



HAL
open science

Herbe et qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers

Bruno Martin, Catherine Hurtaud, Benoit Graulet, Anne Ferlay, Yves Y. Chilliard, Jean Baptiste J. B. Coulon

► **To cite this version:**

Bruno Martin, Catherine Hurtaud, Benoit Graulet, Anne Ferlay, Yves Y. Chilliard, et al.. Herbe et qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers. Fourrages, 2009, 199, pp.291-310. hal-02660268

HAL Id: hal-02660268

<https://hal.inrae.fr/hal-02660268v1>

Submitted on 30 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

Herbe et qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers

B. Martin¹, C. Hurtaud², B. Graulet¹,
A. Ferlay¹, Y. Chilliard¹, J.-B. Coulon¹

La nature des fourrages consommés par les vaches laitières joue un rôle important à la fois sur les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers. Cette revue bibliographique fait le point sur l'état des connaissances, enrichi par de nombreux travaux récents.

RÉSUMÉ

Comparativement à l'herbe pâturée, les rations à base d'ensilage de maïs ou de concentrés sont à l'origine de laits pauvres en vitamine A et E, en β -carotène, en acides gras insaturés incluant l'acide alpha-linolénique et les isomères conjugués de l'acide linoléique, mais riches en acides gras saturés. L'ensilage de maïs conduit par ailleurs à des fromages ou des beurres plus blancs et plus fermes, généralement moins appréciés. Les effets de l'herbe sur les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des produits laitiers sont d'autant plus importants qu'elle est utilisée à un stade précoce et ils varient selon son mode de conservation (pâturée, ensilée, fanée...) et sa nature botanique. Ces différents effets sont détaillés dans le texte.

MOTS CLÉS

Biodiversité, composition biochimique, ensilage, foin, fourrage, maïs fourrage, pâturage, production fromagère, production laitière, qualité des produits, qualité du lait, qualité organoleptique, ration de base, système fourrager, végétation.

KEY-WORDS

Basic diet, biochemical composition, biodiversity, cheese production, dairying, forage, forage maize, forage system, grazing, hay, milk quality, organoleptic quality, product quality, silage, vegetation.

AUTEURS

1 : UR1213 Herbivores, INRA Clermont-Ferrand/Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle ;
bmartin@clermont.inra.fr

2 : UMR1080 Production du Lait, INRA Agrocampus Ouest, F-35000 Rennes

Les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits laitiers dépendent notamment de facteurs liés aux procédés technologiques mais les caractéristiques chimiques et microbiologiques du lait mis en œuvre jouent également un rôle clef, en particulier lorsque les traitements technologiques de la matière première au moment de sa transformation sont limités, voire interdits comme c'est souvent le cas dans les filières fromagères bénéficiant d'une indication géographique. Les caractéristiques du lait dépendent de nombreux facteurs d'amont liés aux animaux (caractéristiques génétiques et physiologiques) et à leur conduite, en particulier alimentaire. Ces facteurs d'amont sont de plus en plus au centre des préoccupations des consommateurs qui s'interrogent en particulier sur l'alimentation offerte aux animaux. Parmi ces facteurs, l'alimentation à base d'herbe tient une place particulière, d'une part, parce qu'elle constitue l'une des bases de la liaison des produits à leur terroir d'origine (GRAPPIN et COULON, 1996) et, d'autre part, parce qu'elle pourrait conférer aux produits laitiers des caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques particulières ; elle jouit par ailleurs d'une image positive dont certaines filières voudraient profiter

En dehors des effets bien connus de certaines plantes sur le goût des produits laitiers (crucifères, ail, oignon ; URBACH, 1991) et d'observations empiriques parfois contradictoires, on trouvait jusqu'à récemment peu d'études spécifiques sur les relations entre la nature des fourrages et les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers. Depuis quelques années, plusieurs programmes spécifiques ont été mis en œuvre pour préciser ces relations. Ils montrent que **l'alimentation des animaux est un moyen rapide, efficace et réversible pour moduler dans un sens bénéfique à la fois les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits laitiers**. Ces travaux ont fait l'objet de synthèses récentes (COULON *et al.*, 2004 ; MARTIN *et al.*, 2005 ; DEWHURST *et al.*, 2006 ; NOZIÈRE *et al.*, 2006a ; CHILLIARD *et al.*, 2007 ; FARRUGGIA *et al.*, 2008). Ce texte en présente les principaux résultats, en s'attachant plus particulièrement aux rations à base d'herbe.

1. Qualités nutritionnelles des produits laitiers

Il est désormais bien admis par les consommateurs que **l'alimentation joue un rôle important sur la santé humaine**, notamment dans le développement des maladies chroniques (DARNTON-HILL *et al.*, 2004). La qualité nutritionnelle des produits laitiers est liée à leurs caractéristiques biochimiques (teneurs en macro et micronutriments, voire en divers contaminants) et microbiologiques (présence éventuelle de micro-organismes probiotiques). Les produits laitiers, généralement riches en graisses saturées et pour certains d'entre eux en sel (la plupart des fromages), sont considérés, lorsqu'ils sont consommés en excès, comme des facteurs de risque pour les maladies cardiovasculaires (GRANT, 1998). Néanmoins, les produits laitiers sont aussi des sources intéressantes de protéines de haute valeur nutritionnelle, de vitamines (A, B, K) et de minéraux comme le calcium, le phosphore, le magnésium, le zinc

et le cuivre (DEBRY, 2001). Ils contiennent également environ 1/3 d'acides gras insaturés incluant des acides gras essentiels des séries n-3 et n-6 ainsi que quelques acides gras mineurs qui auraient des propriétés anticancéreuses ou qui limiteraient les risques de maladies cardiovasculaires (JENSEN, 2002). C'est le cas en particulier de certains isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA) dont les effets bénéfiques potentiels ont été démontrés sur modèles animaux. Certains de ces composés sont très variables à la fois dans le lait et les produits transformés et leur variabilité dépend majoritairement de l'alimentation des animaux ; il s'agit en particulier des acides gras et des composés liposolubles (caroténoïdes et vitamines A et E ; LUCAS *et al.*, 2006). Les facteurs de variation de leurs teneurs dans les produits laitiers relevant de la nature des fourrages sont développés dans ce texte. L'effet des suppléments lipidiques, bien documenté par ailleurs (CHILLIARD *et al.*, 2007), ne sera pas abordé.

■ Acides gras

- Principales voies de synthèse des acides gras du lait

Les acides gras (AG) du lait ont **deux origines principales**. Les **acides gras saturés à chaîne courte** (C4:0 à C14:0) et une partie du C16:0 sont synthétisés par la mamelle (synthèse *de novo*) à partir de l'élongation de l'acétate et du β -hydroxy-butyrate produits dans le rumen. Les **acides gras à chaîne longue** (C18 et plus) sont prélevés par la mamelle dans le sang et proviennent soit des acides gras de la ration qui ont subi une hydrogénation totale ou partielle dans le rumen, soit de la mobilisation des réserves corporelles. Dans ce texte, l'accent sera porté sur l'**acide alpha-linolénique** (C18:3n-3) et sur l'**acide ruménique**, le principal CLA des laits de vache. Ces acides gras représentent moins de 2% des acides gras totaux (AGT). Les CLA sont différents isomères de l'acide linoléique (C18:2) qui possèdent une double liaison conjuguée. Le CLA cis-9, trans-11 (acide ruménique) représente 80 à 90% des CLA des laits des ruminants (BAUMAN *et al.*, 2001). Les précurseurs des CLA sont les acides gras polyinsaturés (AGPI) présents dans les régimes des ruminants. Il s'agit essentiellement des C18:2n-6 et C18:3n-3. Le C18:3n-3 se trouve principalement dans les fourrages verts et les graines de lin alors que le C18:2 est majoritaire dans l'ensilage de maïs, les céréales et différentes graines oléagineuses (tournesol, soja). En moyenne, 93 et 85% des C18:3 et C18:2 ingérés sont isomérisés et biohydrogénés au niveau du rumen (CHILLIARD *et al.*, 2000) pour aboutir à la production de nombreux isomères du C18:2 et du C18:1 (en particulier des CLA et des acides gras trans) et *in fine* au C18:0. La biohydrogénation est dépendante de l'environnement ruminal (pH) et peut être fortement affectée par la composition de la ration (quantité de concentré, teneur en amidon, quantité et nature de graines ou huiles oléagineuses, nature des fourrages...). Ces AG sont ensuite absorbés au niveau de l'intestin, puis prélevés au niveau de la mamelle où ils sont soit sécrétés directement dans le lait, soit désaturés en particulier par l'activité d'une **enzyme** (Δ -9-désaturase) qui ajoute une double liaison cis-9 à différents AG et qui compense ainsi partiellement l'effet de la biohydrogénation ruminale. Environ 95% du CLA cis-9, trans-11 du lait provient de la désaturation

mammaire du C18:1 trans-11. En outre, certains intermédiaires de la biohydrogénation ruminale (notamment certains acides gras trans) seraient des inhibiteurs de la synthèse *de novo* mammaire des acides gras saturés de 4 à 16 atomes de carbone. Ces intermédiaires réduiraient ainsi à la fois la quantité de matière grasse dans le lait et la proportion d'acides gras saturés (CHILLIARD *et al.*, 2007).

