



HAL
open science

Le système de pâturage influence-t-il les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages ?

Mauro Coppa, Anne Ferlay, Françoise Monsallier, Isabelle Verdier-Metz,
Philippe Pradel, Robert R. Didiemme, Marie-Christine M.-C. Montel,
Dominique Pomiès, Bruno Martin, Anne A. Farruggia

► To cite this version:

Mauro Coppa, Anne Ferlay, Françoise Monsallier, Isabelle Verdier-Metz, Philippe Pradel, et al.. Le système de pâturage influence-t-il les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages ?. Fourrages, 2012, 209, pp.33-41. hal-02648391

HAL Id: hal-02648391

<https://hal.inrae.fr/hal-02648391v1>

Submitted on 29 May 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.

Copyright

Le système de pâturage influence-t-il les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages ?

M. Coppa^{1,2}, A. Ferlay², F. Monsallier³, I. Verdier-Metz³, P. Pradel⁴, R. Didienné³, M.-C. Montel³, D. Pomiès², B. Martin², A. Farruggia²

La valorisation des produits de terroir, notamment dans les filières AOP, passe par la capacité à préciser le lien entre le produit et son territoire. Pour les productions fromagères, l'herbe constitue un lien fort et il est important de caractériser sa valorisation par les animaux et les conséquences sur les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles de leurs produits.

RÉSUMÉ

Cette étude a comparé les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles de fromages de type Cantal issus de deux systèmes de pâturage : un pâturage continu avec un chargement faible sur une pâture très diversifiée et un pâturage tournant avec un chargement plus élevé sur une ancienne prairie temporaire. Au printemps, le pâturage continu a permis d'obtenir un lait riche en acides gras d'intérêt nutritionnel et des fromages fondants et jaunes ; en été, avec l'avancement non maîtrisé du stade de l'herbe, la teneur de ces acides gras a chuté, modifiant les caractéristiques sensorielles des fromages. La texture, l'apparence, la flaveur et le goût des fromages ont été proches entre les deux conduites, les fromages du pâturage continu se distinguant par leur flaveur légèrement plus intense dans le cas d'un affinage long.

SUMMARY

How does the pasture system affect the nutritional and sensory properties of dairy products?

Promoting traditional local produce, such as AOP-certified dairy products, implies publicizing the fact that the specific characteristics of the finished product are tied to the soil and tradition of its region of production. Where dairy products are concerned, grass is a determining factor, and it is important to characterize the way in which it is used by animals and its impact on the nutritional and sensory properties of finished products. This study compared the properties of different Cantal-type cheeses whose production is based on two distinct pasture systems: continuous pasture with a low stocking rate on botanically-rich grassland and rotational pasture with a higher stocking rate on former temporary grassland. Continuous pasture produced milk that was rich in fatty acids with a high nutritional value, especially in the spring, and soft yellow cheese. The texture, appearance, flavour and taste of the different cheeses was very similar for both systems, although the flavour of the continuous pasture cheeses did have a more intense flavour when left to ripen for a longer period of time.

Les consommateurs portent un intérêt croissant sur les facteurs de production des produits laitiers, facteurs particulièrement importants pour les fromages bénéficiant des labels de qualité comme les AOP et les IGP, dont un élément clé est le lien au terroir (GRAPPIN et COULON, 1996). La composition microbiologique et chimique du lait, qui dépend de la conduite des animaux, de leur alimentation, de leur génétique et de leur physiologie, joue un rôle important sur ces caractéristiques, notamment pour les fromages dont le

lait a subi peu de manipulations comme les fromages au lait cru. Dans ce cadre, l'alimentation des animaux au pâturage joue un rôle central en raison de son effet sur les propriétés nutritionnelles et sensorielles des produits laitiers (CHILLIARD *et al.*, 2007 ; COULON *et al.*, 2004) et de l'image positive de l'herbe perçue par les consommateurs. Ces effets sont également souvent rapportés par les fromagers qui observent des changements des propriétés sensorielles selon l'alimentation des animaux. De nombreuses recherches analytiques ont été conduites

AUTEURS

1 : Département AGROSELVITER, Université de Turin, Via L. da Vinci, 44, I-10095, Grugliasco (Italie)

2 : INRA, UR 1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle (France) ; Anne.Ferlay@clermont.inra.fr

3 : INRA, UE 1296 des Monts d'Auvergne, F-63210 Orcival (France)

4 : INRA, UR 545, 20, côte de Reyne, F-15000 Aurillac (France)

MOTS CLÉS : Cantal, composition biochimique, fromage, gestion du pâturage, Massif central, prairie de montagne, prairie permanente, prairie temporaire, qualité du lait, qualité organoleptique.

KEY-WORDS : Cantal, cheese, chemical composition, grazing management, ley, Massif central, milk quality, organoleptic quality, permanent pasture, upland pasture.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Coppa M., Ferlay A., Monsallier F., Verdier-Metz I., Pradel P., Didienné R., Montel M.C., Pomiès D., Martin B., Farruggia A. (2012) : "Le système de pâturage influence-t-il les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages ?", *Fourrages*, 209, 33-41.

pour identifier, quantifier et comprendre l'effet de l'alimentation des animaux sur ces caractéristiques. Les effets du type de fourrage et de son mode de conservation (ensilage de maïs, foin, ensilage d'herbe, pâturage) sont bien connus et ont été largement démontrés en milieu contrôlé (MARTIN *et al.*, 2005). Par ailleurs, des modifications importantes du profil sensoriel des fromages ont été observées dans des études en exploitations quand les vaches changeaient de parcelle et passaient sur des parcelles avec des compositions floristiques différentes (BUGAUD *et al.*, 2001 ; BUCHIN *et al.*, 1999). Néanmoins, on dispose toujours d'assez peu d'éléments sur l'importance relative de la conduite du pâturage et de la composition floristique des pâtures sur les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages.

Pour avancer sur cette problématique, une expérimentation "système", qui combine à la fois la conduite au pâturage et le type de prairie associée, a été mise en place dans le cadre du projet Casdar PRAIRIES AOP sur la ferme de l'Unité Expérimentale des Monts d'Auvergne de l'INRA (UEMA, Marcenat, Cantal). L'objectif était de **comparer les profils sensoriel et nutritionnel de fromages issus de deux conduites de pâturage contrastées** : un pâturage continu à faible niveau de chargement animal sur une prairie permanente diversifiée et un pâturage tournant sur une ancienne prairie temporaire à fort niveau de chargement.

L'étude a été menée sur deux années successives. En 2008, elle s'est focalisée sur l'évolution de la composition en acides gras (AG) des laits et sur quelques caractéristiques sensorielles des fromages, au cours de trois périodes clés de la saison de pâturage. En 2009, elle a porté sur l'ensemble des caractéristiques sensorielles des fromages à la période où l'hétérogénéité et la floraison du couvert sont les plus importantes.

1. Matériel et méthodes

■ Traitements expérimentaux

L'expérimentation a été conduite en 2008 et en 2009 sur la ferme de l'UEMA (1 135 - 1 215 m d'altitude) dans le Cantal (précipitations annuelles 1 100 mm). Durant les deux années, 36 vaches de race Montbéliarde ont été alimentées avec une ration à base de foin et de concentrés pendant deux semaines avant le démarrage de l'essai. Trois lots homogènes de vaches ont été constitués en considérant les données individuelles de production laitière, de taux butyreux (TB), de taux protéique (TP) et de cellules somatiques mesurées dans le lait au cours de ces deux semaines ainsi que les dates de vêlage, le poids des vaches, le rang de lactation et la fréquence allélique du variant de la caséine kappa.

