



**HAL**  
open science

## Le niveau de biodiversité végétale des prairies modifie les processus digestifs, le microbiote ruminal et des fèces des vaches laitières et la composition du lait

Martino Musati, Mauro Coppa, Céline Delbès, Isabelle Verdier-Metz, Popova Milka, Vincent Niderkorn, Matthieu Bouchon, Yves Farizon, Francis Enjalbert, Manuela Renna, et al.

### ► To cite this version:

Martino Musati, Mauro Coppa, Céline Delbès, Isabelle Verdier-Metz, Popova Milka, et al.. Le niveau de biodiversité végétale des prairies modifie les processus digestifs, le microbiote ruminal et des fèces des vaches laitières et la composition du lait. 3R2022: 26èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants., Institut de l'élevage [IDELE] INRAE, Dec 2022, Paris, France. hal-04734623

**HAL Id: hal-04734623**

**<https://hal.science/hal-04734623v1>**

Submitted on 14 Oct 2024

**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.

# Le niveau de biodiversité végétale des prairies modifie les processus digestifs, le microbiote ruminal et des fèces des vaches laitières et la composition du lait

MUSATI M. (1, 2), COPPA M. (3), DELBES C. (4), VERDIER-METZ I. (4), POPOVA M. (1), NIDERKORN V. (1), BOUCHON M. (5), FARIZON Y. (6), ENJALBERT F. (6), RENNA M. (7), LUSSIANA C. (8), NATALELLO A. (2), MARTIN B. (1), FERLAY A. (1)

(1) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR 1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(2) Department Di3A, University of Catania, 95123 Catania, Italy

(3) Chercheur Independent, Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR 1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(4) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR 0545 Fromage, F-15000, Aurillac, France

(5) INRAE, UE1414 Herbipôle, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(6) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, INPT, Toulouse, France

(ENSAT), École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT), UMR1289 Tandem, F-31076 Toulouse, France

(7) Department of Veterinary Sciences, University of Turin, 10095 Grugliasco (TO), Italy

(8) Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Turin, 10095 Grugliasco (TO), Italy

## RESUME

Pour étudier les interactions entre la biodiversité végétale des prairies, les ruminants, leur microbiote et leurs produits, des expérimentations in vivo et in vitro ont été menées au printemps 2018. Après une période d'adaptation de 5 semaines sur une parcelle commune, 2 lots de 7 vaches laitières ont été conduits pendant 4 semaines sur 2 parcelles présentant des niveaux de biodiversité végétale contrastés : LD (diversité faible, 19 espèces, beaucoup des graminées) et HD (diversité élevée 56 espèces, beaucoup des dicotylédones). Des prélèvements d'herbe sélectionnés par les vaches (bouchées simulées), de liquide ruminal, de fèces et de lait ont été réalisés en fin de période d'adaptation, et en fin de période expérimentale. La production laitière et les taux protéique et butyreux était similaires entre les lots. L'herbe du lot HD était plus fibreuse et avait une teneur en tanins totaux plus élevée. La teneur en acides gras (AG) totaux de l'herbe, et en C18:3 n3, était plus élevée pour LD. La production totale de gaz lors de la fermentation ruminale in vitro de l'herbe HD était plus faible par rapport à LD, ceci étant probablement dû à l'inhibition de l'activité bactérienne par les tanins, qui ont également protégé la digestion de la matière sèche (MS) du lot HD par rapport au lot LD. Le liquide ruminal des vaches HD a présenté une concentration plus faible en AG totaux mais une proportion plus élevée en acides gras polyinsaturés (AGPI). Cela suggère une biohydrogénation moins complète des AGPI alimentaires induite par les tanins. La  $\beta$ -diversité, qui considère l'équipartition des espèces, a montré des différences entre des communautés bactériennes et fongiques du liquide ruminal et des fèces des vaches entre les 2 lots. Le profil en AG du lait des vaches LD se distingue par une concentration plus importante en C18:2 c9t11. Par contre, la quantité de C18:3 n-3 n'est pas significativement différente entre les lots, malgré les différences marquées sur l'herbe. Le contenu en AG totaux et en n-3 plus faible de l'herbe du lot HD, pourrait avoir été compensé par l'effet protecteur des tanins dans le rumen.