- Effet du pâturage

L'herbe verte contient de 1 à 3% (de la matière sèche) d'AGT constitués de 50 à 75% de C18:3n-3. Les valeurs les plus élevées sont observées pour l'herbe de printemps et les repousses d'automne. A l'opposé, l'ensilage de maïs et les céréales sont pauvres en C18:3n-3 et riches en C18:2n-6. Ainsi, comparativement aux rations hivernales riches en concentrés (65%) ou à base d'ensilage de maïs, **les régimes riches en herbe verte conduisent à une forte diminution dans le lait des acides gras saturés** (- 15 g/100 g AGT) **au profit des acides gras polyinsaturés** incluant en particulier les C18:3n-3 (+ 0,5 g/100 g AGT) et les CLA (+ 0,9 g/100 g AGT) (CHILLIARD *et al.*, 2007). L'herbe augmente également les autres acides gras trans, notamment l'acide vaccénique, précurseur du CLA, dont l'effet sur la santé humaine demeure controversé. Pour les régimes intermédiaires qui ne sont pas uniquement à base de pâturage, l'augmentation de la proportion d'herbe dans la ration permet généralement une augmentation linéaire des acides gras insaturés, du C18:3n-3 et du CLA (tableau 1 ; COUVREUR *et al.*, 2006 ; FERLAY *et al.*, 2008).

Toutefois, **l'effet de l'herbe verte est d'autant plus important qu'elle est exploitée à un stade jeune et feuillu** ; des augmentations importantes du C16:0 et des diminutions du CLA cis-9, trans-11 et du C18:3n-3 ont pu être observées dans le lait au cours de 3 semaines de pâturage sur une même parcelle, vraisemblablement en raison de la diminution de la proportion de matière grasse et de C18:3 dans l'herbe lors de l'avancement de son stade de maturité (FERLAY *et al.*, 2006 ; TORNAMBÉ *et al.*, 2007a). En pratique, des profils en acides gras des laits proches de ceux obtenus avec des rations à base de fourrages conservés sont quelquefois observés dans des laits provenant du pâturage, lorsque l'herbe est exploitée à un stade tardif (épiaison).

En outre, le profil en acides gras des laits de pâturage dépend aussi de la **nature botanique de l'herbe**, mais les effets semblent assez limités comparativement à ceux du stade de maturité. Dans le cas des prairies temporaires à base de graminées, le profil en acides gras des laits ne semble pas être affecté par l'espèce pâturée (fétuque, ray-grass diploïde et tétraploïde ; DELAGARDE et PEYRAUD,

TABLEAU 1 : **Effet de la proportion d'herbe verte dans la ration** (en substitution à l'ensilage de maïs) **sur le profil en acides gras du lait et les propriétés organoleptiques des beurres** (extrait de COUVREUR *et al.*, 2006).

TABLE 1 : **Effect of the proportion of fresh grass in the diet** (substituted for maize silage) **on the fatty acid profile of the milk and on the organoleptic properties of the butters** (after COUVREUR *et al.*, 2006).

Herbe (%MS)	0	30	60	100	Herbe (%MS)	0	30	60	100
Acides gras des laits (g/100 g AGT)					Caractéristiques des beurres				
C16 :0	31,0	28,4	26,8	24,1	Indice de Couleur	26,5	31,5	35,5	36,0
ΣAG saturés	71,8	69,8	68,4	64,7	Tartinabilité	0,71	0,82	0,90	1,15
C18 :1 trans-11	0,85	1,45	3,12	4,70	Fermeté	3,3	3,6	2,2	1,4
CLA cis-9, trans-11	0,48	0,54	1,21	1,65	Fondant	5,0	4,9	6,3	7,2
C18 :3n-3	0,22	0,40	0,56	0,70	Odeur rance	3,1	1,3	0,9	0,0

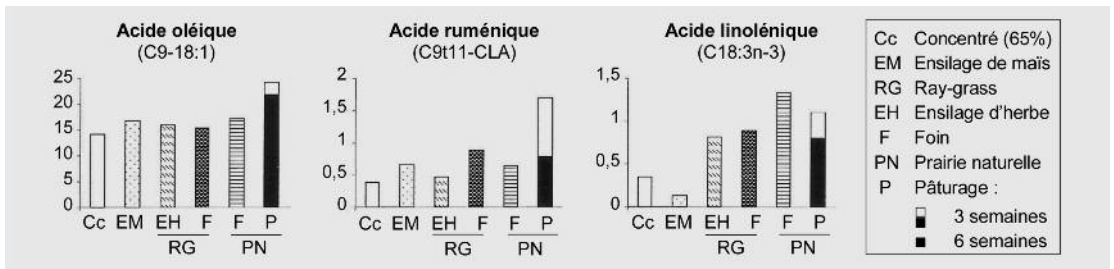
2002). Dans une expérimentation récente comparant des laits issus de 3 prairies de diversité floristique croissante ayant des stades de maturité comparables, la teneur des laits en C18:3n-3 n'a augmenté que légèrement alors que celle en CLA a eu tendance à diminuer légèrement (TORNAMBÉ *et al.*, 2007b). Au contraire, le **pâturage d'espèces riches en tannins**, comme le sainfoin par exemple, comparé à celui de ray-grass, accroît en particulier les teneurs du C18:3n-3 et diminue celles du CLA cis-9, trans-11 en raison d'une réduction supposée de la biohydrogénation ruminale par les tannins ou leur métabolites. Plusieurs travaux récents ont comparé, au cours de la période estivale, des laits produits à partir de **pâturage d'altitude** (alpage), de pâturage de plaine (vallée) ou de fourrages de plaine conservés. A partir de ces données, CHILLIARD *et al.* (2007) ont montré que les laits d'alpage étaient en moyenne moins riches en acides gras saturés de 12 à 16 atomes de carbone (- 8,8 g/100 g AGT) et plus riches en CLA (+1,3 g/100 g AGT) et en C18:3n-3 (+ 0,8 g/100 g AGT). Les augmentations marquées du C18:3 n-3 et du CLA dans les laits d'alpage pourraient être dues à des particularités de la flore alpine (évolution lente du stade de maturité de l'herbe, présence de nombreuses plantes dicotylédones réduisant la biohydrogénation ruminale) et/ou à une mobilisation plus poussée des lipides corporels liée aux conditions du pâturage.

- Effet de la nature des fourrages conservés

Lors des opérations de fanage et de séchage, la teneur de l'herbe en AGT, et surtout celle en C18:3n-3, diminue fortement, en raison d'une part de l'oxydation du C18:3n-3 et d'autre part de la perte de feuilles qui sont plus riches en lipides que les tiges. De ce fait, la **teneur du foin** en C18:3n-3 peut être inférieure de l'ordre de 50-75% à celle de l'ensilage d'herbe. Toutefois, GLASSER *et al.*, cités par CHILLIARD *et al.* (2007) en synthétisant les résultats de 15 essais, montrent que les laits produits par des vaches nourries au foin sont plus riches en C18:3n-3 que ceux de vaches nourries avec des rations à base d'ensilage d'herbe (en moyenne + 0,6 g/100 g AGT). Ceci peut être expliqué par une hydrogénation ruminale plus faible avec le foin qu'avec l'ensilage d'herbe. Par ailleurs, des foins provenant d'une herbe de qualité et séchés en grange peuvent avoir des teneurs élevées en AG et en C18:3 n-3 permettant la production d'un lait plus riche en C18:3 n-3 que le pâturage, et plus riche en C18:1 trans-11 et CLA cis-9, trans-11 que l'ensilage d'herbe (FERLAY *et al.*, 2006, **figure 1**). **L'enrubannage et l'ensilage donnent des résultats comparables** (FERLAY *et al.*, 2002).

FIGURE 1 : Effets du type de fourrage sur les teneurs en acides oléique, ruménique et linoléique du lait de vache (adapté de FERLAY *et al.*, 2006).

FIGURE 1 : Effects of the type of forage on the contents of oleic acid, rumenic acid and linoleic acid in cow milk (adapted from FERLAY *et al.*, 2006).



Comparativement aux ensilages de graminées, les ensilages de trèfle (blanc ou violet) sont à l'origine de laits plus riches en C18:3 n-3 (+ 0,6 g/100 g AGT) en raison de la plus grande **richesse des trèfles en C18:3 n-3** (en particulier le trèfle blanc) et d'une meilleure efficacité du transfert des C18:3 n-3 du régime au lait (DEWHURST *et al.*, 2006). Ainsi, l'utilisation plus fréquente de légumineuses en agriculture biologique pourrait expliquer que les laits bio aient parfois des teneurs plus élevées en C18:3 n-3 et CLA cis-9, trans-11 (ELLIS *et al.*, 2006).