Un lot est resté à l'intérieur (INT) et a été alimenté avec la même ration que celle distribuée au cours de la période pré-expérimentale. Ce lot a été utilisé comme traitement témoin. Les deux autres lots ont été mis à l'herbe

de mi-mai jusqu'à fin septembre, sans apport de concentrés pendant toute la saison de pâturage. Le lot PROD (pour productif) a pâturé, en **pâturage tournant à fort niveau de chargement** (1,56 UGB/ha), une ancienne prairie temporaire de 6,8 ha subdivisée en 6 sous-parcelles. Cette prairie, dominée par *Dactylis glomerata* et *Trifolium repens*, se caractérisait par une **diversité végétale modérée** (33 espèces dont 21 espèces de dicotylédones). Grâce au pâturage tournant, les vaches de ce lot ont eu accès à une herbe au stade végétatif pendant toute la saison du pâturage. Le lot Div (pour diversifié) a **pâturé en continu à un plus faible niveau de chargement** (0,96 UGB/ha) **une estive très diversifiée** (75 espèces dont 54 espèces de dicotylédones) de 12,5 ha, dominée par *Agrostis tenuis*, *Trifolium repens* et *Festuca rubra*. Les vaches de ce lot ont eu accès à des quantités d'herbe offertes très importantes tout au long de la saison de pâturage. Elles ont été, par ailleurs, confrontées à une plus large option de sélection alimentaire du fait de la diversité spécifique importante de la prairie et de l'hétérogénéité croissante de la végétation au cours de la saison tant du point de vue de la structure que de la phénologie.

■ Fabrication fromagère

En 2008, les fromages ont été fabriqués à **trois périodes clés** de l'évolution de la végétation sur la parcelle Div : au **printemps**, quand la plupart des espèces sont au stade végétatif (10-12 juin, P1), en **été**, au moment du pic de floraison de la plupart des dicotylédones (8-10 juillet, P2), et à la **fin de l'été**, quand l'hétérogénéité structurale de la végétation est maximale (26-28 août, P3). En 2009, seule la deuxième période (P2) a fait l'objet de fabrications fromagères (6-8 juillet). Les deux années, les fromages ont été fabriqués pendant trois jours consécutifs à chaque période expérimentale. Le lait de mélange de la traite du matin a été regroupé avec celui de la traite du soir précédent, stocké à 4°C. A chaque date de fabrication fromagère, 100 litres de lait des lots INT, PROD et DIV ont été transformés en parallèle en fromages de type petit Cantal de 10 kg. En 2009, le lait cru a été partiellement écrémé pour standardiser le rapport TB/TP à 1,10. Les paramètres technologiques (pH du lait, température de prise, pH et matière sèche du caillé) ont été mesurés pendant toutes les étapes de la fabrication fromagère. Au total, 27 fromages ont été produits en 2008 (3 lots x 3 périodes x 3 jours) et 9 en 2009 (3 lots x 1 période x 3 jours). Tous les fromages ont été échantillonnés après 3 mois d'affinage. En 2009, chaque fromage a été coupé en deux à la fin des 3 mois d'affinage et une moitié a été affinée durant 3 mois supplémentaires. Les fromages ont donc été analysés une seconde fois après 6 mois d'affinage.

■ Dosages et analyses sensorielles

Le lait utilisé pour la fabrication des fromages a été échantillonné directement dans la cuve avant l'ajout des ferments et congelé à -20 °C jusqu'au moment des **dosages**. Les dosages du taux butyreux, du taux protéique, des cellules somatiques (CSS), de l'urée, des

Année	Substrat analysé	Période P1*	Période P2*	Période P3*
2008	Laits	←-----	TB, TP, lactose, CSS, urée, AGL, flore microbienne totale, coliformes, spores butyriques, composition en acides gras	-----→
	Fabrication fromagère	←-----	pH, température de prise, pH et MS du caillé	-----→
	Fromages (3 fromages par traitement et par période)	←-----	MS, teneur en matière grasse (MG par rapport à la MS), P, Ca, NT, NSE, NSPT	-----→
2009	Laits	—	TB, TP, lactose, CSS, urée, AGL, flore microbienne totale, coliformes, spores butyriques, composition en acides gras	—
	Fabrication fromagère	—	pH, température de prise, pH et MS du caillé	—
	Fromages (3 fromages par traitement)	—	MS, teneur en MG (par rapport à la MS), P, Ca, NT, NSE, NSPT	—

* TB : taux butyreux ; TP : taux protéique ; CSS : cellules somatiques ; AGL : acides gras libres ; MS : matière sèche ; P : phosphore ; Ca : calcium ; NT : azote total ; NSE : azote soluble dans l'eau ; NSPT : azote soluble dans l'acide phosphotungstique

TABLEAU 1 : Mesures réalisées sur les laits, pendant la fabrication fromagère et sur les fromages.

TABLE 1 : Data collected from milk samples (taken during the cheese-making process) and finished cheese.

acides gras libres (AGL), de la flore bactérienne totale et des coliformes, des spores butyriques et des acides gras (AG) ont été réalisés sur les 3 périodes en 2008 et uniquement sur la période P2 en 2009 (COPPA *et al.*, 2011a). Les profils en AG n'étant pas affectés par la transformation fromagère (LUCAS *et al.*, 2006), il a donc été possible de considérer les données de composition en AG du lait pertinentes pour celles des fromages. **Sur les fromages**, les dosages du pH, de la matière sèche (MS), de la teneur en matière grasse par rapport à la matière sèche, de la teneur en P et en Ca, de l'azote total, des indicateurs de la protéolyse (azote soluble dans l'eau (NSE) et azote soluble dans l'acide phosphotungstique (NSPT)) ont été également effectués. L'ensemble des mesures est récapitulé dans le tableau 1.

En 2008, des **analyses sensorielles** ont été réalisées par un jury de 10 juges sur 10 descripteurs sur la base de notes comprises entre 0 et 10 : 5 de texture et 5 d'apparence. En 2009, l'analyse a été approfondie et a porté en P2 sur 32 descripteurs : 8 d'odeur, 9 de flaveur, 4 de goût, 5 de texture et 5 d'apparence. Cette même année, un test triangulaire a été réalisé entre les fromages des lots au pâturage (PROD et DIV) par le même jury. Lors de chaque séance, trois échantillons des fromages DIV et PROD (deux du même traitement et un seul de l'autre traitement) ont été présentés aux juges dans des contenants en plastique opaque. Chaque juge devait identifier correctement l'échantillon unique entre les trois. Les résultats ont été exprimés en termes de pourcentage des réponses correctes.

■ Analyses des données

En 2008, les données de fromages obtenues sur les trois périodes P1, P2, et P3 ont été traitées à l'aide d'un logiciel statistique (SPSS) en utilisant un modèle mixte d'analyse de variance, avec la période en mesures répétées, le traitement et l'interaction traitement x période en facteurs fixes. Les données des analyses sensorielles ont également été traitées avec un modèle mixte avec la période en mesures répétées, le traitement et le juge en

facteurs fixes et le jour en facteur aléatoire. Les interactions traitement x période et traitement x période x juge ont également été testées.

