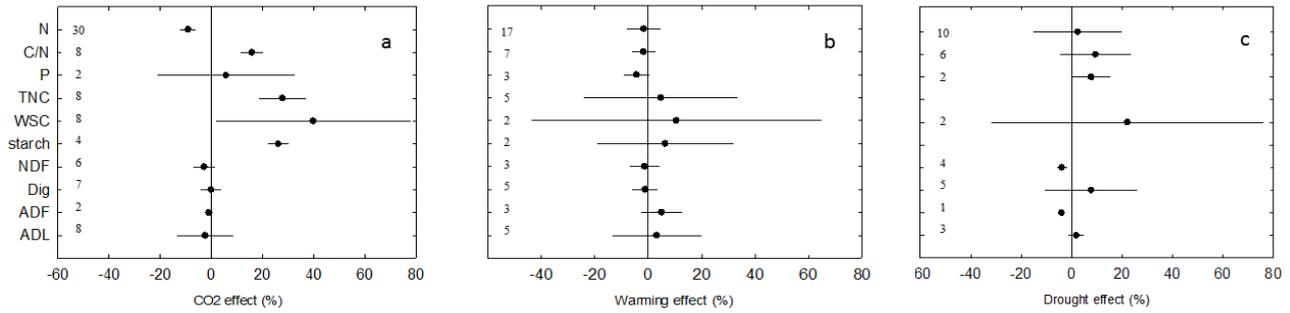


Figure 11. Effets moyens a) d'une élévation du CO₂ atmosphérique, b) d'une augmentation de la température et c) de la sécheresse sur les principales variables de la qualité du fourrage. N : azote ; C/N : ratio carbone/azote ; P : phosphore ; TNC : hydrates de carbones non structuraux ; WSC : glucides hydrosolubles ; starch : amidon ; NDF : fibres après traitement au détergent neutre ; Dig : digestibilité ; ADF : fibres après traitement au détergent acide ; ADL : lignine. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le nombre des observations traitées pour chaque variable est reporté au niveau de l'axe des ordonnées.

Enfin, nous avons mis en évidence un continuum de l'effet d'une sécheresse sur la teneur en azote des fourrages qui augmente de manière curvilinéaire avec la diminution de la disponibilité en eau. La digestibilité des fourrages augmente de 10% en réponse à la sécheresse, mais cette valeur moyenne masque des disparités importantes entre essais. Une explication de ces variations de qualité pourrait résider dans les changements de la structure des communautés végétales. A titre d'exemple, lors d'un épisode de sécheresse, certaines légumineuses comme le trèfle blanc ont tendance à disparaître tandis que des espèces à racines profondes comme la chicorée ont tendance à mieux résister (Skinner *et al.*, 2004). Au-delà de leurs effets séparés, les effets des variables du changement climatique doivent aussi être analysés de manière combinée, ainsi que ceux d'événements extrêmes.

II.2. Réponse d'une prairie permanente de moyenne montagne au changement climatique

Dans le projet *AnimalChange*, une expérimentation a été mise en place à l'Ecotron de Montpellier, une infrastructure du CNRS dont la finalité est d'étudier le comportement des écosystèmes face à des bouleversements environnementaux. L'objectif était de mesurer l'impact d'une élévation de la température et de la teneur en CO₂ atmosphérique ainsi que de la survenue d'un événement extrême de type canicule sur la valeur alimentaire d'une prairie permanente de moyenne montagne. Cette expérimentation a été réalisée en collaboration avec C. Picon-Cochard de l'Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial (UREP) [46].

Quatre traitements ont été appliqués : deux niveaux de concentrations de CO₂ atmosphérique (actuelle et future, soit 380 et 520 ppm, respectivement) avec ou sans un événement extrême estival consistant en une vague de chaleur de deux semaines (+ 6°C) associée à une sécheresse sévère de trois mois, suivie d'une période de récupération en automne (Figure 12). Pour tous les traitements, la température était régulée 2°C au-dessus de la température actuelle. La qualité du fourrage a été mesurée quatre fois : une fois au printemps l'année précédant l'évènement extrême, deux fois au printemps juste avant l'évènement, et une fois en automne après réhydratation des plantes.

Schéma expérimental

- Manipulation du climat en conditions contrôlées (Ecotron)
- Scénario climatique 2045 (+ 2°C) + évènement extrême (canicule)
- 4 traitements:
 - 2 concentrations de CO₂ : actuelle (380 ppm) et future (520 ppm)
 - 2 modalités : avec et sans évènement extrême

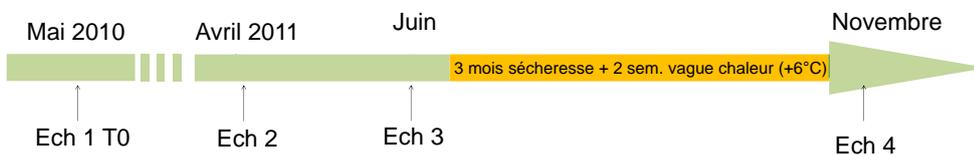


Figure 12. Schéma expérimental conduit à l'Ecotron pour mesurer la réponse d'une prairie permanente de moyenne montagne au changement climatique.

Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique diminue la teneur en azote et dans une moindre mesure en constituants pariétaux (NDF) des plantes, tandis que l'évènement extrême augmente la teneur en azote du couvert et diminue sa teneur en NDF. Ces modifications de composition chimique ont impacté les fermentations ruminales *in vitro* avec une augmentation de la digestibilité de la matière sèche en réponse à l'évènement extrême. Ces résultats suggèrent que les évènements extrêmes pourraient avoir plus d'effet que la concentration de CO₂ atmosphérique sur la valeur des fourrages.

III. EFFET DE LA DERNIÈRE GLACIATION SUR LA VÉGÉTATION ARCTIQUE ET CONSÉQUENCES POUR LA MÉGAFAUNE HERBIVORE

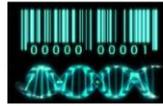
Dans le cadre d'une large collaboration impliquant 30 équipes de recherche issues de 12 pays, des échantillons de contenus digestifs issus de la mégafaune herbivore (mammouths, rhinocéros laineux, bisons et chevaux) datant de l'ère quaternaire ont été analysés afin de caractériser la nature et l'évolution du régime alimentaire de ces animaux au cours de cette période [12]. Ces analyses ont requis le développement préalable d'une méthode utilisant la biologie moléculaire appliquée aux ruminants et auquel nous avons participé.

III.1. Développement méthodologique

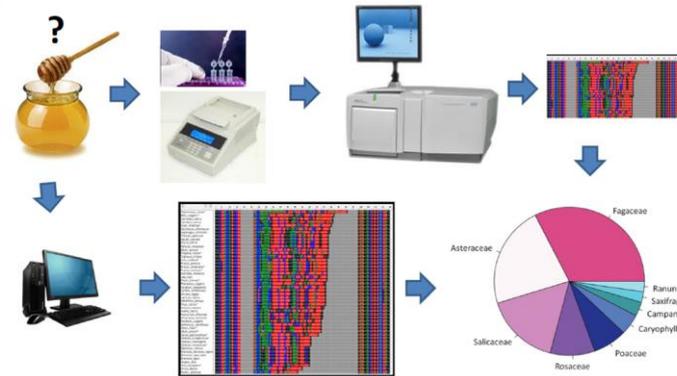
En collaboration avec le laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA, CNRS Grenoble), nous avons testé une innovation méthodologique visant à caractériser le régime alimentaire des ruminants à partir de l'analyse des résidus de la digestion par DNA metabarcoding. Le développement récent de cette technique permet d'envisager l'identification des végétaux dans des substrats complexes ou dégradés, basée sur l'analyse de fragments résiduels d'ADN des plantes dans les digesta (Soininen *et al.*, 2009). Cette méthodologie, qui utilise le séquençage de l'ADN à haut débit, consiste à utiliser un couple d'amorces universelles ciblant une région variable de l'intron du gène chloroplastique trnL(UAA) des végétaux. Chez les ruminants, des essais avaient montré que le DNA metabarcoding permet déjà d'apprécier qualitativement la composition d'une ration à base de fourrage et/ou de concentré (Pegard *et al.*, 2009) [14]. Notre hypothèse était que d'un point de vue quantitatif, le nombre de séquences obtenues dans le produit PCR pourrait, dans une certaine mesure, refléter la fréquence relative de sa présence dans l'alimentation des animaux, ce qui restait à vérifier au cours d'une expérimentation adaptée. Nous avons donc utilisé le dispositif en carré latin mis en place dans le projet *Multisward* dans lequel des ovins étaient alimentés avec des mélanges de graminées et de légumineuses en différentes proportions et dans des conditions parfaitement contrôlées (Cf. III.2). Des échantillons de contenu ruminal ont été prélevés et analysés, et une corrélation très satisfaisante a été observée entre le nombre relatif de séquences de chaque espèce dans les

produits d'amplification et les proportions de ces espèces réellement ingérées par les animaux [Figure 13, 35,58].

DNA METABARCODING



- Echantillonnage (échantillon environnemental)
- Amplification de l'ADN avec des amorces universelles des plantes
- Séquençage de fragments d'ADN isolés
- Identification des espèces par comparaison à celles présentes dans une base de données



Ray-grass anglais/ trèfle blanc



Proportions ingérées (%):

100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100

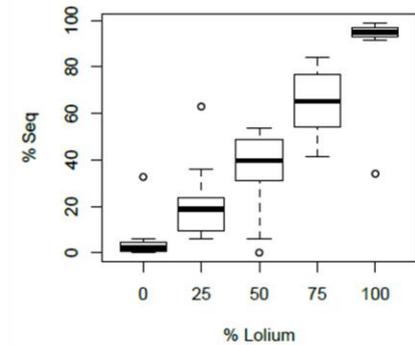


Figure 13. Description de la méthode de DNA metabarcoding et résultats obtenus lors d'un essai quantitatif à partir de contenu ruminal de moutons alimentés avec différentes proportions de ray-grass anglais et de trèfle blanc. Le graphe représente le nombre relatif de séquences de ray-grass anglais dans les produits d'amplification en fonction des proportions réellement ingérées par les animaux.

III.2. Résultats et implication

Cette validation quantitative de la technique de DNA metabarcoding a permis de mieux caractériser le régime de la mégafaune herbivore ancienne grâce à des analyses de contenus digestifs et des coprolithes découverts dans le permafrost et conservés par des Muséums d'histoire naturelle. Couplés à des analyses d'échantillons du permafrost prélevés en Arctique (Figure 14), les résultats obtenus ont permis de décrire l'évolution des types de végétation de l'arctique au cours des derniers 50000 ans, ainsi que le régime alimentaire de ces herbivores anciens.



Figure 14. Sites de prélèvements. Un total de 242 échantillons de permafrost ont été collectés à partir de 21 sites (points verts). Les sites de découverte des 8 échantillons de contenus digestifs et coprolithes d'herbivores anciens (A–H) sont les points blancs.