- Validation sur des laits de troupeaux ou de grand mélange

A l'échelle des laits de grand mélange utilisés par l'industrie laitière, des variations considérables de la teneur en acides gras ont également pu être observées. Ainsi, un suivi réalisé dans le département de la Haute-Loire (France) montre **une baisse de 9 g/100 g AGT des acides gras saturés entre un régime hivernal à base d'ensilage de maïs et un régime estival à base de pâturage**. Le pâturage de prairie permanente de demi-montagne, comparé à une ration de plaine à base de pâturage (2/3) et ensilage de maïs (1/3), diminue la proportion d'acides gras saturés (- 4,1 g/100 g AGT) et augmente le CLA (+ 0,8 g/100 g AGT) et le 18:3 n-3 (+ 0,3 g/100 g AGT ; FERLAY *et al.*, 2008). Par ailleurs, au cours de la période estivale, le CLA et le C18:3 n-3 ont été corrélés positivement à la proportion d'herbe de prairies permanentes dans la ration ($r = 0,81$ et $0,80$ respectivement). De même, dans l'étude de LUCAS *et al.* (2006), **des gradients de richesse du fromage en ces mêmes AG sont observés dans les Alpes et le Massif central (alpage > prairie permanente de première utilisation > prairie permanente de seconde utilisation > prairie temporaire > ensilage d'herbe > foin > ensilage de maïs)**. Enfin, COLLOMB *et al.* (2008) ont montré dans 12 laiteries suisses que **les laits d'été étaient d'autant plus riches en acides gras mono et polyinsaturés que les pourcentages d'herbe fraîche étaient plus importants**.

■ Vitamines liposolubles et caroténoïdes

- Origine dans les produits laitiers

La vitamine A est une vitamine liposoluble qui est impliquée dans de nombreuses fonctions biologiques comme le développement embryonnaire, la croissance et la vision. Dans la mesure où la plupart des mammifères ne peuvent pas la synthétiser *de novo*, la vitamine A doit être apportée par l'alimentation. Chez l'homme, la vitamine A provient des produits animaux (foie, viande, produits laitiers et œufs) alors que les produits végétaux (carottes, épinards, fruits, huiles végétales...) fournissent des pro-vitamines A (caroténoïdes comme les α - et β -carotène et la β -cryptoxanthine) qui peuvent être, après un clivage spécifique dans l'intestin ou le foie, transformées en vitamine A (SAUVANT *et al.*, 2002). **Les produits laitiers constituent une source intéressante de vitamine A** pour le consommateur adulte (de 10 à 20% des apports nutritionnels conseillés) et la source principale pour les nouveaux nés (DEBRY, 2001).

Les caroténoïdes des plantes sont des pigments qui jouent un rôle important dans la photosynthèse en protégeant la chlorophylle de la chaleur et des radiations solaires. Les caroténoïdes ont également une activité antioxydante. En outre, ils sont responsables de la coloration jaune des produits laitiers et des tissus adipeux bovins ; ils peuvent être utilisés comme biomarqueurs de l'alimentation des animaux (PRACHE *et al.*, 2002). **Les caroténoïdes des produits laitiers proviennent des caroténoïdes des fourrages.** A l'heure actuelle, environ une dizaine de caroténoïdes ont été identifiés dans les fourrages (majoritairement des xanthophylles). Leurs concentrations sont les plus élevées dans l'herbe pâturée et sont réduites fortement après le séchage et la conservation des fourrages (NOZIÈRE *et al.*, 2006a). Contrairement aux fourrages, les caroténoïdes du lait sont essentiellement le **trans- β -carotène** (qui représente à lui seul environ 85% des caroténoïdes totaux du lait) et dans une moindre mesure la lutéine, la zéaxanthine et la **β -cryptoxanthine**. Les bovins diffèrent de la plupart des autres ruminants par le fait qu'ils ont des quantités plus importantes de **β -carotène** circulant dans leur sang vraisemblablement en raison d'une meilleure absorption intestinale et/ou d'un clivage plus faible du **β -carotène** en vitamine A. Le taux de transfert des caroténoïdes de la ration au lait reste cependant très faible : il est inférieur à 1% (CALDERON *et al.*, 2007a et b).

Dans l'organisme, la vitamine E est le principal composé antioxydant liposoluble qu'on retrouve dans les lipoprotéines, en particulier de faible densité (LDL et VLDL). Elle joue un rôle important dans la protection des cellules contre les stress oxydants. En nutrition humaine, **les apports de vitamine E par les produits laitiers sont très marginaux** (moins de 3% des apports nutritionnels conseillés, DEBRY, 2001) mais la vitamine E joue un rôle important pour limiter les phénomènes d'oxydation (en particulier des acides gras polyinsaturés facilement oxydables) qui peuvent être à l'origine de saveurs désagréables comme les goûts métalliques (SCHINGOETHE *et al.*, 1978). La vitamine E du lait provient directement de la vitamine E ingérée (taux de transfert de la ration **au lait < 1%**) **et** donc de la vitamine E des fourrages dont la teneur peut être particulièrement variable. **Sa teneur est maximale dans l'herbe verte** ; elle est au contraire beaucoup plus faible dans les fourrages conservés (diminution d'environ 90%), en particulier dans le foin et l'ensilage de maïs.

- Effet du pâturage

En raison de **la richesse de l'herbe verte en caroténoïdes**, les laits issus de vaches laitières au pâturage ont été associés depuis très longtemps (BAUMANN *et al.*, 1934) aux produits laitiers les plus jaunes et aux laits les plus riches **en β -carotène**. **Au** pâturage, les valeurs les plus élevées dans le lait sont observées **lorsque l'herbe est feuillue** au printemps et lors des repousses d'automne (CALDERON *et al.*, 2006). Au cours du premier cycle de végétation, la diminution de la teneur du lait **en β -carotène** entre le début et la fin du cycle est de l'ordre de 20% (MARTIN *et al.*, 2004 ; CALDERON *et al.*, 2006). De la même manière, MCDOWALL et MCGILLIVRAY (1963) ont observé des

teneurs plus élevées en β -carotène et en rétinol lorsque les animaux consomment une herbe feuillue comparativement à une herbe épiée. Ces auteurs ont également observé une influence, bien que modérée, de la composition botanique de l'herbe : **les laits issus des prairies les plus diversifiées ont tendance à être légèrement moins riches en β -carotène** et rétinol que les laits issus de prairies composées uniquement de graminées soit parce que les plantes dicotylédones sont moins riches en caroténoïdes que les graminées, soit en raison de phénomènes de compétition avec les autres composés secondaires de ces plantes qui pourraient limiter l'absorption ou la sécrétion dans le lait des caroténoïdes. Ces données ont été validées récemment en conditions expérimentales (GRAULET *et al.*, 2008). Cette tendance pourrait expliquer qu'au cours de la période de pâturage les fromages produits en altitude soient moins riches en β -carotène et rétinol que les fromages de plaine lorsque les animaux utilisent des prairies très diversifiées (LUCAS *et al.*, 2003).

Comme pour les caroténoïdes, la teneur des laits en vitamine E varie principalement en fonction de la saison : elle est plus élevée en été, lorsque les animaux sont au pâturage, qu'en hiver quand les animaux reçoivent des fourrages conservés (THOMPSON *et al.*, 1964 ; KANNO *et al.*, 1968). Ces résultats anciens ont été confirmés récemment à la fois sur des laits de grand mélange (AGABRIEL *et al.*, 2007) ou dans le cas des fromages (LUCAS *et al.*, 2006) ; les valeurs relevées sont entre 1,5 et 2 fois supérieures au pâturage. **Au cours de la période de pâturage, les teneurs en vitamine E des laits semblent peu variables ou ont tendance à augmenter au cours du premier cycle** de végétation (GRAULET *et al.*, 2008).

- Effet de la nature des fourrages conservés

Les caroténoïdes des fourrages étant dégradés par les ultraviolets, dans les fourrages conservés, **les teneurs en β -carotène sont d'autant plus faibles que l'exposition à la lumière des fourrages coupés est longue**. Ainsi, WILLIAMS *et al.* (1998) ont montré dans une synthèse bibliographique que les teneurs en β -carotène de l'herbe fraîche, déshydratée, ensilée ou conservée sous forme de foin étaient respectivement de 196, 159, 81 et 36 mg/kg MS. De même, la perte des caroténoïdes entre un ensilage en coupe directe et un foin est supérieure à 80% (CHAUVEAU-DURIOT *et al.*, 2005). Une comparaison de 7 régimes apportant des quantités variables de caroténoïdes a montré que la teneur en β -carotène et rétinol dans des laits d'animaux nourris avec de l'ensilage de ray-grass était élevée et similaire à celle obtenue au pâturage (MARTIN *et al.*, 2004, [tableau 2](#)). En revanche, la teneur des

TABLEAU 2 : Effet de la nature de la ration de base sur la teneur du lait en caroténoïdes et vitamines A et E (d'après MARTIN *et al.*, 2004).

TABLE 2 : Effect of the nature of the basic diet on the contents of carotenoids and vitamins A and E in the milk (after MARTIN *et al.*, 2004).