En 2009, les données de composition des laits obtenues sur la période P2 ont été analysées avec un modèle linéaire d'analyse de variance, avec le traitement en facteur fixe. Les données de composition des fromages ont été traitées selon une procédure mixte d'analyse de variance, avec la période d'affinage en mesures répétées et le traitement et l'interaction traitement x affinage en facteurs fixes. Les données des analyses sensorielles ont été traitées selon un modèle mixte d'analyse de la variance, avec la période d'affinage en mesures répétées, le traitement et le juge en facteurs fixes, et le jour en facteur aléatoire. Les interactions traitement x période d'affinage et traitement x période d'affinage x juge ont aussi été testées. Le seuil de significativité du test triangulaire a été obtenu en utilisant une loi binomiale paramétrée avec $P = 1/3$ à n répétitions (AFNOR, 1983). Enfin, une analyse en composantes principales (ACP) a été mise en œuvre en utilisant les descripteurs significatifs de l'analyse sensorielle pour le traitement ou la période d'affinage.

2. Des évolutions des teneurs en acides gras des laits très marquées par les systèmes de pâturage

Dans la suite de ce paragraphe, nous nous intéresserons principalement aux **AG ayant un effet potentiel sur la santé**. Certains AG conjugués (acide linoléique conjugué ou CLA) présenteraient des propriétés antiathérogènes, anticarcinogènes ou antilipogéniques au moins sur modèles animaux (SHINGFIELD *et al.*, 2008). Les AG polyinsaturés (AGPI) de la série oméga 3 (dont le C18:3n-3) sont considérés comme bénéfiques compte tenu de leurs effets sur la réduction du risque de maladies cardiovasculaires et sur le développement des capacités cognitives

chez les jeunes mammifères. Les AG saturés (AGS) apportés en majorité par les produits de ruminants dans l'alimentation humaine sont, quant à eux, athérogènes lorsqu'ils sont consommés en excès (GIVENS, 2010). Le lait est une source importante en AG à chaîne impaire et ramifiée qui présenteraient des propriétés anticancérigènes (SHINGFIELD *et al.*, 2008). Bien que l'effet délétère de certains AG monoinsaturés *trans* soit parfois mentionné, des études épidémiologiques récentes n'ont pas prouvé que l'isomère principal du C18:1 présent dans le lait (*trans*-11-C18:1) soit associé au risque de maladies cardiovasculaires (GIVENS, 2010). Par ailleurs, les effets observés sur les acides gras entre le traitement INT et les deux traitements au pâturage étant très similaires à ceux qui sont décrits dans la littérature, nous nous focaliserons dans la suite du texte sur les différences entre les 2 systèmes de pâturage.

En 2008, les principales **différences observées sur les teneurs moyennes en acides gras sur l'ensemble de la saison entre Div et PROD** ont concerné **les teneurs individuelles en AGS (C8:0, C12:0, et C14:0), en *trans*-11-C18:1, *cis*-9*trans*-11-CLA, isomères *trans* du C18:1 et la somme des isomères du CLA, qui ont été plus faibles dans le lait Div que dans le lait PROD** (tableau 2). En revanche, **les teneurs en C18:0, *cis*-9-C18:1, C18:2 *n*-6, C18:3 *n*-3, isomères *cis* du C18:1, et en AG impairs et ramifiés ont été plus élevées dans le lait Div que dans le lait PROD**. En 2009, les mesures réalisées sur une seule période P2 ont confirmé ces résultats à l'exception de la teneur en C18:3 *n*-3 qui a été identique dans les deux traitements et des concentrations plus élevée en AG monoinsaturés et plus faible en AGPI dans le lait Div que dans le lait PROD.

Concernant l'**évolution de ces teneurs au cours de la saison**, mesurées uniquement en 2008, **presque toutes ont évolué dans le traitement Div**, à l'exception des AG impairs et ramifiés et du C14:0. L'ampleur des évolutions observées dans le traitement PROD a été plus faible. Les teneurs de nombreux AG ont évolué différemment entre les traitements PROD et Div. Ainsi, les AGS (C10:0 et C12:0) sont restés stables au cours de la saison pour le lait PROD, mais ils ont diminué dans le lait Div. Dans le lait Div, le *trans*-11-C18:1 et les isomères *trans* du C18:1 ont montré des valeurs plus élevées en P1, puis ils ont diminué au cours de la saison, devenant similaires en P2 et plus faibles en P3 que celles du lait PROD. Une évolution exactement inverse a été observée pour l'acide oléique (*cis*-9-C18:1) et pour les isomères *cis* du C18:1 dans les laits Div et PROD. La teneur en AGPI dans le lait PROD a été plus ou moins constante au cours de la saison, alors qu'elle a diminué dans le lait Div. Plus précisément, les teneurs du *cis*-9*trans*-11-CLA et de la somme des CLA dans les laits PROD et Div ont été similaires en P1, ont diminué dans le lait Div après P1, alors qu'elles sont restées stables dans le lait PROD. Le lait PROD a présenté des valeurs en C18:3 *n*-3 plus faibles en P1 et en P2 que dans le lait Div, puis équivalentes en P3 au lait Div. Le rapport acide oléique/acide palmitique (*cis*-9-C18:1/C16:0) du lait PROD a été plus élevé en P1 qu'en P2 et P3 (+20,6 %), alors que celui du lait Div a été plus élevé en P3 qu'en P2 (+18,2 %).

La **plus forte concentration en C18:3 *n*-3 du lait Div** est cohérente avec plusieurs résultats bibliographiques (CHILLIARD *et al.*, 2007 ; LEIBER *et al.*, 2005 ; COLLOMB *et al.*, 2002). Dans les régions de montagne, où