## The level of plant biodiversity in pasture modifies dairy cow digestive processes, rumen and faeces microbiota and milk composition

MUSATI M. (1, 2), COPPA M. (3), DELBES C. (4), VERDIER-METZ I. (4), NIDERKORN V. (1), BOUCHON M. (5), FARIZON Y. (6), ENJALBERT F. (6), RENNA M. (7), LUSSIANA C. (8), NATALELLO A. (2), MARTIN B. (1), FERLAY A. (1)

(1) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR 1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(2) Department Di3A, University of Catania, 95123 Catania, Italy

## SUMMARY

To study the interactions between the plant biodiversity of pastures, ruminants, their microbiota and their products, an in vivo and in vitro experiment was carried out in the spring 2018. After a 5-week adaptation period on a common plot, 2 groups of 7 dairy cows were led for 4 weeks on 2 plots with contrasting levels of plant biodiversity: LD (19 species, mainly grasses) and HD (56 species, mostly dicots). Samples of grass selected by the cows (simulated bites), rumen fluid, faeces, and milk were taken at the end of the experimental periods, respectively. Milk production and protein and fat concentration were similar between treatments. The grass from group HD was more fibrous and had a higher total tannin content. Grass total fatty acids (FA) and C18:3 n-3 contents were higher for LD. Total gas production during in vitro ruminal fermentation of HD grass was lower compared to LD, this being probably due to the inhibition of bacterial proliferation by tannins, which also protected the digestion of the dry matter of the HD group compared to LD. Ruminal fluid of HD cows differed from that of LD cows by a lower concentration of total FA but a higher proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFA). This suggests a less complete biohydrogenation of dietary PUFA induced by tannins. The  $\beta$ -diversity, which considers the equipartition of species, showed differences between the bacterial and fungal communities of the ruminal liquid and the faeces of the cows between the 2 treatments. The FA profile of milk from LD cows is distinguished by a higher concentration of C18:2 c9t11. Moreover, the quantity of C18:3 n-3 is not significantly different between the treatments, despite the marked differences on grass. The lower total FA and n-3 content of the grass from the HD group could have been compensated by the protective role of tannins in the rumen.