(1) Anadyr, (2) Baskura Peninsula, (3) Bol'shaya Balakhnaya, (4) Buor Kaya, (5) Cape Sabler, (6) Colesdale, (7) Duvanny Yar, (8) Endalen, (9) Federov Island, (10) Goldbottom, (11) Khatanga, (12) Maine River, (13) Ovrzhny Peninsula, (14) Purgatory, (15) Quartz Creek, (16) Ross Mine, (17) Stevens Village, (18) Stuphallet, (19) Taimyr Lake, (20) Upper Taymyr River, (21) Zagoskin Lake

(A) Drevniy Creek Mammoth, (B) Bison, (C) Lyuba Mammoth, (D) Kolyma Rhino, (E) Last Chance Creek Horse, (F) Churapcha Rhino, (G) Mongochen Mammoth, (H) Finish Creek Valley Mammoth

(a) Blackstone River, (b) Ogilvie Mountains, (c) Eagle Plains South, (d) Eagle Plains North, (e) Little Atlin Lake (f) Kluane Lake, (g) Carmacks



Cette étude a révélé que la végétation arctique consistait initialement en une toundra très diversifiée dominée par des plantes herbacées non graminéoïdes de type dicotylédones. Lors de la dernière glaciation (entre 25000 et 15000 années avant notre ère), la biodiversité spécifique a fortement diminué, puis, il y a environ 10000 ans, cette végétation a été progressivement remplacée par une flore dominée par des graminées et des plantes arbustives. Or, c'est justement à cette période qu'est estimée l'extinction d'une partie importante de la mégafaune herbivore, ce qui laisse penser que ces animaux ont eu beaucoup de difficultés à s'adapter au nouveau régime alimentaire qui leur était imposé. Ces résultats questionnent l'idée communément admise d'une végétation de steppe à base de graminées comme unique ressource alimentaire de la mégafaune. En effet, il y a toujours eu débat dans la communauté scientifique pour savoir comment de si gros animaux pouvaient survivre et se développer sur ce type de prairies. Cette étude lève ainsi une partie de ce paradoxe en montrant qu'une partie importante de l'alimentation de ces animaux était à base de plantes herbacées plus diversifiée et plus riches en protéines que les graminées. Elle questionne également la part respective de la glaciation et de l'effet de ce changement climatique sur le type de végétation dans le déclin de la mégafaune herbivore. Cette large étude a été publiée en 2014 dans la revue *Nature* [12].

IV. CONCLUSIONS

Globalement, la méta-analyse sur les effets des variables du changement climatique sur la qualité des fourrages issus des zones méditerranéennes et de montagne indique que ces effets sont limités. Il n'en reste pas moins que le réchauffement de l'air ainsi que des réductions de précipitations entraînent une réduction de la production de biomasse prairiale avec une incapacité des plantes de moyenne montagne pour s'acclimater et s'adapter à ces conditions climatiques stressantes (Zwicke *et al.*, 2013). Que ce soit sur des dérèglements passés ou actuels, le changement climatique modifie la structure de la végétation des prairies. L'augmentation des températures tend à favoriser les graminées à stratégie de capture tandis que le stress hydrique a un effet opposé, favorisant les espèces à stratégie de conservation (Picon-Cochard *et al.*, 2013). Les prairies permanentes diversifiées pourraient être mieux armées pour faire face aux aléas climatiques. Récemment, une équipe internationale de chercheurs a démontré, grâce à 46 expériences menées sur la diversité végétale des prairies, qu'une biodiversité élevée augmente la résistance de ces écosystèmes à une large gamme d'événements climatiques (sécheresse, canicule, pluies extrêmes) (Isbell *et al.*, 2015). En conséquence, les changements environnementaux actuels d'origine humaine, qui entraînent une érosion de la biodiversité, à travers notamment la réduction de la part des prairies permanentes dans les surfaces agricoles, risquent de diminuer la stabilité des écosystèmes en modifiant leur résistance aux événements climatiques. Afin d'adapter la conduite des prairies au changement climatique, une gestion plus extensive qui permettrait une meilleure résistance et une récupération plus rapide de la production prairiale face aux stress pourrait être proposée. La fertilisation azotée semble également jouer un rôle important pour maintenir le fonctionnement de la prairie les années « sèches » (Klumpp *et al.*, 2011). Cependant, des travaux approfondis et de long terme restent nécessaires afin de proposer des modes de gestion adaptés pour limiter les effets néfastes du changement climatique incluant des événements extrêmes.

Réseau de collaboration développé depuis mon recrutement à l'INRA

Collaborations au sein de l'unité et de l'INRA

Mes travaux s'articulent notamment avec ceux :

- De membres de mon unité : C. Martin (émissions de méthane *in vivo*, coll. dans les projets européens *Multisward* et *LegumePlus*) [1,6,23,32,37,47], D. Macheboeuf (études de fermentation *in vitro*) [9,10,16,33,40,49,50,74], C. Ginane (comportement alimentaire et adaptation des animaux, coll. dans les projets européens *AnimalChange* et *LegumePlus*, et le méta-programme *GISA-STReP*) [3,4,7,11,14,28,29,34,44,45,46,59,60,69], G. Maxin (nouvelles ressources alimentaires et évaluation multicritère de la valeur des fourrages) [22,55,57], R. Baumont (valeur alimentaire des fourrages, coll. dans le projet européen *Multisward*) [1,6,15,16,22,24,25,26,32,35,38,40,47,49,50,55,58,61,62,63,64], D. Andueza (valeur alimentaire des prairies permanentes et spectrométrie infra-rouge, coll. dans les projets européens *AnimalChange* et *LegumePlus*) [8,15,26,36,46,61,64], A. Farruggia (biodiversité des prairies, technique de DNA metabarcoding) [14,35,57], et B. Dumont (agroécologie, coll. dans le projet européen *AnimalChange*) [8,36,46].
- De chercheurs d'autres unités INRA : H. Hoste (UMR1225 IHAP, Interactions hôtes-agents pathogènes, Toulouse, coll. dans le projet européen *LegumePlus*, le méta-programme *GISA-STReP* et le projet de recherche tripartite Afrique-Brésil-France (IRD) [30,31,42], C. Picon-Cochard (UREP, UR sur l'écosystème prairial, INRA ARA, coll. dans le projet européen *AnimalChange*) [8,36,46] et R. Delagarde (UMR PEGASE, Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Élevage, Rennes, coll. dans le projet européen *Multisward*) [58].

Collaborations nationales non INRA

- F. Pompanon (LECA, Laboratoire d'Ecologie Alpine, CNRS Grenoble, coll. dans un projet sur crédit incitatif PHASE) [12,14,35,58]
- Ecotron (infrastructure CNRS, Montpellier, coll. dans le projet européen *AnimalChange*) [46]

Collaborations internationales

Les partenaires internationaux avec lesquels mes interactions sont les plus fortes sont :

- Université de Reading, Royaume-Uni (I. Muller-Harvey, biochimie des tannins, coll. dans le projet européen *LegumePlus*) [5,13,30,31]
- Agroscope, Suisse (A. Lüscher, F. Dohme-Meier, G. Bee, agronomie et utilisation des mélanges de plantes fourragères, coll. dans les projets européens *AnimalChange* et *LegumePlus*) [5,8,30,31,36]
- Université d'Aberystwyth, IBERS, Royaume-Uni (N. Scollan, MRF. Lee, E.J. Kim) [17,39,48]
- Université de Turku, Finlande (JP. Salminen, biochimie des polyphénols bioactifs, coll. dans le projet européen *LegumePlus*) [30,31]
- Université de Catane et Pérouse, Italie (A. Priolo et G. Luciano, qualité de la viande, stabilité oxydative, coll. dans le projet européen *LegumePlus*) [4,29,44]
- CSIC, León, Espagne (PG. Toral, P. Frutos, biohydrogénation ruminale, coll. dans le projet européen *LegumePlus*) [4,44]
- Université de Santa Caterina, Brésil (HMN. Ribeiro-Fihlo, valeur des légumineuses tropicales) [2,43,68]
- Université de Sao Paulo, Brésil (AL. Abdalla, valeur des fourrages tropicaux, coll. dans le projet de recherche tripartite Afrique-Brésil-France, IRD) [42]
- Université de Copenhague, Danemark (S. Milan Thamsborg, effets anthelminthiques des tannins condensés chez les bovins) [30,31]

BILAN

I. BILAN SCIENTIFIQUE

Mon programme de recherche a pour objectif d'analyser dans quelle mesure la diversification dans le fourrage apporte des bénéfices pour son utilisation par les ruminants. Pour cela, j'ai choisi d'évaluer les effets associatifs entre plantes fourragères sur l'ingestion et la digestion des animaux en y incluant les rejets sous forme d'azote excrété et de méthane entérique, et de mieux comprendre les mécanismes qui produisent ces interactions. Selon le nombre d'associations et les fonctions (ingestion, digestion) à étudier, j'utilise alternativement des approches *in vitro* et *in vivo* complémentaires. Les résultats acquis indiquent que des synergies entre des graminées et des légumineuses fourragères majeures peuvent être observées sur les niveaux d'ingestion volontaire grâce à une plus grande motivation à ingérer. Au niveau digestif, ce sont principalement les composés bioactifs présents dans certaines plantes comme les légumineuses qui semblent produire des effets associatifs, ce qui a entraîné une évolution de mes recherches sur le thème des plantes bioactives tout en continuant à privilégier l'étude des mélanges fourragers. Par ailleurs, j'ai élargi mes travaux sur la valeur alimentaire des prairies diversifiées à l'évaluation des effets du changement climatique sur la valeur des prairies permanentes, ce qui m'a permis de collaborer, entre autres, avec plusieurs chercheurs de mon équipe antérieure.

A travers ces travaux, j'ai acquis progressivement une expertise sur la valeur alimentaire et environnementale des mélanges fourragers et l'utilisation des plantes bioactives par les ruminants. Cela s'est traduit par ma participation à plusieurs comités de thèse, quatre jurys de thèse dont trois à l'étranger (J. Quijada, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse ; M. Girard et C. Malisch, Agroscope, Suisse ; O. Desrues, Université de Copenhague, Danemark), et à l'évaluation de nombreux travaux de recherche pour différentes revues internationales (*Animal Feed Science and Technology*, *Animal Production Science*, *Journal of Dairy Science* et *Animal*, notamment) et pour l'International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH). J'ai également été sollicité comme expert pour l'évaluation d'un projet de recherche soumis à l'appel d'offre de l'Université ETH de Zurich (Suisse).

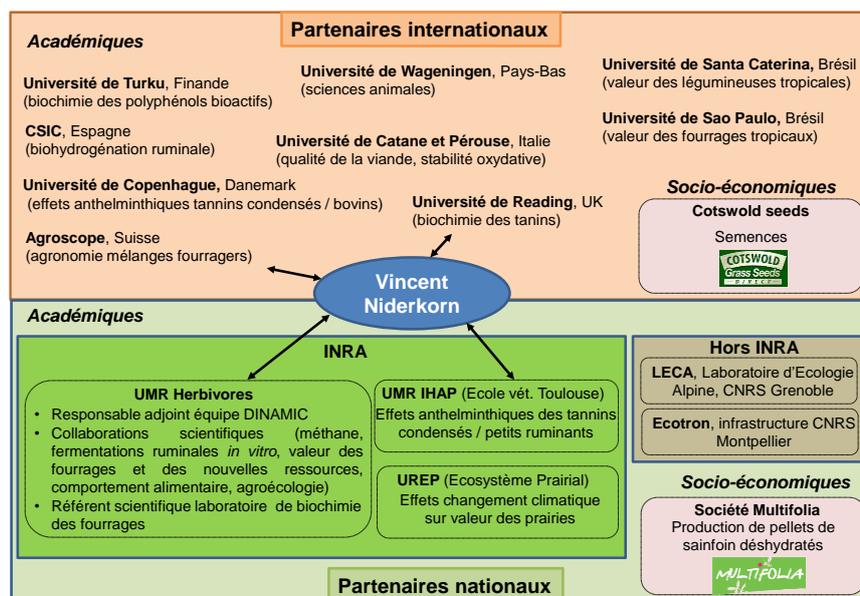


Figure 15. Organigramme fonctionnel.