Régimes*	Cc	EM	ERG	FRG	FPN	P3	P6
Lutéine ($\mu\text{g/ml}$)	0,026 ^a	0,024 ^a	0,027 ^a	0,030 ^{ab}	0,024 ^a	0,032 ^b	0,027 ^a
β -carotène ($\mu\text{g/ml}$)	0,12c	0,10cd	0,17 ^{ab}	0,13c	0,09d	0,19 ^a	0,16 ^b
Vitamine A ($\mu\text{g/ml}$)	0,16 ^{ab}	0,11 ^b	0,18 ^{ab}	0,17 ^{ab}	0,12 ^b	0,20 ^a	0,14 ^{ab}
Vitamine E ($\mu\text{g/ml}$)	0,46 ^a	0,48 ^a	0,62 ^b	0,47 ^a	0,47 ^a	0,63 ^b	0,62 ^b

* Cc : Concentrés et fourrages (65% / 35%) ; EM : Ensilage de maïs (87%) ; ERG : Ensilage de ray-grass (86%) ; FRG : Foin de ray-grass (90%) ; FPN : Foin de prairie naturelle (87%) ; P3 - P6 : Pâturage après 3 et 6 semaines (100%)

laits issus de régimes à base de foin était plus faible (en particulier dans le cas du foin de prairie naturelle comparativement au foin de ray-grass) et comparable aux valeurs obtenues pour les laits issus d'ensilage de maïs et de concentrés (tableau 2). **Pour la vitamine E, les teneurs les plus élevées ont été obtenues avec des régimes à base d'herbe pâturée ou d'ensilage de ray-grass** (0,62 $\mu\text{g/ml}$) et les valeurs les plus faibles (0,42 $\mu\text{g/ml}$) avec les régimes à base de foin, d'ensilage de maïs ou de concentrés (MARTIN *et al.*, 2004). Lors de l'augmentation de la proportion d'ensilage d'herbe dans une ration à base de foin, la teneur du lait en vitamine E augmente linéairement avec la proportion d'ensilage d'herbe ingéré (CALDERON *et al.*, 2007a).

Lors du **passage d'un régime à base d'ensilage d'herbe à un régime à base de foin**, la diminution de la teneur du lait en β -carotène et vitamine E est rapide (dès le premier jour) et la réponse se stabilise au bout de 10 à 15 jours (NOZIÈRE *et al.*, 2006b). Les effets sont différents lors de la transition inverse : l'augmentation de la teneur du lait en β -carotène est plus lente et se stabilise seulement après 4 à 6 semaines en fonction des quantités de β -carotène ingérées (CALDERON *et al.*, 2007b) ; au contraire, la teneur des laits en vitamine E augmente rapidement et se stabilise après 8 jours environ (CALDERON *et al.*, 2007b).

Dans des laits de grand mélange collectés au cours d'une année complète en Haute-Loire, il a été possible de confirmer que les laits étaient plus riches en β -carotène et vitamine E en été qu'en hiver et que, globalement, la teneur des laits en lutéine et β -carotène était corrélée positivement à la proportion d'herbe et d'ensilage d'herbe dans la ration de base (AGABRIEL *et al.*, 2007). En revanche, la teneur du lait en rétinol n'a varié ni en fonction de la saison, ni en fonction de la nature des fourrages conservés. Cela s'explique vraisemblablement par les pratiques de supplémentation des rations en vitamine A, qui jouent un rôle important sur la teneur des produits laitiers en rétinol, en particulier lorsque les animaux reçoivent des rations à base de fourrages conservés (LUCAS *et al.*, 2006). Au contraire, lorsque les animaux reçoivent un régime à base d'herbe pâturée, la supplémentation des rations en vitamine A n'a pas d'effet sur la teneur des laits en rétinol.

2. Qualités organoleptiques des produits laitiers

Les travaux les plus anciens sur ce sujet s'étaient attachés à étudier les effets de certaines plantes (crucifères, ail, oignon) sur la saveur du lait ou du fromage (URBACH, 1991). L'effet propre de la nature des fourrages (mode de conservation, qualité de conservation, diversité floristique) n'a été abordé que récemment bien qu'un faisceau d'observations empiriques confère à ces facteurs des effets non négligeables sur les caractéristiques organoleptiques des fromages. Ainsi, certains producteurs de fromages fermiers observent fréquemment des différences de qualités organoleptiques des fromages selon la nature des fourrages offerts aux animaux. Ces observations ont pu être appuyées par des études globales destinées

à analyser la diversité des caractéristiques organoleptiques d'un type de fromage et à la mettre en parallèle avec les conditions de production du lait et des fromages. Ainsi, chez des producteurs de Reblochon fermier, MARTIN et COULON (1995) ont montré que, dans certaines conditions de fabrication fromagère, **des différences de caractéristiques organoleptiques pouvaient être associées à des natures différentes de fourrage** (foins ou pâtures). De même, en zone Comté, MONNET et al. (2000) ont mis en évidence des associations entre des typologies floristiques des pâturages et les caractéristiques organoleptiques des fromages, et BÉRODIER (1997) a montré qu'une diversité botanique pouvait être associée à des arômes plus nombreux et plus variés des fromages. Dans des fromageries privées, des différences de caractéristiques organoleptiques ont été observées entre des fromages élaborés à partir de laits issus d'exploitations différant par leur niveau d'intensification de la conduite des animaux et des surfaces fourragères (AGABRIEL et al., 2004). Parallèlement, des travaux expérimentaux ont été entrepris pour analyser l'effet spécifique de la nature des fourrages, de son mode de conservation et de sa diversité botanique.

■ Fromages et beurres : effet de la nature de la ration et du mode de conservation de l'herbe

- Comparaison herbe - maïs

L'effet de l'utilisation de l'ensilage de maïs dans la ration a été testé dans des travaux qui ont comparé des fromages ou des beurres obtenus avec du lait de vaches nourries exclusivement avec de l'ensilage de maïs ou avec des rations à base d'herbe utilisée sous forme de pâturage (HURTAUD et al., 2002a), de foin (VERDIER et al., 1995 ; HURTAUD et al., 2002b, c) ou d'ensilage (VERDIER et al., 1995 ; HOUSSIN et al., 2002 ; HURTAUD et al., 2004 ; **tableau 3**). **L'ensilage de maïs a conduit à des fromages ou des beurres plus blancs, plus fermes et globalement moins appréciés** des dégustateurs que ceux produits avec de l'herbe, et ce quel que soit son mode de conservation. Les beurres ont également été moins humides et une décroissance linéaire de la dureté, de la fermeté en bouche et de la saveur rance du beurre a été mise en évidence lorsque de l'herbe verte représentait 0, 30, 60 et 100% d'une ration à base d'ensilage de maïs (COUVREUR et al., 2006 ; tableau 1). CARPINO et al. (2004) ont montré, **en conditions de pâturage méditerranéen, qu'il suffisait de 3 kg d'herbe verte** (15% de la ration) ingérés en plus d'une ration complète (à base d'ensilage de maïs, de foin et de concentrés) **pour que les fromages soient plus jaunes, moins fermes, avec des odeurs plus "herbacées" et "florales"**.

TOSO et STEPHANON (2001) ont confirmé ces résultats expérimentaux en comparant des fromages Montasio fabriqués à partir de lait provenant de groupes d'exploitations utilisant ou non de l'ensilage de maïs. Ils ont montré qu'après 2 mois d'affinage, les fromages réalisés à partir du lait des exploitations sans ensilage étaient préférés aux autres bien qu'après 6 et 12 mois d'affinage les différences s'atténuent.

TABLEAU 3 : Résultats des essais comparant les propriétés organoleptiques de produits laitiers fabriqués à partir du lait de vaches nourries avec des régimes à base d'herbe ou d'ensilage de maïs (adapté de MARTIN et al., 2005). Les proportions entre parenthèses représentent les différences significatives ($P < 0,05$) de notes entre les régimes 1 et 2 rapportées à l'échelle utilisée par le jury pour décrire l'attribut.

TABLE 3 : Results from trials comparing the organoleptic properties of dairy products from cows fed on diets based on grass and cows fed on maize silage (adapted from MARTIN et al., 2005). In brackets : proportions representing significant ($p < 0.05$) differences between the scores given to diets 1 and 2 at the scale used by the testers when judging the characteristic in question.

Référence	Régime 1 (R1)	Régime 2 (R2)	Produit ⁽¹⁾	Couleur (R2/R1)	Texture (R2/R1)	Odeur, arôme et saveurs (R2/R1)
VERDIER <i>et al.</i> , 1995	Ens. maïs	Ens. ray-grass	Saint-Nectaire (f)	+ jaune et coloré (19%)	- élastique (3%)	/
	Ens. maïs	Foin de dactyle	Saint-Nectaire (f)	+ jaune	+ élastique (9%), - ferme (10%)	/
HOUSSIN <i>et al.</i> , 2002	Ens. maïs	Ens. d'herbe	beurre	+ jaune (55%)	- ferme (22%), + tartinable (13%), + fondant (9%)	/
	Ens. maïs	Ens. d'herbe	Camembert (f)	/	- ferme (8%), + doux (9%), + fondant (8%)	+ affiné (10%), + aromatique (13%)
HURTAUD <i>et al.</i> , 2002a	Ens. maïs	Pâturage	beurre	+ jaune	- ferme (21%)	flaveur + intense (12%)
HURTAUD <i>et al.</i> , 2002b	Ens. maïs	Foin	beurre	+ jaune	- ferme (8%)	odeur + intense (6%)
HURTAUD <i>et al.</i> , 2004 ⁽²⁾	Ens. maïs	Ens. d'herbe + enrubannage	Camembert (f)	+ jaune	aspect + apprécié (8%), + fondant (8%), + pâteux (4%)	arôme ammoniacé (26%), + acide (14%), + intense (7%)
	Ens. maïs	Ens. d'herbe + enrubannage	Pont l'Evêque (f)	+ jaune	aspect + apprécié (8%), + fondant (19%)	/
CARPINO <i>et al.</i> , 2004 ⁽³⁾	Ration complète	Ration complète + 15% pâture	Ragusano (f)	+ jaune	- huileux (3%), + facile à casser (5%)	odeur florale + élevée (5%), odeur verte / herbacée + élevée (4%)

1 : (f) : fromage

2 : Dans les régimes 1 et 2, le concentré était distribué à hauteur de 30 et 15 % de la ration respectivement.