67	<b>INTRODUCTION</b>	139
68		140
69	Les systèmes d'élevage herbagers apparaissent de plus en plus	141
70	comme les options d'avenir les plus prometteuses pour	142
71	l'élevage des ruminants. Ils permettent de concilier	143
72	production, revenus agricoles, large éventail de services	144
73	écosystémiques et produits de bonne qualité nutritionnelle.	145
74	Bien que de nombreux travaux scientifiques aient déjà	146
75	démontré les bénéfices des systèmes herbagers, des zones	147
76	d'ombre subsistent pour comprendre tous les mécanismes	148
77	place depuis le pâturage jusqu'au produit.	149
78	Les recherches se sont concentrées sur l'étude des effets du	150
79	stade phénologique de l'herbe ou des différentes techniques	151
80	de pâturage sur la biohydrogénation ruminale des acides	152
81	gras ingérés, sur la composition en acides gras du lait et sur	153
82	le profil organoleptique des produits laitiers. Généralement,	154
83	les vaches nourries au pâturage ou à l'herbe fraîche	155
84	produisent un lait plus riche en acides gras n-3 et en	156
85	isomères de l'acide linoléique conjugué - CLA (Chilliard et al.,	157
86	2007). Par ailleurs, il a été montré que l'avancement du stade	158
87	phénologique de l'herbe provoque une diminution des acides	159
88	gras C18:1 n-3, CLA et n-3 (Coppa et al., 2015), alors que le	160
89	lait issu d'une technique de pâturage en rotation permet de	161
90	maintenir sa qualité dans le temps par rapport à un système	162
91	de pâturage continu (Coppa et al., 2011). De plus, il a été	163
92	démontré que les tanins présents dans diverses espèces	164
93	botaniques des prairies modulent la biohydrogénation	165
94	ruminale, favorisant la conservation des acides gras insaturés	166
95	(Frutos et al., 2020). Cependant, certains effets potentiels	167
96	des métabolites secondaires des plantes, notamment les	168
97	polyphénols, les tanins et les terpènes, sur le microbiote des	168
98	ruminants et les interactions entre les espèces botaniques	
99	des prairies, les ruminants et leur microbiote restent peu	
100	explorés.	
101	L'objectif de cette expérimentation est d'étudier les effets de	
102	la biodiversité botanique d'un pâturage sur la digestion, la	
103	qualité du lait et les interactions avec la communauté	
104	microbienne ruminale et fécale.	
105		
106	<b>1. MATERIEL ET METHODES</b>	
107		
108	<b>1.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL</b>	
109	L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de	
110	Marcenat (Herbipole, INRAE, Cantal, France). Au cours d'une	
111	période pré-expérimentale de 5 semaines, 14 vaches de race	169
112	Holstein et Montbéliarde ont été conduites sur une parcelle	170
113	commune en pâturage continu à faible niveau de biodiversité	171
114	Par la suite, les vaches ont été réparties en 2 groupes de 7	172
115	animaux conduits en pâturage continu pendant 4 semaines	173
116	sur deux parcelles avec des niveaux de biodiversité	174
117	botanique contrastés : LD (low diversity, 19 espèces	175
118	botaniques, principalement graminées et légumineuses) et	176
119	HD (high diversity, 56 espèces botaniques, principalement	177
120	des dicotylédones non légumineuses).	177
121		179
122	<b>1.2 PRELEVEMENTS ET ANALYSES</b>	180
123	Des échantillons d'herbe, de liquide ruminal, de matières	181
124	fécales et de lait ont été prélevés au cours de la dernière	182
125	semaine des périodes pré-expérimentale et expérimentale.	183
126	La composition botanique a été déterminée en utilisant la	184
127	méthode phyto-pastorale, tandis que les échantillons d'herbe	185
128	étaient des bouchées simulées pour rendre compte de la	186
129	sélection des animaux au pâturage. Les bouchées simulées	187
130	ont été analysées pour déterminer leurs compositions acides	188
131	gras, en polyphénols et en tanins, comme détaillé dans Luss	189
132	et al. (2015). Par la suite, les échantillons d'herbe de chaque	190
133	période ont été utilisés comme substrat pour des essais de	191
134	fermentation ruminale in vitro. La production et la composition	192
135	des gaz de fermentation (CO <sub>2</sub> et CH <sub>4</sub> ), la dégradabilité de la	193
136	matière sèche et le profil en acides gras volatils (AGV) ont	194
137	été mesurés. Le liquide ruminal prélevé avec une sonde	195
138	gastro-œsophagienne a été divisé en 2 échantillons : le	196

premier a été filtré et analysé en chromatographie en phase gazeuse (CPG) pour le profil des acides gras, tandis que le second a été centrifugé en vue de caractériser les communautés bactérienne et fongique par séquençage des amplicons (metabarcoding). De même, communautés bactérienne et fongique ont été analysées dans le fèces recueillies le lendemain. La production de lait a été enregistrée quotidiennement, tandis que la composition du lait a été analysée 2 fois par semaine par des analyses moyen infrarouge. Les échantillons de lait de la fin de chaque période ont été analysés par CPG pour déterminer le profil en acides gras.

Toutes les données ont été analysées avec un modèle linéaire mixte, avec le type de pâturage comme effet fixe, tandis que la  $\beta$ -diversité a été estimée avec la méthode de distance Unifrac et un Permanova (Figures 1, 2, 3).