Les flèches illustrent les quatre structures avec lesquelles mes interactions sont les plus intenses.

Grâce notamment à ma participation à des projets européens, j'ai tissé un réseau de collaboration national et international me permettant de m'appuyer sur des équipes dont les compétences sont complémentaires aux études sur l'animal (voir l'encadré ci-contre). Ces compétences vont de l'agronomie des mélanges prairiaux à la qualité des produits animaux en passant par la

caractérisation fine de composés bioactifs et les mesures *in vivo* des émissions de CH₄ entérique (Figure 15). Je pense ainsi avoir acquis une place dans ce paysage scientifique et mon objectif pour l'assoier et la développer est de faire vivre et d'élargir mon réseau de collaboration comme je l'indiquerai dans mon projet scientifique.

Concernant la formation, j'ai jusqu'à présent donné la priorité à l'encadrement d'étudiants dans le cadre de mes projets de recherche plutôt qu'à l'enseignement. Depuis mon recrutement j'ai ainsi co-encadré deux thèses et un stage postdoctoral, et encadré les stages de fin d'étude de quatre étudiants de Master 2 et d'un élève ingénieur.

Je suis membre de la Commission Scientifique Spécialisée (CSS) Agronomie, Elevage, Sylviculture pour la mandature 2015-2018. A ce titre, je suis rapporteur de plusieurs dossiers d'évaluation de Chargés de Recherche et Directeurs de Recherche INRA, et participe annuellement à la réunion plénière au siège INRA à Paris.

En termes d'animation scientifique, dans mon ancienne équipe Rapa, j'ai été en charge de 2010 à 2015 de l'animation de l'axe de recherche relatif à l'utilisation de ressources fourragères à haute valeur environnementale par les ruminants. A l'occasion de l'évaluation et de la réorganisation de l'UMR Herbivores en 2015, il m'a été proposé de prendre de nouvelles responsabilités. Depuis le 1^{er} janvier 2016, je suis responsable adjoint de l'équipe Dinamic (Digestion, nutrition, aliments, métabolisme, microbes) animée par P. Nozière. Cette équipe regroupe 31 personnes dont 18 scientifiques et 13 techniciens. A ce titre, j'ai contribué avec P. Nozière et C. martin (également responsable d'équipe adjointe) à la mise en place des ateliers techniques hébergés dans l'équipe (atelier de « biochimie des aliments », atelier « méthane » et atelier « Spectrométrie proche infrarouge »). Je suis sollicité pour mener avec le responsable d'équipe les entretiens annuels des chercheurs, ingénieurs et techniciens avec qui j'ai une proximité thématique. Je suis référent de l'équipe sur les aspects prévention et gestion des équipements. Enfin, je peux être sollicité pour assister au Conseil de Direction Scientifique de l'unité en cas d'absence du responsable d'équipe. Je suis également responsable scientifique de l'atelier « biochimie des aliments » dans cette nouvelle équipe, et référent de la responsable technique (A. Le Morvan) et d'une technicienne de cet atelier (A. Quereuil).

II. BILAN SWOT

Forces : ma participation à plusieurs projets européens ces dernières années m'a permis de développer un important réseau international et interdisciplinaire autour des légumineuses fourragères et des composés bioactifs sur la nutrition et la santé des ruminants. Les résultats acquis et publiés ces dernières années lors de ces projets, ainsi que les compétences reconnues de mes collègues travaillant sur la valeur des fourrages dans mon équipe de recherche (R. Baumont, G. Maxin et D. Andueza, notamment) me permettent d'être visible à l'international sur la thématique de la valeur des plantes bioactives pour les ruminants. D'autre part, la réorganisation de nos activités de laboratoire en un atelier de biochimie des aliments ouvert sur l'extérieur et dont j'assume la responsabilité scientifique, me permet de bénéficier d'un outil analytique de très grande qualité.

Faiblesses : une activité que je souhaiterais amplifier dans les années à venir est l'encadrement de thèses et de post-doctorats. En effet, j'ai pu observer que cette activité d'encadrement, au-delà du fait qu'elle permet de faire avancer significativement mes recherches, permet de recueillir une vision différente auprès de jeunes chercheurs et est épanouissante du point de vue de la transmission des compétences. L'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches va dans ce sens.

Opportunités : La réorganisation de mon unité a abouti au regroupement au sein d'une même équipe (Dinamic) des compétences autour de la valeur des fourrages, de la digestion et du métabolisme intermédiaire, ce qui me donne l'opportunité d'interagir plus directement avec les chercheurs en charge de ces thématiques, comme par exemple C. Martin (émissions de CH₄), G. cantalapiedra (métabolisme azoté) ou M. Doreau (plantes tropicales à tannins). Ces compétences

associées devraient pouvoir me permettre d'approfondir la compréhension des mécanismes d'action des plantes contenant des composés bioactifs au niveau de l'animal. Une autre opportunité réside dans le fait que ma thématique s'inscrit bien dans le courant de l'agroécologie et dans certaines priorités affichées dans des programmes cadre comme H2020. A titre d'exemple, une des priorités actuelle est l'identification est l'étude de nouvelles ressources pour l'alimentation animale comme les co-produits de l'agro-industrie, ou encore l'utilisation de ressources produites localement et/ou qui ne sont pas en compétition avec l'alimentation humaine (fourrages).

Menaces : les projets internationaux d'envergure comme les projets européens H2020, Marie Curie ou ERANET, qui m'ont permis jusqu'à présent de déployer ma stratégie de recherche et de bénéficier des meilleures collaborations, sont sujets à une pression de sélection croissante. Ainsi, quatre projets européens soumis en 2015 et 2016 et dans lesquels j'étais partenaire ou WP leader ont été bien évalués mais n'ont pas atteint le seuil requis pour leur financement. Je poursuis cependant mes efforts pour obtenir ma participation à de tels projets avec d'autres consortiums.

PROJET SCIENTIFIQUE

Dans ses orientations stratégiques pour la période 2016-2025, l'INRA a défini des domaines thématiques prioritaires parmi lesquels la multi-performance (économique, environnementale, sanitaire et sociale), la gestion de l'usage des bioressources et la diversité des agricultures françaises enrichies des approches de l'agro-écologie, sont clairement affirmées. Dans un contexte marqué par des tensions exacerbées sur les ressources naturelles et les effets du dérèglement climatique, le développement de modes de production alternatifs, mobilisant davantage la biodiversité fonctionnelle dans les territoires et les parcelles, et les régulations biologiques, est au cœur des enjeux. Au niveau du département PHASE (Physiologie animale et systèmes d'élevage) et de l'UMR Herbivores, mon activité s'intègre dans le champ thématique « Ressources alimentaires » dont l'objectif est de rechercher une efficacité globale des ressources destinées à l'alimentation animale et d'étudier les possibilités d'insertion d'aliments et de sous-produits dans le cadre de l'économie circulaire. Cet objectif répond à des enjeux environnementaux et climatiques (utilisation de ressources locales, peu prisées pour d'autres usages ; réduction des rejets à la source et par valorisation) et à des enjeux de santé publique (réduction de l'usage des substances indésirables comme les engrais ou les intrants médicamenteux). Il s'agit notamment d'identifier et de tester de nouvelles ressources alimentaires (co-produits, nouveaux ingrédients, ressources herbagères diversifiées) et de nouveaux systèmes alimentaires réduisant les rejets et les pertes.

Dans ce cadre conceptuel stimulant, je souhaite décliner mon projet de recherche pour les cinq années à venir selon trois axes: i) l'optimisation de la valeur des prairies diversifiées pour les ruminants, ii) l'étude de la valeur de nouvelles ressources incluant des composés bioactifs, iii) un volet plus international avec l'étude de plantes tropicales en mélanges ou contenant des tannins condensés. Selon leur nature, ces types de ressources pourront être étudiés en collaboration avec des partenaires différents. Ce projet est une continuité puisqu'il capitalisera sur les savoirs, compétences et partenariats acquis sur les mélanges fourragers et les composés bioactifs des plantes, mais aussi une évolution dans le sens où l'accent sera mis l'étude de la valeur de ressources nouvelles, peu étudiées ou situées dans des zones climatiques contrastées. La figure 16 représente les projets de recherche en cours, soumis et en construction pour la période 2016-2021. Par ailleurs, durant cette période, j'aurai à contribuer à l'animation de collectifs à travers mes rôles de responsable d'équipe adjoint et de responsable de l'atelier biochimie des aliments de mon unité.

I. VALEUR DES PRAIRIES DIVERSIFIÉES POUR LES RUMINANTS

Ce volet sera plutôt opérationnel puisqu'il consistera à valider dans des expérimentations *in situ* certains de mes résultats acquis lors de mes dix premières années de recherche. Un premier projet dans lequel je vais m'inscrire est le co-encadrement d'une thèse (2017-2021) en collaboration avec le Teagasc et l'Université de Dublin (Irlande). L'objectif de cette thèse sera d'évaluer le potentiel d'associations binaires contenant du raygrass anglais et une dicotylédone (trèfle blanc, trèfle violet adapté au pâturage, plantain ou chicorée) pour augmenter les niveaux d'ingestion et les performances sur ovins dans les systèmes herbagers intensifs comme ceux mis en place en Irlande. L'effet de la nature de l'espèce associée au ray-grass anglais sur l'efficacité de digestion et les pertes énergétiques (sous forme de CH₄) et azotées seront également évaluées.

A une échelle plus large, j'ai fait une proposition pour contribuer à un projet européen d'envergure (H2020-SFS27) coordonné par JL Peyraud et dont l'objectif sera d'augmenter la productivité et la provision de systèmes écosystémiques des prairies permanentes afin de restaurer et maintenir leur ancrage en Europe. Il s'agit, entre autres, de décrire les performances de ces prairies riches en espèces de manière holistique sur la base de leur production de biomasse, de leur valeur alimentaire, mais aussi de leur valeur santé et des services qu'elles peuvent fournir. Si ce projet aboutit, je pourrais contribuer en organisant le dosage à grande échelle des tannins condensés envisagés comme indicateurs d'activité anthelminthique, à partir d'échantillons prélevés sur des

réseaux de parcelles issus de différentes zones climatiques en Europe, et prélevés à différentes périodes. Associées à des mesures d'activité anti-oxydante réalisées par ma collègue G. Maxin en partenariat avec le Laboratoire Agronomie Environnement de l'INRA de Nancy-Colmar, les résultats pourraient permettre de fournir une cartographie de la valeur santé des prairies permanentes européennes.