3 : La ration complète comprenait 20% de foin de ray-grass, 24% d'ensilage de maïs et 56% d'aliments concentrés et de sous-produits. Les vaches alimentées avec la ration complète et l'herbe pâturaient 7 heures/jour sur une prairie diversifiée. L'herbe représentait 15% de la matière sèche ingérée. Seuls les fromages affinés 4 mois ont été considérés.

- Mode de conservation de l'herbe

D'importantes différences de caractéristiques organoleptiques ont également été observées entre des produits laitiers selon que le lait provenait de vaches recevant une ration hivernale (à base de foin et d'ensilage d'herbe) ou conduites au printemps sur des pâturages (tableau 4). Les fromages de Saint-Nectaire issus du lait de pâturage ont été plus jaunes, ont présenté une texture moins ferme, un goût plus intense et une odeur moins piquante, moins aigre et moins fruitée que ceux issus des laits hivernaux (VERDIER-METZ *et al.*, 2002b). Ces résultats obtenus en conditions expérimentales confirment les observations des producteurs fermiers lors de la mise à l'herbe des vaches laitières. Des résultats voisins ont été obtenus par BUCHIN *et al.* (1998) et VERDIER-METZ *et al.* (2002a) dans des essais comparant respectivement des fromages de Morbier et de Cantal réalisés à partir de lait produit par des vaches recevant des rations à base de foin ou conduites sur un pâturage de printemps. Néanmoins, dans le cas de l'essai sur le Cantal, l'effet de l'herbe sur la flaveur était nettement moins important lorsque le lait était préalablement pasteurisé.

La question de la conservation de l'herbe sous forme d'ensilage est depuis longtemps un sujet de débats au sein des filières fromagères d'AOC. Certains défauts spécifiques peuvent être observés avec des ensilages mal conservés, en particulier en fabrication de fromages à pâte pressée cuite où la présence de spores butyriques dans l'ensilage et dans le lait peut conduire à des défauts sur les fromages affinés (gonflements tardifs, mauvais goût et odeur).

Référence	Régime 1 (R1)	Régime 2 (R2)	Produit (1)	Couleur (R2/R1)	Texture (R2/R1)	Odeur, arôme et goût (R2/R1)
BUCHIN <i>et al.</i> , 1998	Pâtture de printemps	Foin	Morbier (f)	/	/	odeur (5%) et arôme lacté (4%) + développé, arôme de fumier + développé (5%)
VERDIER-METZ <i>et al.</i> , 2000 ⁽²⁾	Herbe	Foin	Saint-Nectaire (f)	- jaune	/	odeur + aigre (7%), - salée (4%)
VERDIER-METZ <i>et al.</i> , 2002a	Pâtture de printemps	Ens. d'herbe (60%)	Saint-Nectaire (f)	- jaune	+ ferme (9%), + fondant (6%)	goût - intense (6%), - typique (4%), - aigre (7%), - amer (4%); odeur + piquante (11%), + aigre (5%), + fruitée (6%)
VERDIER-METZ <i>et al.</i> , 2002b	Pâtture de printemps	Foin (35%) + concentrés	Cantal au lait cru (f)	- jaune	force de compression + élevée	odeur d'œuf - forte (8%), arôme + intense (3%) et rance (8%), + amer (11%)
	Pâtture de printemps	Foin (35%) + concentrés	Cantal au lait pasteurisé (f)	- jaune	force de compression + élevée	/
VERDIER-METZ <i>et al.</i> , 1998 ⁽³⁾	Foin	Ens. d'herbe	Saint-Nectaire (f)	+ jaune	/	+ amer (3%)
VERDIER-METZ <i>et al.</i> , 2005 ⁽⁴⁾	Foin	Ens. d'herbe	Saint-Nectaire (f)	+ jaune	+ sableux (3%)	arôme - rance (5%)
	Foin	Ens. d'herbe	Cantal (f)	+ jaune	- fondant (10%), - moelleux (9%)	odeur + alcoolisée (4%), + chimique (6%), - persistante (6%), - beurre (10%) et herbe (7%)

1 : (f) : fromage

2 : Le foin et l'herbe étaient issus de la même parcelle où les graminées représentent 70% de la végétation. Le foin avait été récolté un an avant l'herbe qui était distribuée à l'intérieur

3 : L'ensilage d'herbe et le foin (séché en grange) ont été récoltés le même jour sur la même parcelle

4 : L'ensilage d'herbe et le foin étaient issus respectivement d'une prairie temporaire de ray-grass et d'une prairie permanente diversifiée de montagne

En fait, plusieurs essais montrent que, **lorsque la conservation du fourrage est bonne et que les rations correspondantes sont correctement élaborées, le mode de conservation au sens strict n'a qu'un effet limité**, en dehors de la couleur de la pâte, sur les caractéristiques organoleptiques des fromages. Un essai a été réalisé (VERDIER-METZ *et al.*, 1998) où l'herbe d'une même parcelle a été récoltée le même jour et conservée soit sous forme d'ensilage (avec adjonction d'un conservateur acide), soit sous forme de foin (séché en grange). Les fromages de type Saint-Nectaire réalisés à partir du lait d'ensilage ont été plus jaunes et légèrement plus amers que ceux réalisés à partir du lait de foin. Les autres caractéristiques chimiques et organoleptiques des fromages n'ont pas été différentes entre les deux traitements. Ce résultat expérimental a été confirmé par des observations en fermes (AGABRIEL *et al.*, 1999). Il est cependant probable que **les effets de la conservation** de l'herbe sous forme d'ensilage soient **variables selon le type de fromage**. VERDIER-METZ *et al.* (2005) ont en effet observé que la distribution d'ensilage d'herbe comparativement à du foin entraînait des différences organoleptiques plus significatives sur des fromages de type Cantal que sur des fromages de type Saint-Nectaire.

TABLEAU 4 : Résultats des essais comparant les propriétés organoleptiques de produits laitiers fabriqués à partir du lait de vaches nourries avec différents régimes à base d'herbe (adapté de MARTIN *et al.*, 2005). Les proportions entre parenthèses représentent les différences significatives ($P < 0,05$) de notes entre les régimes 1 et 2 rapportées à l'échelle utilisée par le jury pour décrire l'attribut.

TABLE 4 : Results from trials comparing the organoleptic properties of dairy products from cows fed on various diets based on grass (adapted from MARTIN *et al.*, 2005). In brackets : proportions representing significant ($p < 0.05$) differences between the scores given to diets 1 and 2 at the scale used by the testers when judging the characteristic in question.

■ Fromages et beurres : effet de la composition botanique de l'herbe

- Synthèse des résultats

Il est aujourd'hui bien établi que la composition botanique des prairies peut avoir un effet sensible sur les caractéristiques organoleptiques des fromages, ce qui confirme certaines observations empiriques rapportées par les producteurs de fromages fermiers. Au cours des dernières années, plusieurs essais ont été réalisés en Europe pour décrire et analyser l'effet de la diversité botanique des fourrages offerts aux animaux (sous forme pâturée ou conservée) sur différents types de fromages, généralement à pâte pressée cuite ou demi-cuite (MARTIN *et al.*, 2005). Les premiers travaux, réalisés sur des fromages de type Gruyère (L'Etivaz) produits en plaine ou en alpage (BOSSET *et al.*, 1999), ont montré que les fromages d'alpage présentaient une saveur plus intense que ceux de plaine. Ils ont en particulier été jugés plus "animal" et plus "piquant". De la même façon, dans un essai où des fromages d'Abondance fabriqués par les mêmes producteurs fermiers en plaine et en alpage ont été comparés, BUGAUD *et al.* (2002) ont montré que les fromages d'alpage se caractérisaient par leur texture plus ferme, moins élastique et cohésive, leur saveur moins piquante et leurs arômes jugés plus "fruités" et plus "animal". Dans ces deux études, les différences ont été attribuées en partie à la nature botanique des prairies, plus diversifiée en montagne qu'en plaine. De tels écarts subsistent aussi au sein des prairies d'altitude dont la composition botanique peut varier sensiblement en fonction des pratiques des éleveurs et des conditions de milieu (altitude, sol, exposition...). En effet, plusieurs études, réalisées le plus souvent chez des producteurs de fromage fermier, ont clairement fait apparaître des modifications qualitatives parfois très importantes des caractéristiques organoleptiques des fromages concomitantes de changements de parcelles où la composition botanique des prairies variait fortement (MARTIN *et al.*, 2005). Bien que dans l'état actuel des connaissances il ne soit pas possible d'affirmer de façon certaine que **la présence d'espèces ou de communautés végétales** ait un effet significatif et reproductible sur les caractéristiques organoleptiques des fromages (FARRUGGIA *et al.*, 2008), dans les travaux de BUGAUD *et al.* (2002) il a été possible d'établir certaines corrélations. En particulier, les prairies de basse altitude, les plus riches en graminées et légumineuses, étaient associées à des descripteurs de saveur tels que "chou cuit", "butyrique" ou "piquant". La texture de ces fromages était aussi plus élastique, ferme et cohésive. A l'opposé, les prairies d'altitude les plus riches en dicotylédones de milieu sec ou nival étaient associées à des fromages présentant des saveurs plus "fruitées" et "lactées" alors que les prairies les plus riches en dicotylédones de milieu humide étaient associées à des fromages présentant des saveurs animales et des textures plus fondantes.