## 2. RESULTATS

### 2.1 BOUCHEES SIMULEES

En comparaison du lot LD, l'herbe du lot HD était plus fibreuse (NDF : 509 vs. 489 g/kg MS ; ADF : et 260 vs. 238 g/kg MS) et avait une teneur en polyphénols et tanins totaux plus élevée (polyphénols : 24,63 vs. 10,69 g/kg MS ; tanins : 22,96 vs. 5,95 g/kg MS). La teneur en AG totaux de l'herbe était plus élevée dans le groupe LD (52,2 vs. 33,5 g/kg MS) et la teneur en AGPI était également plus élevée (26,2 vs. 14,4 g/kg MS) ; l'herbe du lot LD était beaucoup plus riche en C18:3 n-3 (37,4 vs. 27,3 g/100 g AG ; Tableau 1).

	LD	HD	SEM	<i>p</i>
AGS	32,72	41,22	0,66	***
AGMI	4,32	6,10	0,14	***
AGPI	51,96	42,82	3,56	ns
C18:3 n3	37,38	27,31	3,50	*
C18:2 n6	12,72	11,37	0,61	***
C16:0	18,14	23,48	0,35	***

**Tableau 1.** Acides gras (AG) des bouchées simulées (g/100g AG totaux). LD : pâturage peu diversifié ; HD : pâturage très diversifié ; AGS : AG saturés ; AGMI : AG monoinsaturés ; AGPI : polyinsaturés. *p* : Probabilité : \*  $p < 0,5$  ; \*\*\*  $p > 0,001$  ; ns non significatif.

Lors de la fermentation in vitro, l'activité fermentaire a été réduite avec le traitement HD, au contraire, durant la période pré-expérimentale aucune différence significative n'a été mise en évidence. En effet, la production totale de gaz et la quantité totale d'AGV étaient plus faibles (-0,5 mmol/g MS et -0,76 mmol/g MS, respectivement). La proportion d'AGV a changé, en particulier la proportion d'acétate a augmenté dans le lot HD (66,4 vs. 64,4 %) tandis que la proportion de propionate a diminué dans le lot HD (20,8 vs. 21,3 %). Par conséquent, la digestion de la MS a également été plus faible de 5,9 %. Par ailleurs, le gaz de fermentation du lot HD avait un rapport CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> plus élevé (4,89 vs. 4,48), indiquant une production relative de CH<sub>4</sub> plus faible.

### 2.2 LIQUIDE RUMINAL ET FECES

Le liquide ruminal des vaches HD s'est distingué de celui des vaches LD par une concentration plus faible en AG totaux (34,15 vs. 25,42 g/kg MS) mais une proportion plus élevée en AGPI (Tableau 2). En particulier, les proportions en AG n-3, n-6 et C18:1 n-3 ont été plus élevées dans le liquide ruminal des vaches HD, au contraire du C18:0 qui a été significativement plus faible. D'un point de vue microbien, si le niveau de diversité végétale des prairies n'a eu aucun effet sur l' $\alpha$ -diversité (nombre d'espèces et équitabilité) ni des fèces ni des rumens. L' $\alpha$ -diversité, exprimée en indice de Shannon, des bactéries était égale à  $4,91 \pm 0,11$  dans le liquide ruminal et  $4,21 \pm 0,06$  dans les fèces, tandis que les

197 fungi s'élevaient à  $3,45 \pm 0,12$  dans le rumen et à  $3,19 \pm 0,28$   
 198 dans les fèces. Il a influencé leur composition (Figure 1) et  
 199 l'abondance relative des différentes espèces microbiennes  
 200 ( $\beta$ -diversité, Figures 2 et 3).  
 201 Au contraire, le microbiote du liquide ruminal et des fèces  
 202 collectées au cours de la période pré-expérimentale n'a pas  
 203 montré de différences significatives entre les traitements.  
 204