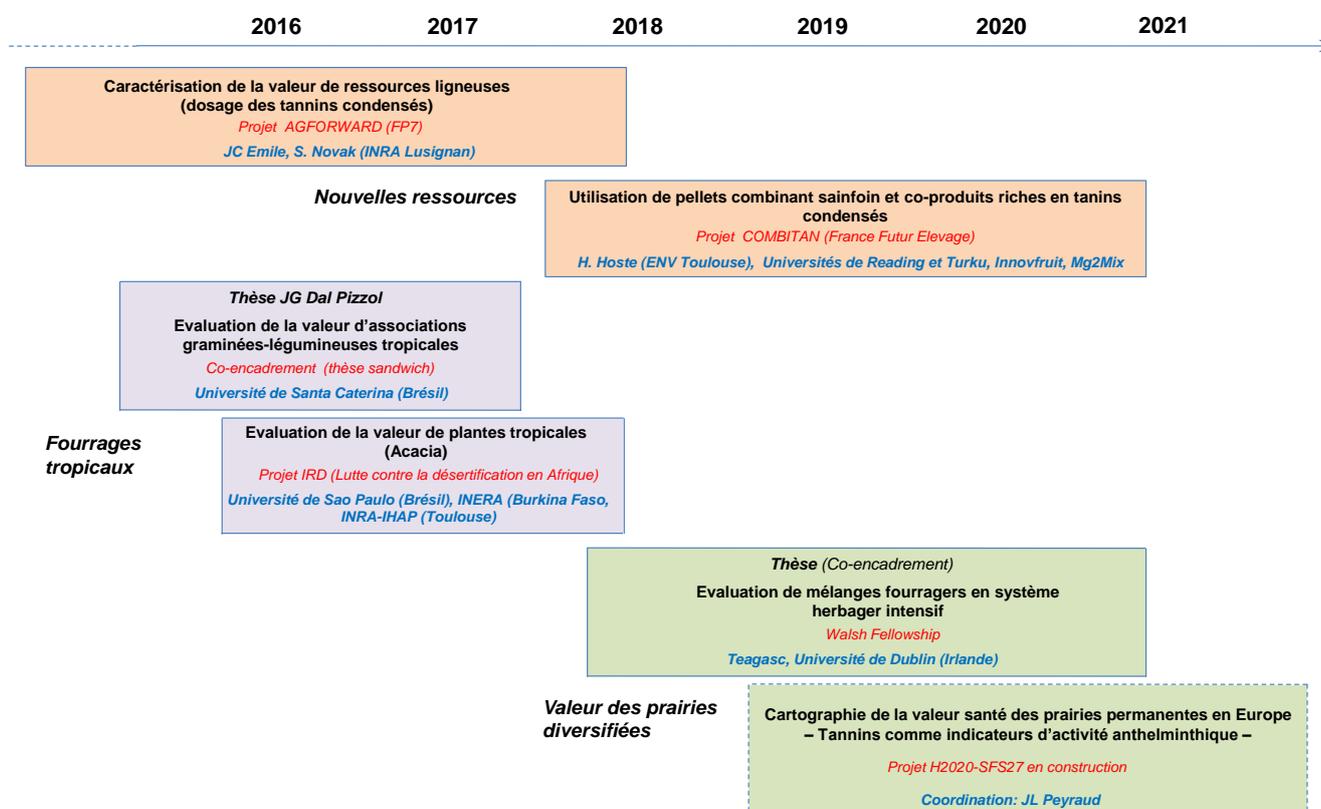


Figure 16. Projets en cours et envisagés pour la période 2016-2020. Les cadres en trait pleins représentent les projets financés et les cadres en pointillés représentent les projets en construction ou soumis.

II. UTILISATION DE NOUVELLES RESSOURCES

D'avantage que par le passé, les productions animales devront s'insérer dans l'économie circulaire, notamment par la valorisation de ressources et de co-produits peu ou pas valorisable en alimentation humaine. Il s'agit de valoriser des ressources de faible valeur marchande ou nutritionnelle pour l'homme, de nouveaux ingrédients peu utilisés jusqu'alors, si possible produits localement, et les ressources herbagères dans leur diversité. Les verrous à lever pour une utilisation large de ces nouvelles ressources sont en particulier les déterminants de la prise alimentaire, l'optimisation de l'utilisation digestive et métabolique des protéines, et leur efficacité globale, cette dernière incluant au-delà des critères nutritionnels, des critères environnementaux et liés aux effets sur la santé des animaux et la qualité des produits.

Je vais participer au projet COMBITAN (France Futur Elevage, 2017-2020) coordonné par H. Hoste (ENV Toulouse) et dont l'objectif global est d'examiner si la combinaison de deux sources différentes de tannins condensés (à savoir le sainfoin et différents co-produits fournis par l'industrie de la noix) pourrait potentialiser leurs effets afin i) d'influer sur la biologie des nématodes gastro-intestinaux et donc réduire les effets négatifs de ces parasites chez les ruminants, et ii) d'optimiser les processus de digestion dans le rumen en réduisant la météorisation et les émissions de CH₄ entérique. Ce projet est particulièrement porteur d'innovation puisqu'il consistera à tester des prototypes d'aliment sous forme de « pellets » combinant le sainfoin et les co-produits grâce à un procédé technologique

de déshydratation adapté à la préservation et la stabilisation des tannins condensés. Plusieurs partenaires industriels sont impliqués dans ce projet, ainsi que nos partenaires experts de la biochimie des tannins (I. Mueller-Harvey, Université de Reading au Royaume-Uni ; JP. Salminen, Université de Turku en Finlande), maintenant ainsi notre capacité à analyser de façon fine les structures des tannins (degré de polymérisation, ratio prodelphinidines/proanthocyanidines, notamment).

En Europe, la disponibilité de l'herbe au pâturage est souvent limitée en période estivale par le manque de ressource de qualité dans les régions soumises à des épisodes de sécheresse comme la zone méditerranéenne mais aussi probablement à l'avenir dans d'autres zones en raison du changement climatique. Dans ce contexte, l'agroforesterie est une pratique qui vise à intégrer volontairement de la végétation ligneuse (arbres ou arbustes) dans la ration des ruminants soit par prélèvement direct par les animaux ou après coupe (Papanastasis *et al.*, 2008). Cependant, l'absence de données sur la valeur nutritive de ce fourrage peu utilisé est une limite importante à son adoption dans les systèmes fourragers. Dans le cadre du projet européen AGFORWARD (AGroFORestry that Will Advance Rural Development, FP7, 2014-2018), je participe à travers le dosage de tannins condensés à la caractérisation de la valeur de feuilles d'arbre utilisées au sein d'un dispositif expérimental de long terme intégrant l'agroforesterie (Novak *et al.*, 2016).

Enfin, dans le cadre de l'identification de nouvelles ressources, d'autres projets visant à tester des plantes peu connues mais à haut potentiel sont en cours de réflexion. Les pistes envisagées concernent la validation *in vivo* du potentiel de quelques plantes mis en évidence lors de notre screening de plantes pour réduire les émissions de CH₄ entérique ou les pertes azotées [9] ou encore la caractérisation d'espèces de trèfle mal connues avec G. Maxin.

III. UTILISATION DE FOURRAGES TROPICAUX

Le développement de projets à l'international est une priorité de l'INRA qui encourage régulièrement ses chercheurs à s'y investir de façon importante. Dans mon domaine de recherche, le fait que de hautes teneurs en tannins soient naturellement présentes dans les plantes tropicales m'a conduit à m'intéresser à ces végétaux. C'est la raison pour laquelle j'ai développé plusieurs collaborations dans les années passées avec des collègues brésiliens et africains pour l'étude des fourrages tropicaux.

Dans les régions arides du monde, l'élevage de petits ruminants joue un rôle socio-économique important dans le vécu quotidien des éleveurs ruraux des systèmes mixtes d'agriculture-élevage. En Afrique, environ un tiers de toute la population des petits ruminants est concentrée dans les pays qui sont membres de l'Agence panafricaine de la Grande Muraille Verte. Au Brésil, 90% de l'effectif des petits ruminants sont concentrés dans la zone nord-est du pays qui présente des conditions climatiques similaires à la partie sahélienne de l'Afrique. Les animaux sont élevés à la fois en zones aride et semi-aride qui sont caractérisées par des problèmes d'alimentation des animaux, en raison du climat et récemment des changements climatiques. Par conséquent, les rendements zootechniques de ces animaux dans ces milieux sont faibles pour des raisons liées aux contraintes alimentaires, mais aussi aux problèmes de santé animale et au faible niveau de technicité des producteurs ruraux (Guimarães Filho *et al.*, 2000; Sangaré, 2005). En effet, l'alimentation de ces animaux est axée essentiellement sur l'exploitation des pâturages naturels qui sont de qualité nutritionnelle médiocre pour assurer une production pendant la période de la saison sèche. Cette carence nutritionnelle est aggravée par les infections parasitaires à la fois au Brésil et au Burkina Faso. Selon les statistiques de la FAO, ces infections sont l'une des principales maladies des petits ruminants et sont responsables des pertes importantes dans la production de lait et de viande, et les mortalités induites (Pinheiro *et al.*, 2000; Krecek and Waller, 2006). Ces infections ont ainsi un impact indirect sur les populations humaines de ces régions. Depuis longtemps, le contrôle de ces infections a reposé exclusivement sur l'utilisation des anthelminthiques chimiques dont le coût est en général inabordable pour les producteurs ruraux à faible revenus. Pour cette raison, les populations rurales d'éleveurs des régions arides ont élaborés des stratégies endogènes axées sur

l'exploitation des ressources végétales pour lutter contre les parasites gastro-intestinaux. Parmi ces végétaux, des espèces d'acacia riches en tannins condensés comme *A. mangium* et *A. mearnsii* au Brésil, et *A. nilotica* et *A. raddiana* au Burkina Faso sont couramment utilisées. Dans ce contexte, je participe à un projet de recherche tripartite Afrique-B Brésil-France (Lutte contre la désertification en Afrique. Promotion de la sécurité alimentaire et réduction de la pauvreté, 2014-2017) en collaboration avec H. Hoste (ENV Toulouse), AL. Abdalla (CENA, Université de Sao Paulo, Brésil) et A. Kaboré (Université d'Ouagadougou, Burkina Faso). Ce projet a pour objectif de valoriser l'utilisation des espèces d'Acacia par les producteurs ruraux à la fois pour leur valeur nutritionnelle et sanitaire en particulier pour lutter contre les vers parasites gastro-intestinaux des petits ruminants en région aride, afin de promouvoir une productivité animale optimale et durable au bénéfice des populations. J'apporte notamment mon expertise pour l'analyse et la valorisation des données d'une expérimentation de fermentation *in vitro* des différentes espèces d'Acacia à G. Zabre, la doctorante du Burkina-Faso qui réalise sa thèse dans le cadre de ce projet.

D'autre part, dans la continuité de mes travaux sur les effets associatifs entre graminées et légumineuses tempérées, une étude est en cours pour quantifier les interactions digestives entre graminées et légumineuses provenant de zones tempérées et tropicales. L'intérêt d'une telle étude est que, d'une part certaines plantes tempérées comme la luzerne peuvent être cultivées dans certaines zones tropicales comme le Sud du Brésil, et d'autre part que le changement climatique pourrait permettre l'adaptation de certaines plantes tropicales en zone tempérée. Je co-encadre ainsi la thèse de Jean Dal Pizzol, étudiant en thèse à l'Université de Santa Caterina. Lors de son année passée à l'INRA, nous testons *in vitro* toutes les mélanges binaires associant une graminée tempérée (fétuque élevée) ou une graminée tropicale (*Axonopus Catharinensis*) avec une légumineuse tempérée avec (sainfoin) ou sans tannins condensés (luzerne) ou avec une légumineuse tropicale contenant des tannins condensés (*Arachis pintoi*).