Acides gras (g/100 g acides gras)	2008								2009				
	INT	PROD	DIV	SEM ⁽¹⁾	T ⁽¹⁾	P ⁽¹⁾	T x P	INT	PROD	DIV	SEM ⁽¹⁾	T ⁽¹⁾	
C4:0	2,2	2,3	2,4	0,09	ns	***	ns	3,0	3,0	3,0	0,03	ns	
C8:0	1,3 ^a	1,2 ^b	1,1 ^c	0,02	***	ns	ns	1,4 ^a	1,2 ^b	1,0 ^c	0,06	***	
C10:0	3,2 ^a	2,8 ^b	2,5 ^b	0,06	***	ns	*	3,4 ^a	2,4 ^b	2,1 ^c	0,19	***	
C12:0	4,1 ^a	3,4 ^b	3,0 ^c	0,09	***	ns	*	4,3 ^a	3,0 ^b	2,5 ^c	0,26	***	
C14:0	13,4 ^a	11,6 ^b	10,9 ^c	0,15	***	**	**	13,5 ^a	10,9 ^b	9,9 ^c	0,53	***	
C16:0	32,4 ^a	25,5 ^b	24,4 ^b	0,50	***	***	**	33,8 ^a	25,5 ^b	25,3 ^b	1,40	***	
C18:0	7,7 ^c	9,5 ^b	11,5 ^a	0,22	***	ns	ns	7,3 ^c	9,6 ^b	10,8 ^a	0,51	***	
<i>trans</i> 11-C18:1	1,1 ^c	4,3 ^a	3,8 ^b	0,22	***	***	***	0,8 ^c	4,3 ^a	3,5 ^b	0,53	***	
<i>cis</i> 9-C18:1	17,6 ^c	19,8 ^b	20,5 ^a	0,22	***	**	***	16,2 ^c	20,6 ^b	22,7 ^a	0,96	***	
C18:2 <i>n</i> -6	1,3 ^a	0,8 ^c	1,2 ^b	0,04	***	***	**	1,7 ^a	1,0 ^c	1,2 ^b	0,11	***	
C18:3 <i>n</i> -3	0,7 ^b	0,7 ^b	0,9 ^a	0,03	***	***	***	0,5 ^b	0,8 ^a	0,9 ^a	0,06	***	
<i>cis</i> 9 <i>trans</i> 11-CLA	0,6 ^c	2,2 ^a	1,6 ^b	0,10	***	***	*	0,4 ^c	2,1 ^a	1,6 ^b	0,26	***	
Acides gras saturés	66,2 ^a	58,0 ^b	57,8 ^b	0,57	***	***	**	71,4 ^a	60,0 ^b	59,0 ^b	2,00	***	
Acides gras monoinsaturés	23,8 ^b	29,6 ^a	29,6 ^a	0,40	***	***	***	21,9 ^c	30,5 ^b	31,8 ^a	1,56	***	
Acides gras polyinsaturés	3,3 ^b	5,3 ^a	5,3 ^a	0,14	***	**	**	3,3 ^c	5,7 ^a	5,3 ^b	0,38	***	
Somme des isomères du CLA	0,7 ^c	2,4 ^a	1,8 ^b	0,11	***	***	*	0,4 ^c	2,3 ^a	1,8 ^b	0,28	***	
Acides gras impairs et ramifiés	4,5 ^c	4,4 ^a	4,5 ^b	0,04	***	ns	*	4,9 ^a	4,7 ^b	4,9 ^a	0,04	**	
Somme des isomères <i>trans</i> du C18:1	2,0 ^c	5,9 ^a	5,4 ^b	0,27	***	***	***	1,5 ^c	5,7 ^a	4,8 ^b	0,63	***	
Somme des isomères <i>cis</i> du C18:1	18,5 ^c	21,0 ^b	21,9 ^a	0,24	***	**	***	16,9 ^c	21,6 ^b	23,8 ^a	1,02	***	
<i>cis</i> 9-C18:1/C16:0	0,5 ^c	0,8 ^b	0,8 ^a	0,03	***	***	***	0,5 ^c	0,8 ^b	0,9 ^a	0,06	***	

1 : SEM : erreur standard de la moyenne ; T : traitement (INT, PROD ou DIV) ; P : période ; ns : non significatif ; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$; a, b, c : pour une même ligne et une même année, les valeurs sans lettre commune sont significativement différentes au seuil de 5 %

TABLEAU 2 : Effets du système de pâturage (2008 et 2009) et de la période (2008) sur la composition en acides gras.
TABLE 2 : Impact of the pasture system (2008 and 2009) and period of the year (2008) on fatty acid.

	2008							2009								
	Traitement			SEM	Signification ⁽¹⁾			Traitement			Affinage		SEM	Signification ⁽¹⁾		
	INT	PROD	DIV	(1)	T	P	T x P	INT	PROD	DIV	3 mois	6 mois	(1)	T	A	T x A
Composition chimique																
Matière sèche (%)	62,1	61,0	61,4	0,28	ns	ns	ns	64,4	63,9	62,4	61,9	65,3	0,50	ns	***	ns
MG (%)	32,0	31,6	32,6	0,20	ns	ns	ns	32,5	31,7	31,3	31,2	32,4	0,26	ns	**	ns
MG (% de la MS)	51,5 ^b	51,8 ^b	53,1 ^a	0,21	***	ns	†	50,5	49,6	50,1	50,4	49,7	0,21	ns	†	ns
pH	5,28	5,25	5,20	0,02	ns	ns	ns	5,28	5,29	5,21	5,17	5,35	0,029	ns	***	ns
Phosphore (%)	0,47 ^a	0,44 ^b	0,42 ^c	0,005	***	*	**	0,36	0,36	0,34	0,34	0,36	0,006	ns	*	ns
Calcium (%)	0,66 ^a	0,62 ^b	0,58 ^c	0,008	***	ns	ns	0,71	0,68	0,69	0,70	0,68	0,008	ns	ns	ns
Cl ⁻ (%)	1,74	1,78	1,77	0,037	ns	*	ns	1,75	1,88	1,82	1,79	1,84	0,028	ns	ns	ns
N total (% de la MS)	6,2 ^a	6,2 ^a	6,0 ^b	0,03	**	ns	ns	6,4	6,4	6,4	6,2	6,6	0,06	ns	**	ns
Azote soluble dans l'eau (% de N total)	17,4	17,9	18,1	0,27	ns	**	ns	54,5	57,0	53,1	65,8	43,9	2,88	ns	***	ns
Azote soluble dans l'acide phosphotungstique (% de N total)	4,2	5,0	4,5	0,19	ns	ns	ns	4,8	4,6	4,7	2,7	6,7	0,51	ns	***	ns
Aspect																
Couleur de la croûte	3,6	3,6	3,5	0,10	ns	***	ns	4,8	4,1	4,1	3,6	5,2	0,14	†	***	ns
Couleur du boutoné	5,7 ^a	6,0 ^a	5,2 ^b	0,09	***	***	**	6,4 ^a	6,1 ^{ab}	5,5 ^b	5,1	7,0	0,11	***	***	***
Marquage du boutoné	4,6 ^a	3,5 ^b	3,3 ^b	0,11	***	***	***	5,9 ^a	4,9 ^b	4,5 ^b	4,1	6,2	0,14	***	***	***
Densité du boutoné								6,7 ^a	5,7 ^b	5,4 ^b	5,2	6,6	0,13	***	***	***
Couleur de la pâte	4,1 ^b	6,3 ^a	6,4 ^a	0,10	***	***	***	3,7 ^b	6,6 ^a	6,3 ^a	5,5	5,7	0,13	***	ns	ns
Texture																
Fermeté	5,8 ^a	5,1 ^b	5,1 ^b	0,08	***	†	**	7,2 ^a	5,5 ^b	5,6 ^b	5,7	6,6	0,11	***	***	ns
Souplesse	4,5 ^a	4,6 ^a	4,0 ^b	0,10	*	*	ns	3,4 ^b	4,5 ^a	4,2 ^a	4,3	3,7	0,13	*	**	ns
Fondant	4,1 ^b	4,5 ^a	4,6 ^a	0,10	**	ns	ns	3,0 ^b	3,8 ^a	4,0 ^a	3,8	3,4	0,13	**	**	ns
Collant	3,3	3,1	3,4	0,11	ns	***	ns	2,9	3,0	3,2	3,0	3,1	0,12	ns	ns	ns

1 : SEM : erreur standard de la moyenne ; T : traitement (INT, PROD ou DIV) ; P : période ; A : Affinage ; ns : non significatif ; † : $P < 0,1$; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$; a, b, c : pour une même ligne et une même année, les valeurs sans lettre commune sont significativement différentes au seuil de 5 %

TABLEAU 3 : Effets du système de pâturage (2008 et 2009) et de la période (2008) sur la composition chimique, l'aspect et la texture des fromages.