	LD	HD	SEM	p
AGS	60,92	56,98	0,66	***
AGMI	15,23	13,00	0,47	***
AGPI	5,41	7,51	0,40	***
C18:3 n-3	1,74	2,35	0,11	***
C18:0	39,95	31,30	1,04	***
C18:1 c9	0,05	2,25	0,29	**
C18:2 n-6	1,79	3,37	0,30	***
C18:1 t11	10,82	8,24	0,57	***

**Tableau 2.** Acides gras (AG) du liquide ruminal (g/100g AG totaux).

LD : pâturage peu diversifié ; HD : pâturage très diversifié ; AGS : AG saturés ; AGMI : AG monoinsaturés ; AGPI : AG polyinsaturés. p : Probabilité : \* p<0,5 ; \*\*\* p>0,001.

### 2.3 PRODUCTION ET COMPOSITION DU LAIT

206 Enfin, les vaches des groupes LD et HD ont eu une  
 207 production et des taux butyreux et protéique similaires  
 208 (production quotidienne du lait : 14,0 vs. 12,9 L ; taux  
 209 butyreux : 39,8 vs. 41,4 g/kg du lait ; taux protéique : 33,2 vs.  
 210 32,2 g/kg lait, LD et HD respectivement). Le profil en AG du  
 211 lait des vaches LD s'est distingué par une concentration en  
 212 AGPI plus élevée que celle du lait HD (+1,63 g/100g AG), et  
 213 surtout par une concentration plus importante en CLA totaux  
 214 (+1,16 g/100g AG) et en C18:1 t11 (+1,53 g/100g AG ;  
 215 Tableau 3). Cependant, les proportions d'oméga 3 totaux et  
 216 d'AG impairs et ramifiés dans le lait n'ont pas été  
 217 significativement différentes entre les lots.  
 218  
 219

	LD	HD	SEM	p
AGS	58,56	62,18	1,14	*
AGMI	33,21	31,46	0,87	ns
AGPI	7,30	5,67	0,34	***
C18:3 n3	0,97	0,92	0,05	ns
C18:1 t11	5,52	4,00	0,44	*
CLA	3,06	1,89	0,23	***
AGIR	5,40	5,47	0,11	ns

**Tableau 3.** Acides gras (AG) du lait (g/100g AG totaux).

LD : pâturage peu diversifié ; HD : pâturage très diversifié ; AGS : AG saturés ; AGMI : AG monoinsaturés ; AGPI : AG polyinsaturés ; t : trans ; CLA : acide linoléique conjugué ; AGIR : AG impairs et ramifiés. p : Probabilité : \* p<0,5 ; \*\*\* p>0,001 ; ns non significatif.

### 3. DISCUSSION

220 L'activité fermentaire *in vitro* plus faible des bouchées  
 221 simulées du lot HD est probablement liée aux tanins présents  
 222 en quantités plus importantes dans les bouchées HD. Les  
 223 tanins HD ont vraisemblablement inhibé l'activité des  
 224 bactéries, ce qui pourrait expliquer que la production totale  
 225 gaz et d'AGV ait été plus faibles dans ce lot. De plus, les  
 226 tanins et les polyphénols ont pu avoir également un effet anti-  
 227 méthanogène. Comme déjà montré par d'autres études, les  
 228 tanins ont eu un effet inhibiteur sur la archaea  
 229 méthanogènes, ce qui pourrait expliquer la réduction du CH<sub>4</sub>  
 230 dans le lot HD (relativement au CO<sub>2</sub> ; Aboagye et  
 231 Beauchemin, 2019).  
 232  
 233  
 234

Bien que l'herbe des bouchées simulées du lot LD ait été  
 beaucoup plus riche en AG n-3, le liquide ruminal des vaches  
 HD a eu une proportion d'AGPI supérieure. Cela suggère une  
 biohydrogénation des AG ingérés moins complète dans le  
 rumen des vaches HD (Frutos et al., 2020). Cette hypothèse  
 est également étayée par la proportion plus faible en C18:0  
 dans le rumen des vaches HD puisque le C18:0 est le produit  
 final de la biohydrogénation.