- Origine des différences organoleptiques

Les déterminants et les mécanismes d'explication des différences liées à la composition botanique des fourrages **restent incertains**. Les hypothèses explorées à ce jour concernent la présence dans le lait de composés issus directement des fourrages

ingérés, ou bien produits par l'animal suite à l'ingestion de plantes particulières. L'hypothèse souvent avancée d'**un effet des terpènes** de certaines plantes aromatiques que l'on retrouve dans le lait et le fromage n'a pas été confirmée. Lorsque leur concentration est suffisante, ces composés ont des propriétés odorantes et antimicrobiennes reconnues. Toutefois, dans deux essais récents réalisés sur des fromages à pâte pressée (TORNAMBE *et al.*, 2007a) ou à pâte pressée cuite (BUCHIN *et al.*, données non publiées), l'ajout de terpènes exogènes dans le lait avant la fabrication (à des doses physiologiques) n'a eu que des effets très marginaux sur la flaveur des fromages, sur le développement des différentes populations microbiennes ou sur la production de composés volatils dans les fromages. Ces molécules constituent des outils efficaces de marquage de la présence de prairies à flore complexe dans l'alimentation des animaux mais les variations de leur concentration dans les fromages ne sont pas suffisantes pour s'accompagner d'effets sur leurs caractéristiques organoleptiques. D'autres **hypothèses concernent la plasmine**, une protéase endogène provenant du sang, qui joue un rôle important dans le processus d'affinage des fromages à pâte pressée cuite. L'augmentation de la concentration en plasmine observée avec certains régimes alimentaires pourrait être due à l'ingestion de certaines espèces végétales telles que les renoncules (BUCHIN *et al.*, 1999 ; BUGAUD *et al.*, 2002). Cette hypothèse reste cependant à confirmer. **Les acides gras du lait sont aussi vraisemblablement impliqués** dans l'effet de la nature floristique des fourrages sur les caractéristiques organoleptiques des fromages, dans la mesure où les acides gras longs et insaturés sont des précurseurs d'arôme et modifient la texture des fromages en raison de leur bas point de fusion. Par ailleurs, des effets significatifs de la nature de la ration sur **la lipolyse du lait** ont parfois été observés (FERLAY *et al.*, 2006). Enfin, l'ensemble des travaux rapportés ayant été réalisés sur des fromages au lait cru, il n'est pas exclu que **l'écosystème microbien** du lait ou son activité, connus pour jouer un rôle important dans la formation des caractéristiques organoleptiques des fromages au lait cru, soient modifiés par la nature des fourrages et soient ainsi impliqués dans l'effet de la composition botanique des fourrages. Cette hypothèse n'a cependant jamais été testée.

■ Lait

Les rares travaux récents disponibles sur les effets de la nature des fourrages sur les caractéristiques organoleptiques des laits (crus et entiers) suggèrent que **les laits issus du pâturage se différencient des laits issus de régimes à base de foin ou riches en concentrés** (DUBROEUCQ *et al.*, 2002). Comparativement au foin, les laits de pâturage se caractérisent par leur odeur significativement plus intense et jugée plus "étable" (MARTIN *et al.*, données non publiées).

Des différences ont également été observées entre les laits issus de régimes à base d'ensilage d'herbe et de régimes à base de foin ou d'ensilage de maïs mais elles ont été faibles et difficilement qualifiables par les dégustateurs. Les saveurs indésirables généralement attribuées aux laits d'ensilage d'herbe dans des

travaux anciens (SHIPE *et al.*, 1962) n'ont pas été perçues dans cet essai où l'ensilage était de bonne qualité et était distribué après la traite, dans des locaux aérés où l'odeur d'ensilage est faiblement perceptible. La mauvaise aération des locaux et la distribution d'ensilage avant la traite sont en effet considérés comme les principaux facteurs de risque de l'apparition, dans le lait, de défauts de flaveur liés à l'alimentation des animaux (MOUNCHILI *et al.*, 2004). **L'ensilage de maïs ne semble pas avoir les mêmes conséquences sur les caractéristiques organoleptiques des laits que les ensilages d'herbe** ; dans les travaux de DUBROEUCQ *et al.* (2002), les dégustateurs n'ont pas différencié les laits des rations à base de foin de ceux des rations à base d'ensilage de maïs.

Enfin, au pâturage, **les effets de la diversité floristique des prairies n'ont pas pu être mis en évidence** dans deux études récentes : l'une menée chez des producteurs de lait (GUICHARD *et al.*, 2006), l'autre en conditions contrôlées (TORNAMBE *et al.*, 2007b). Cette absence d'effet pourrait avoir plusieurs origines : (i) le lait est plus difficile à déguster que les fromages, (ii) la fabrication fromagère concentre la majorité des composants du lait, matières grasses et composés liposolubles notamment et (iii) les mécanismes évoqués précédemment pour le fromage impliquent des composés du lait intervenant au cours de la fabrication et de l'affinage, phase absente dans le cas du lait.

Conclusion

Les différents résultats présentés dans ce texte permettent de souligner le rôle majeur de l'alimentation des animaux à la fois sur les qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers. Ils mettent en avant les régimes à base d'herbe verte qui conduisent globalement à des produits plus typés sur le plan organoleptique et présentant des teneurs plus favorables en composés d'intérêt nutritionnel.

Les effets les plus positifs de l'herbe sont souvent observés dans des conditions particulières de pâturage que l'on ne rencontre que sur de courtes périodes de l'année (pâturage à un stade précoce) ou dans des zones particulières (prairies diversifiées d'altitude...). Il existe en effet une très grande diversité de régimes à base d'herbe fraîche (du pâturage d'alpage à la distribution à l'auge d'herbe de prairies intensives) ou conservée (foin, enrubannage, ensilage) et ces fourrages ont des effets différents.

En ce qui concerne la qualité organoleptique, les travaux expérimentaux récents confirment certaines observations empiriques (sur l'effet de la nature botanique des prairies par exemple) et permettent de préciser et de donner des éléments d'interprétation d'observations parfois contradictoires (sur l'effet de la conservation de l'herbe sous forme d'ensilage par exemple). Ils montrent que ces effets peuvent varier selon le type de technologie fromagère et dépendre des pratiques technologiques (préparation du lait, fabrication des fromages et affinage) mises en œuvre. Il est donc vraisemblable que certaines pratiques de fabrication fromagère

soient plus aptes à permettre l'expression de l'effet des facteurs de production que d'autres. La validation de cette hypothèse et la quantification de ces interactions font l'objet de travaux en cours.

Dans le domaine de la qualité nutritionnelle, à l'exception notable de l'augmentation concomitante des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA) et de certains acides gras trans dont les effets potentiels sur la santé restent en discussion, il est intéressant de noter que la majorité des composés d'intérêt nutritionnel analysés (vitamines A et E, caroténoïdes, acide oléique, acide linoléique) varie dans le même sens, conférant ainsi aux régimes à base d'herbe un intérêt potentiel certain. Il faut maintenant vérifier, sur des modèles animaux ou dans le cadre d'études d'intervention chez l'Homme, que ces teneurs différentes se traduisent effectivement par une amélioration des biomarqueurs de santé.

Tous ces résultats constituent pour les filières fromagères, et en particulier pour les filières de fromages d'AOC, des éléments objectifs importants pour réfléchir à l'évolution de leur cahier des charges en matière de conditions de production du lait et pour préciser le lien au terroir de leur produit (voir texte de FARRUGLIA *et al.* dans cet ouvrage). Ils renvoient aux mesures à mettre en œuvre pour faire évoluer ou maintenir certaines caractéristiques spécifiques de l'alimentation des animaux (maintien de la biodiversité des prairies par exemple) afin que le fromage reflète au mieux l'originalité et la diversité du territoire où il est produit. Ces données doivent également être interprétées en tenant compte des autres dimensions de la qualité, qu'elle soit intrinsèque (qualité hygiénique par exemple) ou qu'elle relève de l'image des produits.