TABLE 3 : Impact of the pasture system (2008 and 2009) and period of the year (2008) on chemical composition, cheese appearance and texture.

les vaches pâturent des prairies à diversité floristique élevée (FERLAY *et al.*, 2008 ; COLLOMB *et al.*, 2002), une plus faible biohydrogénation ruminale des AGPI est probable et serait liée à des teneurs importantes en métabolites secondaires des plantes, en particulier des dicotylédones qui inhiberaient partiellement la biohydrogénation ruminale des AGPI alimentaires (LEIBER *et al.*, 2005). La concentration plus élevée de l'acide oléique dans le lot DIV en P3 peut, quant à elle, être expliquée par une ingestion supérieure de cet acide gras, d'une part parce que l'herbe des pâtures très diversifiées est plus riche en acide oléique (TORNAMBÉ *et al.*, 2007) et d'autre part, parce que la teneur de l'herbe en acide oléique est plus importante au stade mature (ELGERSMA *et al.*, 2006). Elle pourrait également être liée à une mobilisation des réserves corporelles due à une sous-nutrition des animaux ou à une marche des animaux plus importante, surtout en P3 pour le lot DIV.

Par ailleurs, **les teneurs en AGPI et en acide vaccénique ont été constantes pour le lait PROD au cours de la saison ; elles ont en revanche diminué pour le lait DIV, avec des valeurs plus élevées que celles du lait PROD en P1, similaires en P2 et plus faibles en P3.** De la même façon, les teneurs en isomères du CLA étaient stables pour le lait PROD au cours de la saison mais ont diminué pour le lait DIV. Cette évolution peut s'expliquer par un effet combiné de la qualité de l'herbe offerte, liée

à son stade phénologique, et du choix alimentaire des animaux pendant le pâturage. Dans le système PROD, les vaches ont pâture la prairie à un stade végétatif, avec une herbe riche en lipides et en acide α -linoléique (ELGERSMA *et al.*, 2006), pendant toute la saison. Au contraire, le pâturage continu a permis à l'herbe de se développer, avec une perte de sa qualité et de son contenu en lipides et en AGPI. En P1, les vaches dans le système DIV ont été libres de sélectionner préférentiellement des espèces à un stade végétatif avec une qualité et une palatabilité plus élevées (COPPA *et al.*, 2011b), produisant ainsi un lait plus riche en AGPI.

3. Le système de pâturage influence très légèrement l'aspect des fromages et a peu d'effet sur leur texture

Comme pour les acides gras, nous insisterons dans cette partie sur les différences observées entre les deux traitements au pâturage. En 2008, la teneur de la matière grasse par rapport à la matière sèche des fromages ("gras sur sec") a été en moyenne sur les trois périodes plus élevée dans les fromages DIV que dans les fromages PROD, le pourcentage de matière grasse n'étant pas modifié par le système de pâturage (tableau 3). Les fromages DIV ont présenté des teneurs en phosphore et en calcium plus

faibles que celles observées pour les fromages PROD. La teneur en phosphore a été plus élevée en P2 qu'en P3 dans les fromages PROD, mais elle est restée stable au cours de la saison pour les fromages DIV. Les indicateurs de protéolyse ont été équivalents dans les fromages des deux systèmes de pâturage.

En 2009, aucun effet du traitement sur la composition chimique des fromages n'a été observé sur la deuxième période (tableau 3). Les teneurs en matière sèche, en matière grasse par rapport à la matière sèche, en phosphore, en azote sur la matière sèche, en azote soluble dans l'acide phosphotungstique, en azote total, en azote soluble dans l'eau et le pH ont été plus élevées en moyenne dans les fromages affinés 6 mois que dans ceux affinés 3 mois. Les fromages affinés 3 mois ont eu un rapport gras sur sec plus important.

Durant les deux années, des **différences significatives sur l'aspect de la croûte des fromages ont été mises en évidence entre les deux systèmes de pâturage** : les fromages PROD et DIV ont présenté une couleur de croûte similaire, mais une couleur du relief (appelé boutons ou boutonné) plus sombre les deux années pour les fromages PROD. Le boutonné du Cantal est dû à une moisissure (*Sporendonema casei*) qui se développe en colonies. La densité et le relief des boutons sont proportionnels à l'activité de *Sporendonema casei*. La couleur typique jaune-ocre des boutons est liée à des bactéries : *Brevibacterium linens* et *Brachybacterium tyrofermentans*, inoculées comme la moisissure avec les ferments en quantité similaire dans les trois traitements. Dans cet essai, la plupart des facteurs de variation connus du développement de ces micro-organismes (pH de la croûte, teneur en lactose, en matière sèche, en gras, environnement de la cave pendant l'affinage) ont été standardisés ou contrôlés. COPPA et al. (2011a) ont ainsi fait l'hypothèse que le rapport gras sur sec et la composition de la matière grasse ont été les déterminants responsables des différences constatées. Même si la matière grasse est un substrat très peu utilisé pour le développement microbien de la croûte du Cantal, on peut penser qu'un taux élevé de gras peut retarder ce développement. De plus, un point de fusion faible, du fait d'une concentration élevée

en AG insaturés, peut entraîner une exsudation de la matière grasse pendant le pressage qui, en se déposant sur la croûte, pourrait créer un environnement moins favorable au développement microbien. Cette hypothèse peut expliquer, au moins en partie, pourquoi les fromages DIV, plus riches en AG insaturés et avec un rapport gras sur sec plus élevé en 2008, avaient un boutonné moins coloré.

Les deux années, **les fromages issus des deux lots de vaches au pâturage ont présenté une pâte plus jaune** que les fromages issus des vaches alimentées avec une ration à base de foin et de concentré (tableau 3). Ce résultat, classiquement observé dans des essais similaires, s'explique par les teneurs plus élevées en caroténoïdes de l'herbe fraîche, en particulier en β -carotène (MARTIN et al., 2005). En 2008, bien que la coloration jaune de la pâte des fromages PROD et DIV ait été identique en moyenne, elle est restée stable au cours de la saison pour les fromages PROD et a diminué pour les fromages DIV. Cette forte interaction peut s'expliquer par la teneur en caroténoïdes de l'herbe, qui varie en fonction du stade phénologique : les valeurs sont élevées au stade végétatif puis diminuent au fur et à mesure du développement de l'herbe (NOZIÈRE et al., 2006). Le pâturage tournant a permis d'offrir aux vaches une herbe au stade végétatif, riche en caroténoïdes, pendant toute la saison et explique la stabilité de la couleur jaune des fromages dans la conduite PROD. Au contraire, le pâturage continu à faible chargement aboutissant à un couvert de plus en plus épié au cours de la saison et, en parallèle, une réduction de la teneur en caroténoïdes, a pour conséquence une perte d'intensité de couleur jaune des fromages DIV entre juin et août. Ce caractère a été repris comme un indicateur du potentiel sensoriel des fromages dans la typologie multifonctionnelle (voir CARRÈRE et al., 2012, ce numéro).