Les indices de diversités microbiennes ont révélé que le type  
 de pâture n'influe pas sur la richesse mais sur la composition  
 et l'abondance relative aussi bien des bactéries que des  
 fongiques présents tant dans les fèces que dans le liquide  
 ruminal. En effet, les populations fongiques dominantes des  
 fèces diffèrent selon le type de prairie et certaines espèces  
 bactériennes sous-dominantes telles que *Fibrobacter*  
*succinogenes* et *Prevotella ruminicola*, se sont révélées  
 significativement plus abondantes dans les rumens HD. Cela  
 pourrait être lié à la plus forte fibrosité de l'herbe HD qui  
 aurait pu favoriser la prolifération de ces bactéries. La  
 fibrosité de la ration étant le principal facteur de variation de  
 l'écosystème microbien du rumen, les modifications  
 observées peuvent ainsi être liées à la nature de la matière  
 organique ingérée par l'animal. Ces effets pourraient aussi  
 résulter de l'exposition du microbiote ruminal à un ensemble  
 de micro-organismes et de composés secondaires des  
 plantes, potentiellement plus complexes dans les pâtures HD.  
 La plus forte fibrosité de la ration n'a cependant influencé ni  
 la quantité de lait produit, ni sa teneur en protéines et  
 matières grasses. Quant aux AG, le lait des vaches LD était  
 plus riche en AGPI (7,30 vs. 5,67 g/100g AG). Ceux-ci étaient  
 principalement composés de C18:2 c9t11, qui est un produit  
 intermédiaire de la biohydrogénation des AGPI de l'herbe  
 (Chilliard et al., 2007).

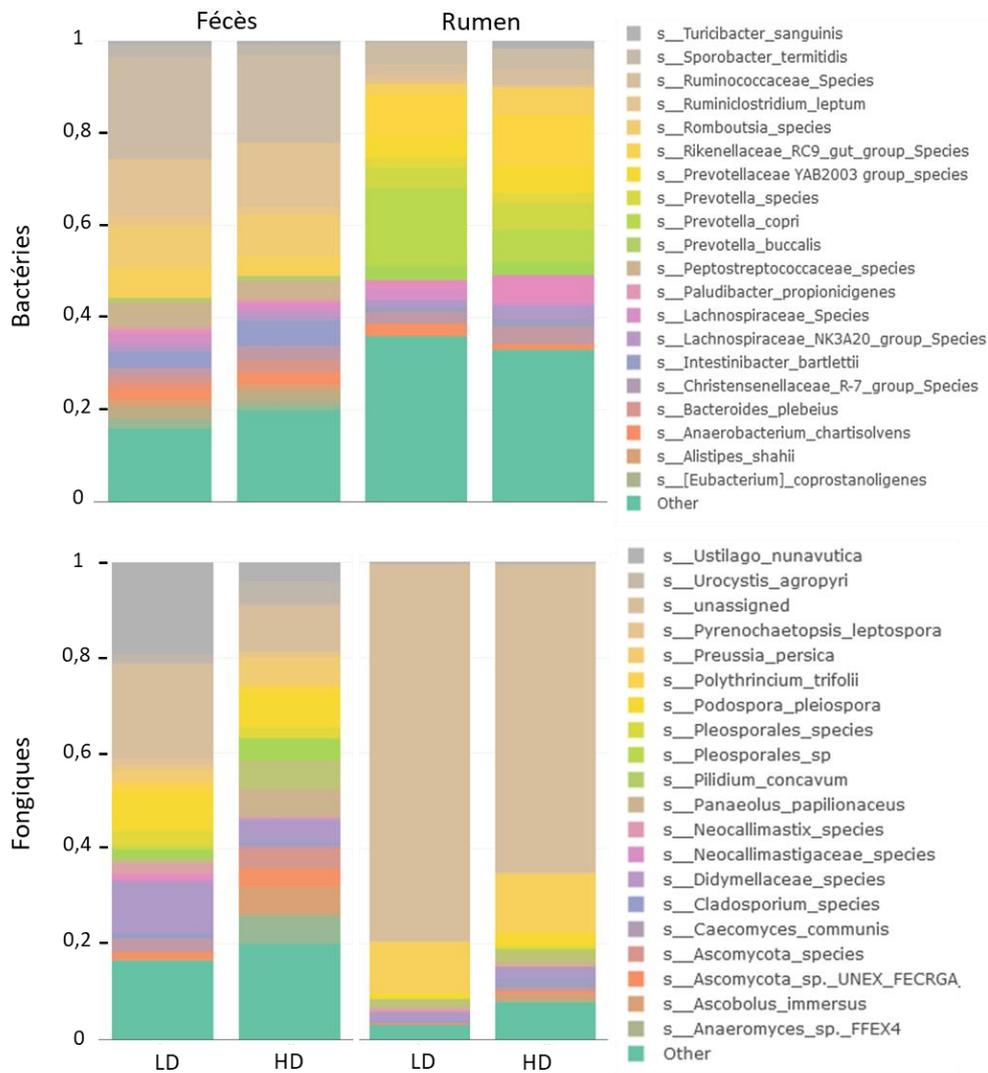
Fait intéressant, la teneur en n-3 ne diffère pas entre les deux  
 lots, probablement en raison de l'action des polyphénols,  
 tanins et autres métabolites secondaires qui ont protégé les  
 AG oméga 3 présents dans l'herbe HD ingérée de la  
 biohydrogénation ruminale. L'absence de différences entre  
 les AG impairs et ramifiés dans le lait pourrait indiquer une  
 activité microbienne similaire dans le rumen entre les deux  
 lots.