IV. ANIMATION SCIENTIFIQUE ET ENCADREMENT

Ma toute première priorité est de soutenir mon HDR pour me permettre de conduire mon projet de recherche en étant tout à fait autonome dans l'encadrement de jeunes chercheurs, et pour amplifier cette activité. L'obtention de l'HDR pourra également me permettre, en tant que Directeur de thèse, d'assister des chercheurs nouvellement recrutés et en proximité thématique avec moi dans leur première expérience d'encadrement de thèse. D'autre part, mon profil évoluant vers davantage de responsabilité d'animation scientifique (responsable adjoint d'une équipe de 31 personnes et responsable scientifique d'un atelier technique), je souhaite également développer progressivement mes compétences en management, ce que j'ai commencé à faire à travers un certain nombre de formations.

Enfin, mon ambition est de stimuler les recherches autour de l'utilisation des ressources diversifiées par les ruminants en intégrant efficacité alimentaire, réduction des rejets polluants et santé animale. Les objets d'étude sont les mélanges d'espèces fourragères et de nouvelles ressources répondant au concept de l'agroécologie (économie circulaire, multi-performance, ...). Pour cela, je souhaite m'appuyer sur i) l'atelier de biochimie des aliments que j'anime scientifiquement et dont je souhaite dynamiser le renouvellement des méthodes, en particulier les méthodes rapides d'évaluation de la valeur des aliments et le dosage global de certains composés bioactifs, et ii) un réseau national et international pour collaborer sur les aspects qui ne sont pas mon cœur de métier (santé animale, analyse fine des molécules bioactives, fourrages tropicaux, notamment).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALEXANDRATOS N. and BRUINSMA J. (2012) *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA Working paper Rome*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- ALTIERI M.A. (2000) Agroecology: Principles and strategies for designing sustainable farming systems. *Agroecology in action*.
- AUFRÈRE J., DUDILIEU M., PONCET C., BAUMONT R. and DUMONT B. (2007) Effect of condensed tannins in sainfoin on in vitro protein solubility of lucerne as affected by the proportion of sainfoin in the mixture and the preserving conditions. *Options Méditerranéennes, Série. A*, **74**, 63-66.
- BARRY T., MCNEILL D. and MCNABB W. (2001) Plant secondary compounds; their impact on forage nutritive value and upon animal production. *Proceedings of the XIX International Grassland Congress, Sao Pedro Brazil*, p 445-452.
- BATTINELLI L., TITA B., EVANDRI M.G. and MAZZANTI G. (2001) Antimicrobial activity of *Epilobium* spp. extracts. *Farmaco*, **56**, 345-348.
- BENNETT R.N. and WALLSGROVE R.M. (1994) Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New phytologist*, **127**, 617-633.
- BERGE P., DULPHY J., DUDILIEU M., JAILLER M., JAMOT J., BOUSQUET H. and L'HOTELIER L. (1991) Etude des interactions entre fourrages et aliments concentrés chez le mouton: Facteurs de variation de la digestibilité. *Annales de zootechnie*, **40**, 227-246.
- BHATTI S., BOWMAN J., FIRKINS J., GROVE A. and HUNT C. (2008) Effect of intake level and alfalfa substitution for grass hay on ruminal kinetics of fiber digestion and particle passage in beef cattle. *Journal of Animal Science*, **86**, 134.
- BOWMAN J. and ASPLUND J. (1988) Evaluation of mixed lucerne and caucasian bluestem hay diets fed to sheep. *Animal Feed Science and Technology*, **20**, 19-31.
- BROOKER J.D. and ACAMOVIC T. (2005) Phytochemicals in livestock production systems. *Animal Feed Science and Technology*, **121**, 1-4.
- BROWN W., LAI Z. and PITMAN W. (1991) *In vitro* fiber digestion: Associative effects in tropical grass-legume mixtures. *Tropical Grasslands*, **25**, 297-304.
- CHEEKE P.R. and SHULL L.R. (1985) *Natural toxicants in feeds and poisonous plants*. AVI Publishing Company Inc., Westport.
- CORTES C., DAMASCENO J., JAMOT J. and PRACHE S. (2006) Ewes increase their intake when offered a choice of herbage species at pasture. *Animal Science*, **82**, 183-191.
- CRAINE J.M., OCHELTREE T.W., NIPPERT J.B., TOWNE E.G., SKIBBE A.M., KEMBEL S.W. and FARGIONE J.E. (2013) Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience. *Nature Climate Change*, **3**, 63-67.
- COLLINS M., KNUTTI R., ARBLASTER J., DUFRESNE J.-L., FICHEFET T., FRIEDLINGSTEIN P., GAO X., GUTOWSKI W., JOHNS T. and KRINNER G. (2013) Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5*. Cambridge University Press, Cambridge.
- CROZIER A., YOKOTA T., JAGANATH I.B., MARKS S.C., SALTMARSH M. and CLIFFORD M.N. (2006) Secondary metabolites in fruits, vegetables, beverages and other plant based dietary components. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*, p. 208-302.
- DAWSON L., O'KIELY P., MOLONEY A., VIPOND J., WYLIE A., CARSON A. and HYSLOP J. (2011) Grassland systems of red meat production: Integration between biodiversity, plant nutrient utilisation, greenhouse gas emissions and meat nutritional quality. *Animal*, **5**, 1432-1441.

- DUMONT B., FARRUGGIA A., GAREL J.P., BACHELARD P., BOITIER E. and FRAIN M. (2009) How does grazing intensity influence the diversity of plants and insects in a species-rich upland grassland on basalt soils? *Grass and Forage Science*, **64**, 92-105.
- DUMONT B., FORTUN-LAMOTHE L., JOUVEN M., THOMAS M. and TICHIT M. (2013) Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, **7**, 1028-1043.
- EGAN M., LYNCH M. and HENESSY D. (2014) Potential of fertilised grass white clover swards to produce adequate herbage to support dairy cow milk production in high stocking rate grass based systems. *Proceedings of the Proceedings of the 5th Australasian Dairy Science Symposium, Hamilton, New Zealand*, p. 276-279.
- FARRUGGIA A., MARTIN B., BAUMONT R., PRACHE S., DOREAU M., HOSTE H. and DURAND D. (2008) Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ? *INRA Productions Animales*, **21**, 181-200.
- FINN J.A., KIRWAN L., CONNOLLY J., SEBASTIA M.T., HELGADOTTIR A., BAADSHAUG O.H., BÉLANGER G., BLACK A., BROPHY C. and COLLINS R.P. (2013) Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: A 3-year continental-scale field experiment. *Journal of Applied Ecology*, **50**, 365-375.
- FOLEY J.A., RAMANKUTTY N., BRAUMAN K.A., CASSIDY E.S., GERBER J.S., JOHNSTON M., MUELLER N.D., O'CONNELL C., RAY D.K. and WEST P.C. (2011) Solutions for a cultivated planet. *Nature*, **478**, 337-342.
- FREELAND W.J. and JANZEN D.H. (1974) Strategies in herbivory by mammals: The role of plant secondary compounds. *American Naturalist*, **108**, 269-289.
- GASTAL F., JULIER B., SURAULT F., LITRICO I., DURAND J.L., DENOUE D., GHESQUIERE M. and SAMPOUX J.P. (2012) Intérêt des prairies cultivées multiespèces dans le contexte des systèmes de polyculture-élevage. *Innovations Agronomiques*, **22**, 169-183.
- GERBER P.J., STEINFELD H., HENDERSON B., MOTTET A., OPIO C., DIJKMAN J., FALCUCCI A. and TEMPIO G. (2013) *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- GINANE C., BAUMONT R., LASSALAS J. and PETIT M. (2002) Feeding behaviour and intake of heifers fed on hays of various quality, offered alone or in a choice situation. *Animal Research*, **51**, 177-188.
- GUIMARÃES FILHO C., SOARES J. and ARAÚJO G. (2000) Sistemas de produção de carnes caprina e ovina no semi-árido nordestino. *Simpósio internacional sobre caprinos e ovinos de corte*, **1**, 21-33.
- HECTOR A. and BAGCHI R. (2007) Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature*, **448**, 188-190.
- HERRERO M., HENDERSON B., HAVLÍK P., THORNTON P.K., CONANT R.T., SMITH P., WIRSENIUS S., HRISTOV A.N., GERBER P. and GILL M. (2016) Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, **6**, 452-461.
- HERRERO M., THORNTON P.K., GERBER P. and REID R.S. (2009) Livestock, livelihoods and the environment: Understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **1**, 111-120.
- HOSKIN S., BARRY T. and WILSON P. (2003) The role of plants containing secondary compounds in sustainable deer farming—a review. *Grassland Research and Practice Series*, **9**, 101-11.
- HOSTE H., JACKSON F., ATHANASIADOU S., THAMSBORG S.M. and HOSKIN S.O. (2006) The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology*, **22**, 253-261.
- Hsu C.-Y. (2006) Antioxidant activity of extract from *Polygonum aviculare* L. *Biological Research*, **39**, 281-288.

- HUNT C., PATERSON J. and WILLIAMS J. (1985) Intake and digestibility of alfalfa-tall fescue combination diets fed to lambs. *Journal of Animal Science*, **60**, 301-306.
- HUYGHE C., DE VliegHER A., VAN GILS B. and PEETERS A. (2014) *Grasslands and herbivore production in Europe and effects of common policies*. Editions Quae.
- ISBELL F., CRAVEN D., CONNOLLY J., LOREAU M., SCHMID B., BEIERKUHNEIN C., BEZEMER T.M., BONIN C., BRUELHEIDE H. and DE LUCA E. (2015) Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, **526**, 574-577.
- JAYANEGARA A., LEIBER F. and KREUZER M. (2012) Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from *in vivo* and *in vitro* experiments. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **96**, 365-375.
- KLUMPP K., TALLEC T., GUIX N. and SOUSSANA J.F. (2011) Long-term impacts of agricultural practices and climatic variability on carbon storage in a permanent pasture. *Global Change Biology*, **17**, 3534-3545.
- KRECEK R.C. and WALLER P.J. (2006) Towards the implementation of the “basket of options” approach to helminth parasite control of livestock: Emphasis on the tropics/subtropics. *Veterinary Parasitology*, **139**, 270-282.
- LEE M.R., WINTERS A.L., SCOLLAN N.D., DEWHURST R.J., THEODOROU M.K. and MINCHIN F.R. (2004) Plant-mediated lipolysis and proteolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **84**, 1639-1645.
- LÜSCHER A., MUELLER-HARVEY I., SOUSSANA J.-F., REES R. and PEYRAUD J.-L. (2014) Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: A review. *Grass and Forage Science*, **69**, 206-228.
- MCLAUCHLAN K.K., WILLIAMS J.J., CRAINE J.M. and JEFFERS E.S. (2013) Changes in global nitrogen cycling during the Holocene epoch. *Nature*, **495**, 352-355.
- MIN B., ATTWOOD G., McNABB W., MOLAN A. and BARRY T. (2005) The effect of condensed tannins from *Lotus corniculatus* on the proteolytic activities and growth of rumen bacteria. *Animal Feed Science and Technology*, **121**, 45-58.
- MOSELEY G. and JONES J. (1979) Some factors associated with the difference in nutritive value of artificially dried red clover and perennial ryegrass for sheep. *British Journal of Nutrition*, **42**, 139-147.
- MUELLER-HARVEY I. (2006) Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **86**, 2010-2037.
- NOVAK S., AUDEBERT G. and CHARGELÈGUE F. (2016) An innovative forage system to produce bioclimatic milk. *Grassland Science in Europe*, **21**, 104-106.
- NYFELER D., HUGUENIN-ELIE O., SUTER M., FROSSARD E. and LÜSCHER A. (2011) Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, ecosystems & environment*, **140**, 155-163.
- PAPANASTASIS V., YIAKOULAKI M., DECANDIA M. and DINI-PAPANASTASI O. (2008) Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Animal Feed Science and Technology*, **140**, 1-17.
- PEGARD A., MIQUEL C., VALENTINI A., COISSAC E., BOUVIER F.D.R., FRANÇOIS D., TABERLET P., ENGEL E. and POMPANON F.O. (2009) Universal DNA-based methods for assessing the diet of grazing livestock and wildlife from feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **57**, 5700-5706.
- PENG Z.F., STRACK D., BAUMERT A., SUBRAMANIAM R., GOH N.K., CHIA T.F., TAN S.N. and CHIA L.S. (2003) Antioxidant flavonoids from leaves of *Polygonum hydropiper* L. *Phytochemistry*, **62**, 219-228.