Concernant les **critères de texture : aucune différence** sur la fermeté, le fondant et le caractère collant n'a été observée en moyenne entre les fromages PROD et DIV en 2008 (tableau 3). La pâte des fromages DIV a cependant été jugée moins souple que celle des fromages PROD, mais cette différence n'a pas été confirmée en 2009. Ceci peut être mis en relation avec le plus fort gras sur sec des

	2008 ⁽¹⁾							2009 ⁽¹⁾				
	INT	PROD	DIV	SEM	T	P	T x P	INT	PROD	DIV	SEM	T
Production laitière (l/l)	16,6	17,3	17,1	0,27	ns	***	***	19,2 ^b	21,6 ^a	17,9 ^c	0,32	***
Taux butyreux (TB, g/l)	38,7	38,3	40,6	0,46	ns	***	ns	39,4 ^b	38,4 ^b	40,4 ^a	0,27	*
Taux protéique (TP, g/l)	34,1 ^a	34,2 ^a	32,9 ^b	0,31	*	***	**	32,7 ^a	32,7 ^a	31,4 ^b	0,022	*
TB/TP	1,14 ^b	1,13 ^b	1,23 ^a	0,012	***	†	*	1,19 ^b	1,16 ^b	1,29 ^a	1,64	*
Urée (mg/l)	314 ^c	436 ^a	372 ^b	11,9	***	ns	*	215 ^c	408 ^a	307 ^b	28,4	***
Cellules somatiques (10 ³ /ml)	297	4 394	371	21,6	†	*	*	84 ^b	194 ^a	142 ^{ab}	19,5	*
Acides gras libres (mEq/100 g de MG)	0,84	0,79	0,91	0,043	ns	*	**	1,15	1,04	1,19	0,034	ns
Flore totale (10 ³ CFU/ml)	33	37	34	3,67	ns	*	ns	42	36	16	8,1	ns
Coliformes 30°C (CFU/ml)	464	499	404	93,8	ns	***	ns	377	143	187	87,5	ns
Spores butyriques (spore/l)	187	185	183	10,0	ns	ns	ns	< 180	< 180	< 180	4,4	ns

1 : SEM : erreur standard de la moyenne ; T : traitement (INT, PROD ou DIV) ; P : période ; ns : non significatif ; † : P < 0,10 ; * : P < 0,05 ; ** P < 0,01 ; *** : P < 0,001 ; a, b, c : pour une même ligne et une même année, les valeurs sans lettre commune sont significativement différentes au seuil de 5 %

TABLEAU 4 : Effets du système de pâturage (2008 et 2009) et de la période (2008) sur la production laitière et la composition du lait.

TABLE 4 : Impact of the pasture system (2008 and 2009) and period of the year (2008) on milk production and nutritional properties.

fromages DIV de 2008, lui-même s'expliquant par le rapport entre taux butyreux et taux protéique plus élevé des laits DIV (tableau 4). En 2009, les différences concernant la souplesse n'ont pas été significatives entre les deux systèmes de pâturage, en raison de la standardisation du rapport taux butyreux sur taux protéique, et donc du gras sur sec des fromages. La texture des fromages PROD et DIV est restée stable en 2008 sur les trois périodes, à l'exception du caractère collant, qui a été noté plus fort en P2 et P3 qu'en P1, parallèlement aux indicateurs de protéolyse qui ont subi la même évolution.

4. L'odeur, la flaveur et la saveur des fromages différents selon les systèmes de pâturage seulement à 6 mois d'affinage

L'analyse en composantes principales (figure 1), réalisée à partir des descripteurs pour lesquels un effet significatif du traitement ou de la durée d'affinage a été mis en évidence, a fait apparaître une opposition nette des fromages selon la durée d'affinage sur l'axe 1 qui explique 35,6 % de la variance, ainsi qu'une différenciation entre les fromages INT d'une part, et PROD et DIV d'autre part sur l'axe 2 qui explique 27,0 % de la variance totale (figure 1a). Sur cet axe, les fromages PROD et DIV ne sont pas différenciés à 3 mois d'affinage, mais à 6 mois. Cette **plus forte différenciation des fromages PROD et DIV affinés 6 mois** est confirmée par les tests triangulaires :

à 3 mois d'affinage, seulement 36 % (non significatif) des juges ont distingué les fromages PROD des fromages DIV, contre 45 % ($P=0,04$) de juges qui ont été capables de reconnaître les fromages PROD des fromages DIV après 6 mois d'affinage. Ce développement tardif des descripteurs caractéristiques des fromages issus des prairies avec une diversité végétale élevée a aussi été montré par BOSSET *et al.* (1999).

Les différences les plus importantes ont été observées entre les fromages DIV d'une part et les fromages INT d'autre part, les fromages PROD ayant globalement des caractéristiques intermédiaires. Comparativement aux fromages issus des vaches nourries au foin et aux concentrés, les fromages DIV ont eu une odeur et un arôme plus intenses. Ils avaient aussi un goût légèrement plus acide et plus piquant et une odeur de beurre plus faible que les fromages PROD et INT (figure 1b). En moyenne, les fromages affinés 6 mois avaient une odeur de beurre moins intense, une odeur et un arôme de fromage à pâte cuite moins marqués, un arôme d'étable plus marqué, plus intense et plus persistant. Ils avaient un goût plus salé, plus acide et plus piquant.

Les effets du système de pâturage observés dans cette expérimentation restent de faible amplitude comparativement à ceux de la durée d'affinage et du type d'alimentation (DIV et PROD vs INT). Les effets de la nature botanique des pâturages rapportés dans la bibliographie sont souvent plus importants que ceux que nous avons observés dans cet essai (MARTIN *et al.*, 2005 ; BUCHIN *et al.*, 1999 ; BOSSET *et al.*, 1999). Plusieurs hypothèses