### CONCLUSION

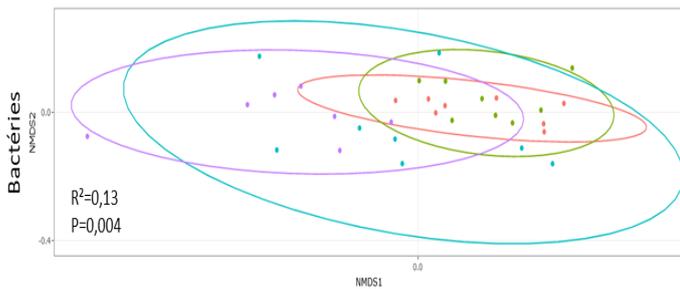
Les vaches pâturant une parcelle très biodiversifiée et riche  
 en tanins ont montré un profil en AG du lait différent de celui  
 issu de vaches pâturant une parcelle moins diversifiée. Bien  
 que la digestibilité de l'herbe soit réduite en présence d'une  
 prairie diversifiée, le profil en AG du rumen suggère une  
 modulation de la biohydrogénation par les tanins ou les  
 autres métabolites secondaires des plantes, qui ont permis  
 de protéger les AG oméga 3 de l'herbe de la  
 biohydrogénation. Ainsi, les vaches ingérant une herbe  
 diversifiée pauvre en n-3 mais riche en tanins ont produit un  
 lait avec une concentration en n-3 similaire à celle d'un lait  
 issu d'une herbe faiblement diversifiée riche en n-3 mais  
 pauvre en tanins. Le type de pâture ne semble pas influencer  
 la richesse microbienne dans le rumen et les fèces mais il  
 joue un rôle sur la composition et l'abondance relative des  
 microorganismes du rumen et des fèces.  
 Ce travail permet ainsi de confirmer et d'expliquer  
 partiellement le fait que le pâturage de prairies permanentes  
 diversifiées favorise le transfert des AGPI de l'herbe dans le  
 lait et limite les émissions de méthane entérique.