- PEYRAUD J., LE GALL A. and LÜSCHER A. (2009) Potential food production from forage legume-based-systems in europe: An overview. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, **48**, 115-135.
- PICON-COCHARD C., BLOOR J., ZWICKE M. and DURU M. (2013) Impacts du changement climatique sur les prairies permanentes. *Fourrages*, **214**, 127-134.
- PINHEIRO R., ALVES F. and HADDAD J. (2000) Aspectos epidemiológicos da caprinocultura cearense. *Arquivo Brasileiro Med Veterinaria Zootecnia*, **52**, 534–543.
- RAMIREZ-RESTREPO C. and BARRY T. (2005) Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, **120**, 179-201.
- REID R., TEMPLETON W., RANNEY T.S. and THAYNE W. (1987) Digestibility, intake and mineral utilization of combinations of grasses and legumes by lambs. *Journal of Animal Science*, **64**, 1725-1734.
- RIBEIRO FILHO H., DELAGARDE R. and PEYRAUD J. (2003) Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass swards: Herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of sward regrowth. *Animal Science*, **77**, 499-510.
- ROCHFORT S., PARKER A.J. and DUNSHEA F.R. (2008) Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*, **69**, 299-322.
- SANDERSON M., SKINNER R., BARKER D., EDWARDS G., TRACY B. and WEDIN D. (2004) Plant species diversity and management of temperate forage and grazing land ecosystems. *Crop Science*, **44**, 1132-1144.
- SANGARE M. (2005) Synthèse des résultats acquis sur l'élevage des petits ruminants dans les systèmes de production animale d'afrique de l'ouest. *Document de synthèse du Programme Concerté de recherche-Développement sur l'Élevage en Afrique de l'ouest (PROCORDEL). Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide (CIRDES), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*, p. 163.
- SCHÄR C., VIDALE P.L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M.A. and APPENZELLER C. (2004) The role of increasing temperature variability in european summer heatwaves. *Nature*, **427**, 332-336.
- SKINNER R.H., GUSTINE D.L. and SANDERSON M.A. (2004) Growth, water relations, and nutritive value of pasture species mixtures under moisture stress. *Crop Science*, **44**, 1361-1369.
- SOININEN E.M., VALENTINI A., COISSAC E., MIQUEL C., GIELLY L., BROCHMANN C., BRYSTING A.K., SØNSTEBØ J.H., IMS R.A. and YOCOZ N.G. (2009) Analysing diet of small herbivores: The efficiency of DNA barcoding coupled with high-throughput pyrosequencing for deciphering the composition of complex plant mixtures. *Frontiers in Zoology*, **6**, 16.
- SOUSSANA J., TEYSSONNEYRE F., PICON-COCHARD C., CASELLA E., BESLE J., LHERM M. and LOISEAU P. (2002) Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production. *Fourrages*, **169**, 3-24.
- STEINFELD H., GERBER P., WASSENAAR T., CASTEL V., ROSALES M. and DE HAAN C. (2006) *Livestock's long shadow*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- TILMAN D., WEDIN D. and KNOPS J. (1996) Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, **379**, 718-720.
- VAN OLDENBORGH G., COLLINS M., ARBLASTER J., CHRISTENSEN J., MAROTZKE J., POWER S., RUMMUKAINEN M. and ZHOU T. (2013) Annex I: Atlas of global and regional climate projections. *Climate change*, 1311-1393.
- VAN SOEST P. (1982) *Nutritional ecology of the ruminant: Ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers*. O & B Books.
- VAREL V.H., NIENABER J.A. and FREETLY H.C. (1999) Conservation of nitrogen in cattle feedlot waste with urease inhibitors. *Journal of Animal Science*, **77**, 1162-1168.

- WAGHORN G. (2008) Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production. Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, **147**, 116-139.
- WINA E., MUETZEL S. and BECKER K. (2005) The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 8093-8105.
- WOJDYŁO A., OSZMIAŃSKI J. and CZEMERYŚ R. (2007) Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food chemistry*, **105**, 940-949.
- ZWICKE M., ALESSIO G.A., THIERY L., FALCIMAGNE R., BAUMONT R., ROSSIGNOL N., SOUSSANA J.F. and PICON-COCHARD C. (2013) Lasting effects of climate disturbance on perennial grassland above-ground biomass production under two cutting frequencies. *Global Change Biology*, **19**, 3435-3448.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE

ARTICLES SCIENTIFIQUES PUBLIÉS DANS DES REVUES AVEC COMITÉ DE LECTURE

Articles primaires

1. **NIDERKORN V.**, AWAD M., MARTIN C., ROCHETTE Y. and BAUMONT R. (2017) Associative effects between fresh ryegrass and white clover on dynamics of intake and digestion in sheep. *Grass and Forage Science*, on line.
2. DALL-ORSOLETTA, A.C., REITER, T., KOZLOSKI, G.V., **NIDERKORN, V.** and RIBEIRO-FIHLO, H.M.N. (2017) Associative effects between *Arachis pintoi* and dwarf elephantgrass hays on nutritional value in sheep. *Animal Production Science*, on line.
3. COPANI, G., **NIDERKORN, V.**, ANGLARD, F., QUEREUIL, A. and GINANE, C. (2016) Silages containing bioactive forage legumes: a promising protein-rich food source for growing lambs. *Grass and Forage Science*, **71**, 622-631.
4. CAMPIDONICO, L., TORAL, P.G., PRIOLO, A., LUCIANO, G., VALENTI, B., HERVAS, G., FRUTOS, P., COPANI, G., GINANE, C. and **NIDERKORN, V.** (2016) Fatty acid composition of ruminal digesta and longissimus muscle from lambs fed silage mixtures including red clover, sainfoin and timothy. *Journal of Animal Science*, **94**, 1550-1560.
5. RAMSAY, A., DRAKE, C., GROSSE BRINKHAUS, A., GIRARD, M., DOHME-MEIER, F., BEE, G., COPANI, G., **NIDERKORN V.** and MUELLER-HARVEY I. (2015) Sodium hydroxide enhances extractability and analysis of proanthocyanidins in ensiled sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **63**, 9471–9479.
6. **NIDERKORN, V.**, JULIEN, S., MARTIN, C., ROCHETTE, Y. and BAUMONT, R. (2015) Associative effects between orchardgrass and red clover silages on voluntary intake and digestion in sheep: evidence of a synergy on digestible dry matter intake. *Journal of Animal Science*, **93**, 4967-4976.
7. COPANI, G., GINANE, C., LE MORVAN, A. and **NIDERKORN, V.** (2015) Patterns of *in vitro* rumen fermentation of silage mixtures including sainfoin and red clover as bioactive legumes. *Animal Feed Science and Technology*, **208**, 220-224.
8. DUMONT, B., ANDUEZA, D., **NIDERKORN, V.**, LÜSCHER, A. PORQUEDDU and C., PICON-COCHARD, C. (2015) A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science*, **70**, 239-254.
9. MACHEBOEUF, D., COUDERT, L., BERGEAULT, R., LALIÈRE, G. and **NIDERKORN, V.** (2014) Screening of plants from diversified natural grasslands for their potential to conciliate high digestibility, and low methane and ammonia production. *Animal*, **8**, 1797-1806.
10. **NIDERKORN, V.** and MACHEBOEUF, D. (2014) Identification of bioactive grassland plants for reducing enteric methane production and rumen proteolysis using an *in vitro* screening assay. *Animal Production Science*, **54**, 1805-1809.
11. COPANI, G., GINANE, C., LE MORVAN, A. and **NIDERKORN V.** (2014) Bioactive forage legumes as a strategy to improve silage quality and minimise nitrogenous losses. *Animal Production Science*, **54**, 1826-1829.

12. WILLERSLEV, E., DAVISON, J., MOORA, M., ZOBEL, M., COISSAC, E., EDWARDS, M.E., LORENZEN, E.D., VESTERGARD, M., GUSSAROVA, G., HAILE, J., CRAINE, J., GIELLY, L., BOESSENKOOL, S., EPP, L.S., PEARMAN, P.B., CHEDDADI, R., MURRAY, D., BRATHEN, K.A., YOCCOZ, N., BINNEY, H., CRUAUD, C., WINCKER, P., GOSLAR, T., ALSOS, I.G., BELLEMAIN, E., BRYSTING, A.K., ELVEN, R., SONSTEBO, J.H., MURTON, J., SHER, A., RASMUSSEN, M., RONN, R., MOURIER, T., COOPER, A., AUSTIN, J., MOLLER, P., FROESE, D., ZAZULA, G., POMPANON, F., RIOUX, D., **NIDERKORN, V.**, TIKHONOV, A., SAVVINOV, G., ROBERTS, R.G., MACPHEE, R.D.E., GILBERT, M.T.P., KJAER, K.H., ORLANDO, L., BROCHMANN, C. and TABERLET, P. (2014) Fifty thousand years of Arctic vegetation and megafaunal diet. *Nature*, **506**, 47-51.
13. **NIDERKORN, V.**, MUELLER-HARVEY, I., LE MORVAN, A. and AUFRÈRE, J. (2012) Synergetic effects of mixing cocksfoot and sainfoin on *in vitro* rumen fermentation. Role of condensed tannins. *Animal Feed Science and Technology*, **178**, 48-56.
14. FARRUGGIA, A., POMPANON, F., GINANE, C., VAZEILLE, K., **NIDERKORN, V.** and HULIN, S. (2012) Reconstituer la composition du régime alimentaire des herbivores domestiques au pâturage : l'approche par métabarcoding. *Fourrages*, **209**, 43-51.
15. THEODORIDOU, K., AUFRÈRE, J., **NIDERKORN, V.**, ANDUEZA, D., LE MORVAN, A., CAPITAN, P., PICARD, F. and BAUMONT, R. (2011) *In vitro* study of the effects of condensed tannins in sainfoin on the digestive process in the rumen at two vegetation cycles. *Animal feed Science and Technology* **170**, 147-159.
16. **NIDERKORN, V.**, BAUMONT, R., LE MORVAN, A. and MACHEBOEUF D. (2011) Occurrence of associative effects between grasses and legumes in binary mixtures on *in vitro* rumen fermentation characteristics. *Journal of Animal Science*, **89**, 1138-1145.
17. LEE, M.R.F., CABIDDU, A., HOU, F., **NIDERKORN, V.**, KIM, E.J., FYCHAN, R. and SCOLLAN N.D. (2011) *In vitro* rumen simulated (RUSITEC) metabolism of freshly cut or wilted grasses with contrasted polyphenol oxidase activities. *Grass and Forage Science*, **66**, 196-205.
18. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P., ABOAB, B., LEMAIRE, M. and BOUDRA, H. (2009) Cell wall component and mycotoxin moieties involved in the binding of fumonisins B₁ and B₂ by lactic acid bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, **106**, 977-985.
19. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P. and BOUDRA, H. (2008) Stability of the bacteria-bound zearalenone complex in ruminal fluid and in simulated gastrointestinal environment *in vitro*. *World Mycotoxin Journal*, **1**, 463-467.
20. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P., PUJOS, E., TISSANDIER, A. and BOUDRA, H. (2007) Screening of fermentative bacteria for their ability to bind and biotransform deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins in an *in vitro* model simulating corn silage. *Food Additives and Contaminants*, **24**, 406-415.
21. **NIDERKORN, V.**, BOUDRA, H. and MORGAVI, D.P. (2006) Binding of *Fusarium* mycotoxins by fermentative bacteria *in vitro*. *Journal of Applied Microbiology*, **101**, 849-856.