Enfin, ces éléments doivent également être repositionnés dans le contexte général de la durabilité des systèmes de production et de transformation du lait vis-à-vis des contraintes environnementales, sociétales (charge de travail par exemple) et économiques. Sur le plan environnemental, comparativement aux systèmes à base d'ensilage de maïs, les systèmes à base d'herbe présentent ainsi des avantages certains au regard de la biodiversité et de la qualité de l'eau et de l'air (*cf.* LE GALL *et al.*, 2009). Les produits laitiers issus des régimes à base d'herbe bénéficient en outre d'une image favorable auprès des consommateurs et il serait sans doute intéressant de mieux les identifier pour mieux les valoriser au sein de quelques filières.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Des fourrages de qualité pour des élevages à hautes performances
économiques et environnementales",
les 25-26 mars 2009.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGABRIEL C., COULON J.B., JOURNAL C., SIBRA C., ALBOUY H. (1999) : "Variabilité des caractéristiques des fromages saint-nectaire fermiers : relations avec la composition du lait et les conditions de production", *Lait*, 79, 291-302.
- AGABRIEL C., MARTIN B., SIBRA C., BONNEFOY J.-C., MONTEL M.-C., DIDIERNE R., HULIN S. (2004) : "Effect of production systems on the sensory characteristics of Cantal cheeses: a plant-scale study", *Animal Res.*, 53, 221-234.

- AGABRIEL C., CORNU A., JOURNAL C., SIBRA C., GROLIER P., MARTIN B. (2007) : "Tanker milk variability according to farm feeding practices: Vitamins A and E, carotenoids, color and terpenoids", *J. Dairy Sci.*, 90, 4884-4896.
- BAUMAN D.E., CORL B.A., BAUMGARD L.H., GRIINARI J.M. (2001) : "Conjugated linoleic acid (CLA) and the dairy cow", Garnsworthy P.C. et Wiseman J. ed., *Recent Advances in Animal Nutrition*, Nottingham University Press, Nottingham, UK, 221-250.
- BAUMANN C. A., STEENBOCK H., BEESON W. M., RUPEL W. (1934) : "The influence of breed and diet of cows on the carotene and vitamin A content of butter", *J. Biol. Chem.*, 105, 167-176.
- BÉRODIER F. (1997) : "Crus de Comté, flore des prairies et pratiques agricoles", *Du terroir au goût des fromages*, 27-28 September, Besançon (France), 186-189.
- BOSSET J.O., JEANGROS B., BERGER T., BÜTIKOFER U., COLLOMB M., GAUCH R., LAVANCHY P., SCEHOVIC J., SIEBER R. (1999) : "Comparaison de fromages à pâte dure de type gruyère produits en région de montagne et de plaine", *Revue Suisse d'Agric.*, 31, 17-22.
- BUGAUD C., BUCHIN S., HAUWUY A., COULON J.B. (2002) : "Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage : cas du fromage d'abondance", *INRA Prod. Anim.*, 15, 31-36.
- BUCHIN S., DELAGUE V., DUBOZ G., BERDAGUE J.L., BEUVIER E., POCHET S., GRAPPIN R. (1998) : "Influence of pasteurization and fat composition of milk on the volatile compounds and flavor characteristics of a semi-hard cheese", *J. Dairy Sci.*, 81, 3097-3108.
- BUCHIN S., MARTIN M., DUPONT D., BORNARD A., ACHILLEOS C. (1999) : "Influence of the composition of Alpine highland pasture on the chemical, rheological and sensory properties of cheese", *J. Dairy Res.*, 66, 579-588.
- CALDERÓN F., TORNAMBE G., MARTIN B., PRADEL P., CHAUVEAU-DURIOT B., NOZIÈRE P. (2006) : "Effects of mountain grassland maturity stage and grazing management on carotenoids in sward and cow's milk", *Anim. Res.*, 55, 1-12.
- CALDERÓN F., CHAUVEAU-DURIOT B., MARTIN B., GRAULET B., DOREAU M., NOZIÈRE P. (2007a) : "Variations in carotenoids, vitamins A and E, and color index in cow's plasma and milk during late pregnancy and the first three months of lactation", *J. Dairy Sci.*, 90, 2335-2346.
- CALDERÓN F., CHAUVEAU-DURIOT B., PRADEL P., MARTIN B., GRAULET B., DOREAU M., NOZIÈRE P. (2007b) : "Variations in carotenoids, vitamins A and E, and color in cow's plasma and milk following changes in carotenoid intake level", *J. Dairy Sci.*, 90, 5651-5664.
- CARPINO S., HORNE J., MELILLI C., LICITRA G., BARBANO D.M., VANSOEST P.J. (2004) : "Contribution of native pasture to the sensory properties of Ragusano cheese", *J. Dairy Sci.*, 87, 308-315.
- CHAUVEAU-DURIOT B., THOMAS D., PORTELLI J., DOREAU M. (2005) : "Carotenoids content in forages : variation during conservation", *Revue Rech. Ruminants*, 12, 119.
- CHILLIARD Y., FERLAY A., MANSBRIDGE R.M., DOREAU M. (2000) : "Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids", *Ann. Zoot.*, 49, 181-205.
- 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., BISIGA W., BÜTIKOFER U., SIEBER R., BREGY M., ETTER L. (2008) : "Fatty acid composition of mountain milk from Switzerland: comparison of organic and integrated farming systems", *Int. Dairy J.*, 976-982.
- 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.
- COUVREUR S., HURTAUD C., LOPEZ C., DELABY L., PEYRAUD J.L. (2006) : "The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition and butter properties", *J. Dairy Sci.*, 89, 1956-1969.
- DARNTON-HILL I., NISHIDA C., JAMES W.P. (2004) : "A life course approach to diet, nutrition and the prevention of chronic diseases", *Public Health Nutr.*, 7, 101-121.
- DEBRY G. (2001) : *Lait, nutrition et santé*, Tec & Doc, Paris (France), 566 pp.

- DELAGARDE R., PEYRAUD J.L. (2002) : "Fatty acid composition of milk from dairy cows as affected by grazing different species or cultivars", *Grassland Sci. In Europe*, 554-555.
- DEWURST R.J., SHINGFIELD K.J., LEE M.R.F., SCOLLAN N.D. (2006) : "Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by cows in high-forage systems", *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131, 168-206.
- DUBROEUQ H., MARTIN B., FERLAY A., PRADEL P., VERDIER-METZ I., CHILLIARD Y., AGABRIEL J., COULON J.B. (2002) : "L'alimentation des vaches laitières est susceptible de modifier les caractéristiques sensorielles des laits", *Rech. Ruminants*, 9, 351-354.
- ELLIS K.A., INNOCENT G., GROVE-WHITE D., CRIPPS P., MCLEAN V.G., HOWARD C.V. (2006) : "Comparing the fatty acid composition of organic and conventional milk", *J. Dairy Sci.*, 89, 1938-1950.
- FARRUGGIA A., MARTIN B., BAUMONT R., PRACHE S., DOREAU M., HOSTE H., DURAND D. (2008) : "Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ?", *INRA Prod. Anim.*, 21, 191-200.
- FERLAY A., ANDRIEU J.P., POMIES D., MARTIN-ROSSET W., CHILLIARD Y. (2002) : "Effet de l'ensilage enrubanné d'herbe de demi-montagne sur la composition en acides gras d'intérêt nutritionnel dans le lait de vache", *Rencontres Rech. Ruminants*, 9, 365.
- FERLAY A., MARTIN B., PRADEL P., COULON J.B., CHILLIARD Y. (2006) : "Influence of grass based diets on milk fatty acids composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds", *J. Dairy Sci.*, 89, 4026-4041.
- FERLAY A., AGABRIEL C., SIBRA C., JOURNAL C., MARTIN B., CHILLIARD Y. (2008) : "Tanker milk variability of fatty acids according to farm feeding and husbandry practices in a French semi-mountain area", *Dairy Sci. Technol.*, 88, 193-215.
- GRANT W.B. (1998) : "Milk and other dietary influences on coronary heart disease", *Alternative Medical Review*, 3, 281-294.
- GRAPPIN R., COULON J.B. (1996) : "Terroir, lait et fromage : éléments de réflexion", *Rech. Rech. Ruminants*, 3, 21-28.
- GRAULET B., CHAUVEAU-DURIOT B., MARTIN B., PRADEL P., GAREL J.P., FARRUGGIA A. (2008) : "Comparaison des teneurs en micronutriments liposolubles du lait de vache au cours de la période de pâturage sur deux systèmes prairiaux contrastés", *Rech. Rech. Ruminants*, 15, 120.
- GUICHARD H., LECONTE D., PICOCHÉ B., PAGES J., SIMON J.C. (2006) : "Influence de la composition floristique des prairies permanentes normandes sur les caractéristiques des laits crus dérivés", *Fourrages*, 188, 457-475.
- HOUSSIN B., FORET A., CHENAIS F. (2002) : "Effect of winter diet (corn vs. grass silage) of dairy cows on the organoleptic quality of butter and camembert cheese", *Grassland Sci. in Europe*, 572-573.
- HURTAUD C., DELABY L., PEYRAUD J.L. (2002a) : "Evolution of milk composition and butter properties during the transition between winter-feeding and pasture", *Grassland Sci. in Europe*, 7, 574-575.
- HURTAUD C., DELABY L., PEYRAUD J.L. (2002b) : "The nature of the conserved forage affects milk composition and butter properties", *Grassland Science in Europe*, 7, 576-577.
- HURTAUD C., GOUDÉDRANCHE H., DELABY L., CAMIER-CAUDRON B., PEYRAUD J.-L. (2002c) : "Effet de la nature du régime hivernal sur la qualité du beurre et de l'Emmental", *Rech. Rech. Ruminants*, 9, 369.
- HURTAUD C., BERTHELOT D., DELABY L., PEYRAUD J.L. (2004) : "Winter feeding systems and dairy cows breed have an impact on Camembert and Pont L'Evêque PDO cheeses in Normandy", *Grassland Sci. in Europe*, 8, 1145-1147.
- JENSEN R.G. (2002) : "The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000", *J. Dairy Sci.*, 85, 295-350.
- KANNO C., YAMAUCHI K., TSUGO T. (1968) : "Occurrence of γ -tocopherol and variation of α - and γ -tocopherol in bovine milk fat", *J. Dairy Sci.*, 51, 1713-1719.
- LE GALL A., BEGUIN E., DOLLÉ J.-B., MANNEVILLE V., PFLIMLIN A. (2009) : "Nouveaux compromis techniques pour concilier les impératifs d'efficacité économique et environnementale en élevage herbivore", *Fourrages*, 198, 131-151.