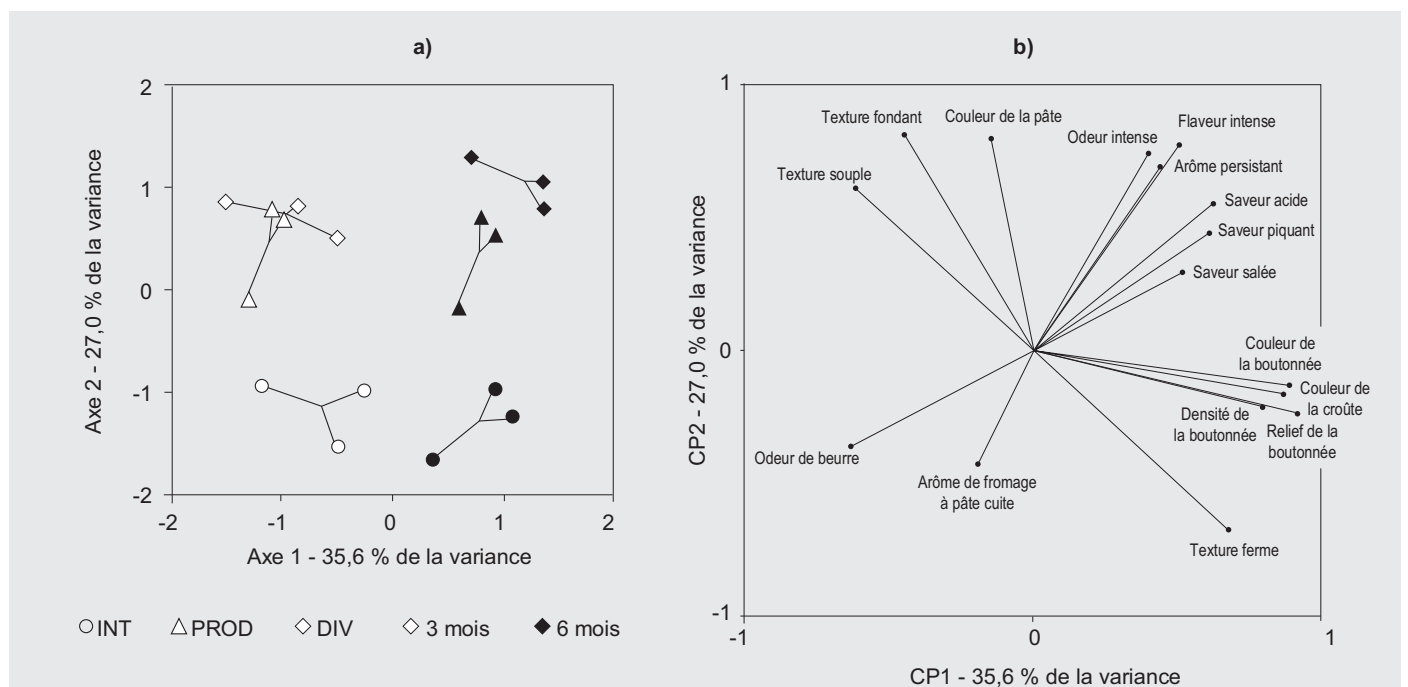


FIGURE 1 : Résultats de l'analyse en composantes principales réalisée à partir des descripteurs significativement modifiés par les traitements (INT, DIV et PROD) ou la durée d'affinage. Représentation de la distribution a) des échantillons sur les deux premiers axes expliquant 62,6 % de la variation totale, b) des descripteurs de la qualité sensorielle sur les mêmes axes.

FIGURE 1 : Results of the analysis of main components based on criteria which is significantly modified by experimental type (INT, DIV and PROD) and ripening time. a) Distribution of samples on the two first axes, accounting for 62.6 % of total variation ; b) Distribution of criteria for sensory properties on the same axes.

peuvent être avancées pour expliquer ces faibles différences. Tout d'abord, le faible effet du système de pâturage pourrait s'expliquer par nos conditions expérimentales qui auraient limité l'effet de facteurs environnementaux incontrôlés. En effet, les études citées précédemment résultent d'observations en ferme où les fromages issus des différents pâturages ont été obtenus à partir du même troupeau et pâturant successivement plusieurs parcelles avec des compositions botaniques différentes. Dans nos conditions expérimentales, tous les laits et les fromages étaient obtenus le même jour, dans les mêmes conditions d'hygiène pour la traite et les fabrications fromagères. Par ailleurs, nous avons travaillé sur des fromages à pâte pressée non cuite tandis que les résultats cités précédemment ont tous été obtenus sur des fromages à pâte pressée cuite ou demi-cuite. Dans ces modèles fromagers, certaines enzymes natives du lait comme la plasmine, qui est activée par le chauffage, jouent un rôle important dans le développement de la texture et de la saveur (Fox *et al.*, 1999). Les différences sensorielles rapportées dans la littérature sur les fromages à pâte pressée cuite ont été liées à des niveaux de protéolyse variables, eux-mêmes associés à des activités de la plasmine du lait différentes selon les zones de pâturage. Dans notre étude sur un fromage à pâte pressée non cuite, la plasmine joue un rôle plus modéré. Une troisième hypothèse porte sur le transfert direct dans le fromage de composés sapides ou odorants des dicotylédones, qui a été certainement limité dans notre essai par les possibilités de choix alimentaire laissées aux vaches du lot DIV. En effet, même si la ration des vaches du lot DIV a été beaucoup plus diversifiée que celles du lot PROD en termes d'espèces ingérées (FARRUGGIA *et al.*, ce numéro), les vaches ont probablement ingéré les graminées en quantité beaucoup plus abondante. De plus, **les terpènes**, très présents dans les dicotylédones et auxquels on attribuait de possibles effets sur les propriétés sensorielles des fromages de type Cantal, **semblent avoir en fait un effet négligeable** sur le développement de ces propriétés comme cela a été mis en évidence par TORNAMBÈ *et al.* (2008) en rajoutant des huiles essentielles au lait avant la fabrication. Enfin, les profils en AG des laits DIV et PROD ont été significativement différents mais les différences restent limitées sur le plan quantitatif. La dégradation de certains AG en métabolites au cours de l'affinage peut en effet modifier certaines caractéristiques sensorielles des fromages (CORNU *et al.*, 2009). Dans nos conditions expérimentales, les faibles différences observées entre les deux systèmes n'ont pas permis d'entraîner une différence significative de production de ces composés.

Conclusion

La conduite du pâturage et la composition botanique des prairies peuvent interagir avec le choix alimentaire des vaches au pâturage et ainsi influencer les profils en AG des laits et, en conséquence, la texture des fromages. Le pâturage continu sur des prairies très diversifiées donne la possibilité aux vaches de choisir en début de printemps des bouchées de très bonne qualité, qui les conduisent à produire en quantité plus importante un lait riche en AGPI et *in fine* des fromages moins fermes et plus fondants. La production laitière et les teneurs du lait en AGPI diminuent cependant au cours de la saison de pâturage, parallèlement à l'augmentation de la proportion d'espèces végétales épiées dans le couvert. Les fromages deviennent alors plus fermes, moins collants et moins jaunes. La gestion des prairies en pâturage tournant donne aux vaches l'accès à une herbe au stade végétatif constant durant toute la saison, et permet ainsi d'obtenir un lait avec un profil en AG plus stable sur la saison. La couleur des fromages montre la même tendance. La conduite du pâturage a affecté marginalement les caractéristiques sensorielles des fromages après 3 mois d'affinage, mais les différences ont été significatives après 6 mois, l'intensité des descripteurs étant plus forte pour les fromages issus des prairies les plus diversifiées. Par ailleurs, les résultats sur les performances laitières de chacun de ces deux systèmes (FARRUGGIA *et al.*, 2010) ont montré qu'au printemps, le pâturage continu permettait d'obtenir une production laitière par vache importante mais qu'au cours de l'été, avec l'avancement non maîtrisé du stade de l'herbe, une chute importante de la production laitière était observée. En miroir des résultats obtenus sur les laits et les fromages, le pâturage tournant a permis une production laitière plus stable sur la saison. Cette étude apporte ainsi des éléments de discussion pour les filières fromagères et les producteurs de lait autour du compromis entre production, biodiversité et qualité des laits et des fromages au sein des systèmes laitiers de montagne. Nos résultats suggèrent que la complémentarité de prairies de nature différente au sein du système fourrager pourrait permettre aux éleveurs de bénéficier des atouts de chacune d'entre elles et ainsi concilier des objectifs de production, de biodiversité et de qualité des produits.

Accepté pour publication,
le 3 février 2012.