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel du site de  
 Marcenat de l'UE Herbipole ainsi que les techniciens ayant  
 contribué aux analyses dans les différents laboratoires  
 impliqués. Ce projet a bénéficié d'un soutien financier obtenu  
 dans le cadre des Crédits Incitatifs des départements Phase  
 et Mica de l'INRAE.

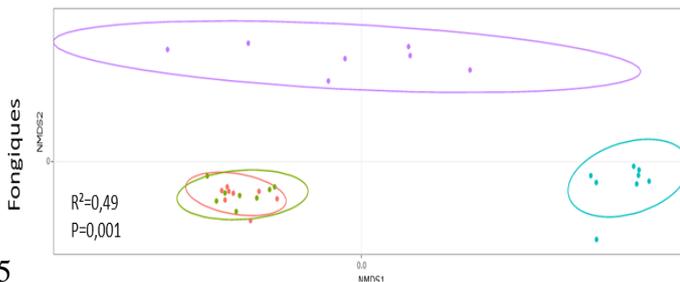
308 **Chilliard Y., Glasser F., Ferlay A., Bernard L., Rouel J., Doreau**  
309 **M., 2007.** Eur. J. Lipid Sci. Technol., 109, 828-855  
310 **Coppa M., Ferlay A., Monsallier F., Verdier-Metz I., Pradel P.,**  
311 **Didienne R., Farruggia A., Montel M.C., Martin B., 2011.**J. Dairy  
312 Sci., 94(3), 1132-1145  
313 **Coppa M., Ferlay A., Borreani G., Revello-Chion A., Tabacco A.,**  
314 **Tornambé G., Pradel P., Martin B., 2015.** Anim. Feed Sci. Technol.,  
315 208, 66-78  
316 **Frutos P., Hervás G., Natalello A., Luciano G., Fondevila M.,**  
317 **Priolo A., Toral P.G., 2020.** Anim. Feed Sci. Technol., 269,  
318 114623**lussig G., Renna M., Gorlier A., Lonati M., Lussiana C.,**  
319 **Battaglini L.M., Lombardi G., 2015.** Small Rumin. Res., 132, 12-24



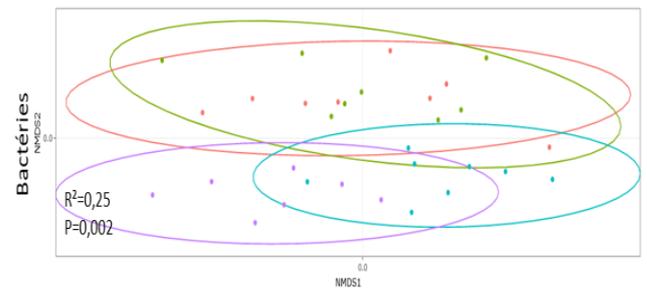
**Figure 1** : Abondance relative des espèces bactériennes et fongiques dans les fèces et les liquides ruminiaux LD et HD (moyenne des 7 vaches par lot)



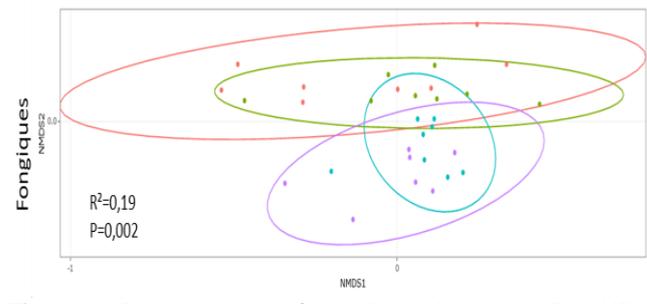
Pré-expérimentation : LD — HD — Expérimentation : LD — HD —



**Figure 2** : Distribution des échantillons de fèces LD et HD selon leur profil microbien



Pré-expérimentation : LD — HD — Expérimentation : LD — HD —



**Figure 3** : Distribution des échantillons de rumen LD et HD selon leur profil microbien