- LUCAS A., AGABRIEL C., MARTIN B., FERLAY A., VERDIER-METZ I., COULON J.B., ROCK E. (2006) : "Relationships between the conditions of cow's milk production and the contents of components of nutritional interest in raw milk farmhouse cheese", *Lait*, 86, 21-41.
- MARTIN B., COULON, J.B. (1995) : "Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. II. Influence des caractéristiques des laits de troupeaux et des pratiques fromagères sur les caractéristiques du reblochon de Savoie fermier", *Lait*, 75, 133-149.
- MARTIN B., FEDELE V., FERLAY A., GROLIER P., ROCK E., GRUFFAT D., CHILLIARD Y. (2004) : "Effects of grass-based diets on the content of micronutrients and fatty acids in bovine and caprine dairy products", *Grassland Sci. in Europe*, 9, 876-886.
- MARTIN B., VERDIER-METZ I., BUCHIN S., HURTAUD C., COULON J.B. (2005) : "How do the nature of forages and pasture diversity influence the sensory quality of dairy livestock products?", *Anim. Sci.*, 81, 205-212.
- McDOWALL F. H., MCGILLIVRAY W. A. (1963) : "Studies on the properties of New Zealand butterfat - VII. Effect of the stage of maturity of ryegrass fed to cows on the characteristics of butterfat and its carotene and vitamin A contents", *J. Dairy Res.*, 30, 59-66.
- MONNET J.-C., BÉRODIER F., BADOT P.M. (2000) : "Characterization and localization of a cheese georegion using edaphic criteria (Jura Mountains, France)", *J. Dairy Sci.*, 83, 1692-1704.
- MOUNCHILI A., WICHTEL J.J., DOHOO I.R., KEEFE G.P., HALLIDAY J.J. (2004) : "Risk factors for milk off-flavours in dairy herds from Prince Edward Island, Canada", *Preventive Veterinary Medicine*, 64, 133-145.
- NOZIÈRE P., GRAULET B., LUCAS A., MARTIN B., GROLIER P., DOREAU, M. (2006a) : "Carotenoids for ruminants : from forage to dairy products", *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131, 418-450.
- NOZIÈRE P., GROLIER P., DURAND D., FERLAY A., PRADEL P., MARTIN B. (2006b) : "Variations in carotenoids, fat-soluble micronutrients and color in cow's plasma and milk following change in forage and feeding level", *J. Dairy Sci.*, 89, 2634-2648.
- PRACHE S., PRIOLO A., TOURNADRE A., JAILLER R., DUBROEUCC H., MICOL D., MARTIN B. (2002) : "Traceability of grass-feeding by quantifying the signature of carotenoid pigments in herbivores meat, milk and cheese", *Grassland Sci. in Europe*, 7, 592-593.
- SAUVANT P., GROLIER P., AZAIS-BRAESCO V. (2002) : "Nutritional significance of vitamin A in dairy products", Roginsky H., Fuquay J.W. et Fox P.F. eds., *Encyclopaedia of Dairy Science*, Academic Press, Londres, 2657-2664.
- SCHINGOETHE D.J., PARSONS J.G., LUDENS F.C., TUCKER W.L., SHAVE H.J. (1978) : "Vitamin E status of dairy cows fed stored feeds continuously or pastured during summer", *J. Dairy Sci.*, 61, 1582-1589.
- SHIPE W.F., LEDFORD R.A., PETERSON R.D., SCANLAN R.A., GEERKEN H.F., DOUGHERTY R.W., MORGAN M.E. (1962) : "Physiological mechanisms involved in transmitting flavors and odors to milk. ii. transmission of some flavor components of silage", *J Dairy Sci.*, 45, 477-480.
- THOMPSON S.Y., HENRY K.M., KON S.K. (1964) : "Factors affecting the concentration of vitamins in milk I. Effect of breed, season and geographical location on fat-soluble vitamins", *J. Dairy Res.*, 31, 1-25.
- TORNAMBÉ G., CORNU A., VERDIER-METZ I., PRADEL P., KONDOYAN N., FIGUEREDO G., HULIN S., MARTIN B. (2007a) : "Addition of pasture plant essential oil in milk: influence on chemical and sensory properties of milk and cheese", *J. Dairy Sci.*, 91, 58-69.
- TORNAMBÉ G., FERLAY A., FARRUGGIA A., CHILLIARD Y., LOISEAU P., GAREL J.P., MARTIN B. (2007b) : "Effet de la diversité floristique des pâturages de montagne sur le profil en acides gras et les caractéristiques sensorielles des laits", *Rech. Ruminants*, 14, 333-336.
- TOSO B., STEFANON B. (2001) : "Effect of ration composition on sensory properties of matured Montasio cheese", *Sceinza e Tecnica Latterio Casearia*, 52, 257-268.
- URBACH G. (1991) : "Effect of feed on flavor in dairy foods", *J. Dairy Sci.*, 73, 3639-3650.

- VERDIER I., COULON J.B., PRADEL P., BERDAGUÉ J.L. (1995) : "Effect of forage type and cow breed on the characteristics of matured Saint-Nectaire cheeses", *Lait*, 75, 523-533.
- VERDIER-METZ I., COULON J.B., PRADEL P., VIALON C., BERDAGUÉ J.L. (1998) : "Effect of forage conservation (hay or silage) and cow breed on the coagulation properties of milks and on the characteristics of ripened cheeses", *J. Dairy Res.*, 65, 9-21.
- VERDIER-METZ I., COULON J.B., VIALON C., PRADEL P. (2000) : "Effets de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fromages", *Renc. Rech. Ruminants*, 7, 318.
- VERDIER-METZ I., PRADEL P., COULON J.B. (2002a) : "Influence of the forage type and conservation on the cheese sensory properties", *Grassland Sci. in Europe*, 7, 604-605.
- VERDIER-METZ I., MARTIN B., HULIN S., FERLAY A., PRADEL P., COULON J.B. (2002b) : "Combined influence of cow diet and pasteurisation of the milk on sensory properties of french PDO cantal cheese", *Congrilaït 26^e IDF World Dairy Congress*, éd CIDIL, CDR. Paris.
- VERDIER-METZ I., MARTIN B., PRADEL P., ABOUY H., HULIN S., MONTEL M.-C., COULON J.B. (2005) : "Effect of grass-silage vs hay diet on the characteristics of cheese: interactions with the cheese model", *Lait*, 85, 469-480.
- WILLIAMS P. E. V., BALLETT N., ROBERT J.C. (1998) : "A review of the provision of vitamins for ruminants", *Proc. of the Preconference Symposium of the Cornell Nutrition Conference 1998*, 7-37.

SUMMARY

Grass and the nutritional and organoleptic qualities of dairy products

The nature of the forages consumed by dairy cows has a large effect on both the nutritional and the organoleptic characteristics of the dairy products. This paper summarises the results found in the corresponding literature. Compared to grazed grass, diets based on maize silage or concentrates give rise to milks low in vitamins A and E, in β -carotene, in unsaturated fatty acids, including linolenic acid and the conjugates of linoleic acid. but high in saturated fatty acids. Besides, maize silage gives cheeses and butters with a whiter colour and a firmer consistence, which are generally less appreciated by the tasters. The effects of grass are all the more important as it is utilized at an earlier stage, and they are influenced by the method of conservation and by the botanical composition. Important differences among the organoleptic and nutritional characteristics are also observed in the dairy products when the cows are fed a diet based on conserved grass, or when they are left to graze in spring. As compared to hay, grass silage, when properly made, influences but little, or not at all, the organoleptic qualities of the cheeses, were it not for their colour, which is yellower with silage, because of the higher β -carotene content of the silage. Milks from silage-fed cows are also richer in vitamin E, but less rich in linolenic acid. Several recent trials have evidenced an effect of the floristic makeup of the forages ingested by dairy cows on the texture and the flavour and savour of the cheeses. Moreover, when the cows graze a floristically diversified sward, the milks and the cheeses are poorer in β -carotene, but richer in linolenic acid and the conjugates of linoleic acid, a fact supposedly due to the secondary metabolites present in certain plant species acting on the bio-hydrogenation in the rumen.