Remerciements : Les auteurs remercient le personnel de la ferme expérimentale INRA de Marcenat pour la gestion des animaux, René Lavigne (INRA UR545 Fromagères) pour les fabrications fromagères, Isabelle Constant (INRA, UR1213 Herbivores) pour l'aide pendant les dosages, E. Tixier pour les analyses des acides gras et Sandrine Paglia et Hélène Albouy (ENVIL Aurillac) pour l'évaluation sensorielle des fromages.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR (1983) : *Sensory Analysis. Methodology. Triangle Test. Standard NF V 09-013*, Association Française de Normalisation, La Plaine St-Denis, France.
- BOSSET J.O., JEANGROS B., BERGER T., BÜTIKOFER U., COLLOMB M., GAUCH R., LAVANCHY P., SCHEOVIC J., SIEBER R. (1999) : "Comparaison de fromages à pâte dure de type Gruyère produits en région de montagne et de plaine", *Revue Suisse d'Agronomie*, 31, 17-22.
- BUCHIN S., MARTIN B., DUPONT D., BORNARD A., ACHILLEOS C. (1999) : "Influence of the composition of Alpine highland pasture on the chemical and rheological and sensory properties of cheese", *J. Dairy Res.*, 66, 579-559.
- BUGAUD C., BUCHIN S., NOËL Y., TESSIER L., POCHE S., MARTIN B., CHAMBA J.F. (2001) : "Relationship between Abondance cheese texture, its composition and that of milk produced by cows grazing different types of pasture", *Lait*, 81 (5), 593-607.
- CARRÈRE P., SEYTRE L., PIQUET M., LANDRIEAUX J., RIVIÈRE J., CHABALIER C., ORTH D. (2012) : "Une typologie multifonctionnelle des prairies des systèmes laitiers AOP du Massif central combinant des approches agronomiques et écologiques", *Fourrages*, 209, 9-21.
- CHILLIARD Y., GLASSER F., FERLAY A., BERNARD L., ROUEL J., DOREAU M. (2007) : "Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat", *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109: 828-855.
- COLLOMB M., BÜTIKOFER U., SIEBER R., JEANGROS B., BOSSET J.O. (2002) : "Correlations between fatty acids in cows' milk fat produced in the lowland, mountain and highlands of Switzerland and botanical composition of the fodder", *Int. Dairy J.*, 12, 661-666.
- COPPA M., FERLAY A., MONSALLIER F., VERDIER-METZ I., PRADEL P., DIDIENNE R., FARRUGGIA A., MONTEL M.C., MARTIN B. (2011a) : "Milk fatty acid composition and cheese texture and appearance from cows fed hay or different grazing systems on upland pastures", *J. Dairy Sci.*, 94, 1132-1145.
- COPPA M., FARRUGGIA A., PRADEL P., LOMBARDI G., MARTIN B. (2011b) : "An improved grazed class method to estimate species selection and dry matter intake by cows at pasture", *Ita. J. Anim. Sci.*, 10, e13, 58-65.
- CORNU A., RABIAU N., KONDOJOYAN N., VERDIER-METZ I., PRADEL P., TOURNAYRE P., BERDAGUÉ J.L., MARTIN B. (2009) : "Odour-active compound profiles in Cantal-type cheese: Effect of cow diet, milk pasteurization and cheese ripening", *Int. Dairy J.*, 19: 588-594.
- COULON J.B., DELACROIX-BUCHET A., MARTIN B., PIRISI A. (2004) : "Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: A review", *Lait*, 84, 221-241.
- ELGERSMA A., TAMMINGA S., DIJKSTRA J. (2006) : "Lipids in herbage", *Fresh herbage for dairy cattle*, A. Elgerma, J. Dijkstra, S. Tamminga eds., Springer, Netherlands, 175-194.
- FARRUGGIA A., COPPA M., FERLAY A., BETHIER A., PRADEL P., VERDIER-METZ I., MARTIN B., POMIÈS D. (2010) : "Performances laitières et qualité des laits et des fromages dans deux systèmes de pâturage du Massif central présentant des niveaux de biodiversité contrastés", *Proc. 17^e Rencontre Recherche Ruminants*, Paris, 49-52.
- FARRUGGIA A., POMPANON F., GINANE C., VAZEILLE K., NIDERKORN V., HULIN S. (2012) : "Reconstituer la composition du régime alimentaire des herbivores domestiques au pâturage: l'approche par métabarcoding", *Fourrages*, 209, ce numéro, 43-51.
- FERLAY A., AGABRIEL C., SIBRA C., JOURNAL C., MARTIN B., CHILLIARD Y. (2008) : "Tanker milk variability in fatty acids according to farm feeding and husbandry practices in a French semi-mountain area", *Dairy Sci. Technol.*, 88, 193-215.
- FOX P.F., LAW J., MCSWEENEY P.L.H., WALLACE J. (1999) : "Biochemistry of cheese ripening", *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. Vol. 1, General Aspects*, 2nd ed., P.F. Fox ed., Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, MD, 389-438.
- GIVENS D.I. (2010) : "Milk and meat in our diet :good or bad for health?", *Animal*, 4, 1941-1952.
- GRAPPIN R., COULON J.B. (1996) : "Terroir, lait et fromage : élément de réflexion", *Proc. 3^e Rencontre Recherche Ruminants*, Paris, 21-28.
- LEIBER F., KREUZER M., NIGG D., WETTSTEIN H.R., SCHEEDER M.R.L. (2005) : "A study on the causes for the elevated n-3 fatty acids in cows' milk of Alpine origin", *Lipids*, 40, 2, 191-202.
- LUCAS A., ROCK E., CHAMBA J.F., VERDIER-METZ I., BRACKET P., COULON J.B. (2006) : "Respective effects of milk composition and the cheese-making process on cheese compositional variability in components of nutritional interest", *Lait*, 86, 21-41.
- MARTIN B., VERDIER-METZ I., BUCHIN S., HURTAUD C., COULON J.B. (2005) : "How does the nature of forages and pastures diversity influence the sensory quality of dairy livestock products?", *Animal Sci.*, 81, 205-212.
- NOZIÈRE P., GRAULET B., LUCAS A., MARTIN B., GROLIER P., DOREAU M. (2006) : "Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products", *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131, 418-450.
- SHINGFIELD K.J., CHILLIARD Y., TOIVONEN V., KAIRENIUS P., GIVENS D.I. (2008) : "Trans fatty acids and bioactive lipids in ruminant milk", *Adv. Exp. Med. Biol.*, 606, 3-65.
- SPSS : version 16.0 ; SPSS Inc., Chicago, IL - USA.
- TORNAMBÉ G., FERLAY A., FARRUGGIA A., CHILLIARD Y., LOSEAU P., GAREL J.P., MARTIN B. (2007) : "Effet de la diversité floristique des pâturages de montagne sur le profil en acides gras et les caractéristiques sensorielles des laits", *Proc. 14^e Rencontre Recherche Ruminants*, Paris, 333-336.
- TORNAMBÉ G., CORNU A., VERDIER-METZ I., PRADEL P., KONDOJOYAN N., FIGUEREDO G., HULIN S., MARTIN B. (2008) : "Addition of pasture plant essential oil in milk: influence on chemical and sensory properties of milk and cheese", *J. Dairy Sci.*, 91, 58-69.