Articles de synthèse

22. BAUMONT, R., BASTIEN, D., FERARD, A., MAXIN, G. and **NIDERKORN, V.** (2016) Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants. *Fourrages*, **227**, 171-180.

23. MARTIN, C., COPANI, G. and **NIDERKORN, V.** (2016) Impacts of forage legumes on intake, digestion and methane emissions in ruminants. *Legume perspectives*, **12**, 24-25.
24. BAUMONT, R., ARRIGO, Y. and **NIDERKORN, V.** (2011) Transformation des plantes au cours de leur conservation et conséquences sur leur valeur pour les ruminants. *Fourrages*, **205**, 35-46.
25. **NIDERKORN, V.** and BAUMONT, R. (2009) Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*, **3**, 951-960.
26. BAUMONT, R., AUFRERE, J., **NIDERKORN, V.**, ANDUEZA, D., SURAULT, F., PECCATTE, J.R., DELABY, L. and PELLETIER, P. (2008) La diversité spécifique dans le fourrage : conséquences sur la valeur alimentaire ; *Fourrages*, **194**, 189-206.
27. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P. and BOUDRA, H. (2007) Les fusariotoxines : comment limiter leur présence dans les ensilages et leur impact chez les ruminants ? *Fourrages*, **189**, 111-123.

COMMUNICATIONS DANS DES CONGRES ET SYMPOSIUMS

Communications orales

28. **NIDERKORN, V.**, COPANI, G. and GINANE, C. Including bioactive legumes in grass silage to improve productivity and reduce pollutant emissions. (2016) *Grassland Science in Europe*, **21**, *The Multiple Roles of Grassland in the European Bioeconomy*, Trondheim, Norway, 4-8 September 2016, pp. 391-393.
29. LUCIANO, G., PRIOLO, A., VALENTI, B., MATTIOLI, S., PAUSELLI, M., COPANI, G., GINANE, C. and **NIDERKORN, V.** (2016) Oxidative stability of meat from lambs fed silage mixtures of timothy grass, red clover and sainfoin. *67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)*, Belfast, UK, 29 August - 2 September 2016, p.649.
30. MUELLER-HARVEY, I., RAMSAY, A., FRYGANAS, C., ROPIAK, H.M., DRAKE, C., MORA ORTIZ, M., SMITH, L.M.J., SKØT, L., MALISCH, C., LUESCHER, A., KEMPF, K., KOELIKER, R., DESRUES, O., WILLIAMS, A.R., THAMSBORG, S.M., AZUHNWI, B.N., QUIJADA, J., HOSTE, H., M. GIRARD, A. GROSSE BRINKHAUS, F. DOHME-MEIER, G. BEE, N.T. HUYEN, W. PELLIKAAN, COPANI, G., **NIDERKORN, V.**, ENGSTRÖM, M., SALMINEN, J-P., WILKINSON, I., TOTTERDELL, P. and WAGHORN, G. (2015) Bioactive tannins in forage legumes: myths, ignorance and aspirations. In: *Symposium - the Value of Condensed Tannins in Forages (C06 Forage and Grazinglands, Session No. 259)*. *Synergy in Science: Partnering for Solutions. Annual Meeting of ASA, CSSA, SSSA*, Minneapolis, MN, USA, 17 November 2015.
31. MUELLER-HARVEY, I., RAMSAY, A., FRYGANAS, C., ROPIAK, H.M., DRAKE, C., MORA ORTIZ, M., SMITH, L.M.J., SKØT, L., MALISCH, C., LUESCHER, A., KEMPF, K., KOELIKER, R., DESRUES, O., WILLIAMS, A.R., THAMSBORG, S.M., AZUHNWI, B.N., QUIJADA, J., HOSTE, H., M. GIRARD, A. GROSSE BRINKHAUS, F. DOHME-MEIER, G. BEE, N.T. HUYEN, W. PELLIKAAN, COPANI, G., **NIDERKORN, V.**, ENGSTRÖM, M., SALMINEN, J-P., WILKINSON, I., TOTTERDELL, P. and WAGHORN, G. (2015) Invited seminar lecture: Supporting sustainable animal nutrition and health with better tannin analysis techniques, *USDA*, Madison Wisconsin, USA, 20 November 2015.
32. **NIDERKORN, V.**, MARTIN, C. and BAUMONT, R. (2014) Associative effects between plant species on intake and digestive efficiency in sheep. *Grassland Science in Europe*, **19**, *EGF at 50: the Future of European Grasslands. 25th General Meeting of the European Grassland Federation*, Aberystwyth, Wales, 7-11 September 2014, pp. 734-736.

33. **NIDERKORN, V.** and MACHEBOEUF, D. (2014) Identification of bioactive grassland plants for reducing enteric methane production and rumen proteolysis using an *in vitro* screening assay. *Joint ISNH/ISRP International Conference*, Canberra, Australia, 8-12 September 2014. *Animal Production Science*, **54**, 1805-1809.
34. COPANI, G., GINANE, C., LE MORVAN, A. and **NIDERKORN, V.** (2014) Bioactive forage legumes as a strategy to improve silage quality and minimise nitrogenous losses. *Joint ISNH/ISRP International Conference*, Canberra, Australia, 8-12 September 2014. *Animal Production Science*, **54**, 1826-1829.
35. **NIDERKORN, V.**, FARRUGIA, A., DE BARBA, M., RIOUX, D., BAUMONT, R. and POMPANON, F. (2014) DNA based characterization of the diet from digested samples: a reliability study in ruminants. *1st Joint meeting of FAO-CIHEAM Mountain Pastures and Mediterranean Forages Resources networks and Mountain Cheese network*, Clermont-Ferrand, 24-26 June 2014. *Options méditerranéennes*, **109**, pp. 83-86.
36. DUMONT, B., ANDUEZA, D., **NIDERKORN, V.**, LÜSCHER, A. PORQUEDDU, C. and PICON-COCHARD, C. (2014) A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: perspectives for mountain and Mediterranean areas. *1st Joint meeting of FAO-CIHEAM Mountain Pastures and Mediterranean Forages Resources networks and Mountain Cheese network*, Clermont-Ferrand, 24-26 June 2014. *Options méditerranéennes*, 109, pp. 49-65.
37. **NIDERKORN, V.**, MARTIN, C., ROCHETTE, Y., JULIEN, S. and BAUMONT, R. (2012) Synergy between cocksfoot and red clover silages on voluntary intake and digestive processes in sheep. *Grassland Science in Europe, 24th General Meeting of the European Grassland Federation*, Lublin, Poland 3-7 June 2012, pp. 320-322.
38. **NIDERKORN, V.**, LE MORVAN, A. and BAUMONT, R. (2010) The condensed tannins in sainfoin cause digestive synergy on *in vitro* rumen fermentation of cocksfoot. *Grassland Science in Europe, 23rd General Meeting of the European Grassland Federation*, Kiel, Germany, 29 August – 2 September 2010, pp. 440-442.
39. LEE, M.R.F., CABIDDU, A., HOU, F., **NIDERKORN, V.**, KIM, E.J. and SCOLLAN, N.D. (2010) *In vitro* rumen simulated metabolism (RUSITEC) of freshly cut or wilted grasses with contrasting polyphenol oxidase activities: the effect on rumen parameters, lipolysis and biohydrogenation. *Proceedings of the British Society of Animal Science, BSAS Annual Meeting*, Belfast, Northern Ireland, 12-14 April 2010, p.205.
40. **NIDERKORN, V.**, LE MORVAN, A., BERGEAULT, R., PAPON, Y., BAUMONT, R. and MACHEBOEUF D. (2008) Etude *in vitro* des interactions digestives entre graminées et légumineuses. *15^{èmes} Rencontres Recherches Ruminants*, Paris, 5-6 décembre 2008, p.279.
41. **NIDERKORN, V.**, BOUDRA, H., and MORGAVI, D.P. (2006) Aptitude des bactéries fermentaires à séquestrer et biotransformer les fusariotoxines – Application à la détoxification des ensilages de maïs, *14^{ème} Colloque du club des bactéries lactiques*, Paris, 17-19 mai 2006, O17, p.28.

Communications affichées

42. ZABRE, G., KABORE, A., BAYALA, B., COSTA JUNIOR, L.M., TAMBOURA, H., BELEM G., ABDALLA, A.L., LOUVANDINI, H., **NIDERKORN, V.** and HOSTE, H. (2016) Ovicidal and larvicidal activity of two extracts of *Acacia raddiana* on *Haemonchus contortus*. *Joint meeting of XIX Congresso brasileiro de parasitologia veterinária and 8th Novel Approaches to the control of helminth parasites of livestock*, Belem, Brazil, 4-10 August 2016.

43. DALL-ORSOLETTA, A.C., REITER, T., KOZLOSKI, G.V., **NIDERKORN, V.** and RIBEIRO-FIHLO, H.M.N. (2016) Inclusion of *Arachis Pintoi* in different levels on diets based on dwarf elephant grass. *Grassland Science in Europe*, 21, *The Multiple Roles of Grassland in the European Bioeconomy*, Trondheim, Norway, 4-8 September 2016, pp. 476-478.
44. TORAL, P.G., CAMPIDONICO, L., COPANI, G., HERVÁS, G., LUCIANO, G., GINANE, C., PRIOLO, A., FRUTOS, P. and **NIDERKORN, V.** (2015) Rumen fatty acid metabolism in lambs fed silages containing bioactive forage legumes. *66th Meeting of the European Federation of Animal Science*, Warsaw, Poland, 31 August - 4 September 2015, p.380.
45. COPANI, G., **NIDERKORN, V.**, ANGLARD, F., QUEREUIL, A. and GINANE, C. (2015) Silages containing bioactive forage legumes: a promising protein-rich food source for growing lambs. *66th Meeting of the European Federation of Animal Science*, Warsaw, Poland, 31 August - 4 September 2015, p.381.
46. **NIDERKORN, V.**, GINANE, C., DUMONT, B., ANDUEZA, D., DECAU, M.L., MORVAN-BERTRAND, A. and PICON-COCHARD, C. (2014) Changes in forage quality of an upland permanent grassland under climate change including a summer extreme drought combined with a heat wave. *1st Joint meeting of FAO-CIHEAM Mountain Pastures and Mediterranean Forages Resources networks and Mountain Cheese network*, Clermont-Ferrand, 24-26 June 2014. *Options méditerranéennes*, **109**, pp. 201-205.
47. **NIDERKORN, V.**, MARTIN, C., LE MORVAN, A., ROCHETTE, Y., BRISON, E. and BAUMONT, R. (2011) Effect of increasing proportion of alfalfa in alfalfa-ryegrass mixed diets on intake, digestion and methane emissions in sheep. *Advances in Animal Biosciences*, Proceedings on the *8th International Symposium on the Nutrition of Herbivores*, Aberystwyth, UK, 6-9 September 2011, pp. 563.
48. **NIDERKORN, V.**, KIM, E.J., HOU, F.J., NEWBOLD, C.J. and SCOLLAN, N.D. (2009) Methane production and microbial profile in the rumen from three high water-soluble carbohydrate perennial ryegrass monocultures differing in their heading dates using RUSITEC. *11th International Symposium on Ruminant Physiology*, Clermont-Ferrand, 6-9 September 2009, pp.296-297.
49. **NIDERKORN, V.**, BAUMONT, R., LE MORVAN, A., BERGEAULT, R., PAPON, Y. and MACHEBOEUF, D. (2009) Effect of associating ryegrass to lucerne or sainfoin on rumen digestion *in vitro*. *11th International Symposium on Ruminant Physiology*, Clermont-Ferrand, 6-9 September 2009, pp.294-295.
50. **NIDERKORN, V.**, LE MORVAN, A., BERGEAULT, R., PAPON, Y., BAUMONT, R. and MACHEBOEUF, D. (2008) Effect of two grass-legume associations on rumen fermentation *in vitro*. *6th Symposium INRA-RRI Gut Microbiome*, Clermont-Ferrand, 18-20 juin 2008, p.75.
51. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P. and BOUDRA, H. (2007) Stabilité du complexe zéaralénone – *Streptococcus thermophilus* dans le jus de rumen *in vitro*. *14^{èmes} Rencontres Recherches Ruminants*, Paris, 5-6 décembre 2007, p.95.
52. **NIDERKORN, V.**, BOUDRA, H. and MORGAVI, D.P. (2006) Binding and biotransformation of the *Fusarium* mycotoxin zearalenone to α -zearalenol by lactic acid bacteria. *5th Symposium Gut microbiology Rowett Research Institute – INRA*, Aberdeen, 21-23 juin 2006, *Reproduction Nutrition Development* **46**, S54.
53. **NIDERKORN, V.**, BOUDRA, H. and MORGAVI, DP. (2004) Effet de l'addition d'agents biologiques sur la présence de mycotoxines *in vitro*. *11^{èmes} Rencontres Recherches Ruminants*, Paris, 8-9 décembre 2004, p.40.

COMMUNICATIONS DANS DES ATELIERS ET JOURNÉES DE RESTITUTION

54. **NIDERKORN, V.** Des légumineuses bioactives pour améliorer la qualité du fourrage et réduire les émissions polluantes des ruminants. *Atelier Prospectif Recherches Légumineuses*, Académie d'Agriculture, Paris, 10 novembre 2016.
55. BAUMONT, R., BASTIEN, D., FERARD, A., MAXIN, G. and **NIDERKORN, V.** (2016) Les différents intérêts des légumineuses pour l'alimentation animale. *Journées AFPP, Les légumineuses fourragères et prairiales : quoi de neuf ?*, Paris, 21-22 mars 2016, pp.121-134.
56. **NIDERKORN, V.** (2015) How mixing bioactive legumes with grass impacts animal productivity ? *LegumePlus dissemination event, Bioactive Legumes: Forages with Veterinary, Nutritional & Environmental Qualities: Opportunities and Development*, National Institute of Agricultural Botany (NIAB), Cambridge, UK, 20-21 October 2015.
57. **NIDERKORN, V.**, MAXIN, G., GRAULET, B., MARTIN, B. and FARRUGGIA, A. (2014) Atouts des ressources prairiales pour les ruminants, au-delà de leur valeur alimentaire. *Séminaire réseau Prairies*, Caen, 16 décembre 2014.
58. **NIDERKORN, V.**, BAUMONT, R., DELAGARDE, R., PEYRAUD, J.L. and POMPANON, F. (2013) Caractérisation du régime alimentaire des ruminants à partir de l'analyse des produits de la digestion par DNA metabarcoding. *5^{èmes} Journées d'Animation Scientifique* du département PHASE, Paris, 3-4 octobre 2013.
59. MEUNIER, B., GINANE, C., DE LA TORRE, A., FLEURANCE, G., MIALON, M.M., **NIDERKORN, V.**, SILBERBERG, M. and BOISSY, A. Conception d'un dispositif de monitoring de l'animal, multi-capteurs et modulable (2013). *5^{èmes} Journées d'Animation Scientifique* du département PHASE, Paris, 3-4 octobre 2013.
60. **NIDERKORN, V.**, AUFRERE, J. and GINANE, C. (2012) Les prairies permanentes, un réservoir de métabolites secondaires. Leurs effets sur le comportement alimentaire, l'efficacité digestive, les rejets et la santé des ruminants. *Journées AFPP, les prairies permanentes : de nouveaux atouts pour demain*, Paris, 3-4 avril 2012, pp 182-183.
61. AUFRERE, J., THEODORIDOU, K., **NIDERKORN, V.**, ANDUEZA, D. and BAUMONT, R. (2012) Le sainfoin, un fourrage de haute valeur alimentaire favorable à la réduction des rejets. *4^{èmes} Journées d'Animation Scientifique* du département PHASE, faits marquants 2011, Rennes, 31 janvier-1^{er} février 2012.
62. **NIDERKORN, V.**, AUFRERE, J., JULIER, B. and BAUMONT, R. (2011) Le rôle potentiel des métabolites secondaires présents dans les espèces prairiales sur leur utilisation digestive par les ruminants et les rejets dans l'environnement. *Séminaire réseau prairies*, Toulouse, 14-15 décembre 2011, pp. 16-17.
63. BAUMONT, R., ARRIGO, Y. and **NIDERKORN, V.** (2011) Transformation des plantes au cours de leur conservation et conséquences sur leur valeur pour les ruminants. *Journées AFPP, récolte et valorisation des fourrages conservés : les clés de la réussite*, Paris, 30-31 mars 2011, pp. 85-100
64. BAUMONT, R., AUFRERE, J., **NIDERKORN, V.**, ANDUEZA, D., SURAULT, F., PECCATTE, J.R., DELABY, L. and PELLETIER, P. (2008) La diversité spécifique dans le fourrage : conséquences sur la valeur alimentaire. *Journées AFPP, Diversité des systèmes fourragers de l'Europe laitière*, Paris, 16 octobre 2008, pp. 67-80.

65. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P., ABOAB, B., LEMAIRE, M. and BOUDRA, H. (2007) Mécanisme de séquestration des fumonisines B₁ et B₂ par les bactéries lactiques. *4^{ème} Rencontre des Microbiologistes du pôle clermontois*, Aubière, 29 mars 2007, p.15.
66. **NIDERKORN, V.** (2006) Aptitude des bactéries fermentaires à séquestrer et biotransformer les fusariotoxines. *Journées de l'école doctorale Sciences de la Vie et de la Santé*, Clermont-Ferrand, 30-31mars 2006, session 1.
67. **NIDERKORN, V.**, MORGAVI, D.P. and BOUDRA, H. (2005) Capacité des bactéries lactiques à éliminer les fusariotoxines *in vitro*. *1^{ères} Journées d'Animation Scientifique* du département PHASE, Tours, 15-16 mars 2005, p.137.

THÈSES ET RAPPORTS DE TRAVAUX DE RECHERCHE ENCADRÉS

Thèses

68. DAL PIZZOL, J.G. (avec RIBEIRO-FIHLO, H.M.N and **NIDERKORN, V.**) (2016) Nutritional evaluation of *Missioneira Gigante* grass with or without legume inclusion. Université de Santa Caterina (UDESC), Brésil ;
69. COPANI, G. (avec NIDERKORN, V. and GINANE, C.) (2015) Benefits of including bioactive legumes (sainfoin and red clover) in grass-based silages on ruminant production and pollutant emissions. *Thèse de doctorat, spécialité Nutrition*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 156 p.

Stages de Masters et Ingénieur

70. BERNARD, M. (avec **NIDERKORN, V.**) (2012) Etude des effets associatifs induits par l'incorporation de chicorée dans des mélanges fourragers sur les processus ingestifs et digestifs chez le mouton. *Mémoire de fin d'études d'ingénieur*, VetAgro Sup, Clermont-Ferrand, 48 p.
71. AWAD, M. (avec **NIDERKORN, V.**) (2011) Etude des effets associatifs entre une variété de ray-grass anglais riche en glucides solubles et le trèfle blanc sur l'ingestion et la digestion chez le mouton. *Rapport de stage de Master 2 Production et transformation de la filière lait et viande*, Ecole Supérieure d'Agriculture, Angers, 50 p.
72. JULIEN, S. (avec **NIDERKORN, V.**) (2011) Etude des effets associatifs entre l'ensilage de dactyle et l'ensilage de trèfle violet sur l'ingestion et la digestion chez le mouton. *Rapport de stage de Master de Recherche Nutrition et Sciences des Aliments (Nutrition Animale et Elevage)*, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 30 p.
73. BRISON, E. (avec **NIDERKORN, V.**) (2010) Etude des effets associatifs entre une variété de ray-grass anglais riche en glucides solubles et la luzerne sur l'ingestion et la digestion chez le mouton. *Rapport de stage de Master de Recherche Nutrition et Sciences des Aliments (Nutrition Animale et Elevage)*, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 42 p.
74. COUDERT, L. (avec MACHEBOEUF, D and **NIDERKORN, V.**) (2010) Criblage *in vitro* d'une collection de plantes de la flore sauvage d'Auvergne pour leur potentiel à réduire les émissions de méthane de l'écosystème microbien du rumen. *Rapport de stage de Master de Recherche Nutrition et Sciences des Aliments (Nutrition Animale et Elevage)*, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 42 p.
75. TISSANDIER, A. (avec **NIDERKORN, V.**) (2005) Criblage de bactéries lactiques pour leur capacité à limiter l'impact des mycotoxines dans les ensilages de maïs. *Rapport de stage de Master 1 Sciences de la Vie & de la Santé*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 30 p.

RAPPORTS PERSONNELS DIPLOMANTS

76. **NIDERKORN, V.** (2007) Activités de biotransformation et de séquestration des fusariotoxines chez les bactéries fermentaires pour la détoxification des ensilages de maïs. *Thèse de Doctorat, spécialité Nutrition*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 214 p.
77. **NIDERKORN, V.** (2003) Détermination du potentiel toxigène de moisissures du genre *Fusarium* par des techniques de biologie moléculaire. *Mémoire de DEA*, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 32 p.