

Herbe et qualités nutritionnelles et sensorielles des produits laitiers

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

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

Résumé

La nature des fourrages consommés par les vaches laitières joue un rôle important à la fois sur les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des produits laitiers. Cette revue bibliographique fait le point sur l'état des connaissances. 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 le C18:3n-3 et les CLA, mais riches en acides gras saturés. L'ensilage de maïs conduit par ailleurs à des fromages ou des beurres plus blancs et plus fermes, qui sont généralement moins appréciés des dégustateurs. Les effets de l'herbe sont d'autant plus importants qu'elle est utilisée à un stade précoce. Les effets des régimes à base d'herbe sont cependant extrêmement variables en fonction du stade de développement, du mode de conservation, et de la nature botanique de l'herbe. D'importantes différences des caractéristiques sensorielles et nutritionnelles sont également observées entre des produits laitiers issus de vaches recevant une ration à base d'herbe conservée ou conduites au printemps, au pâturage. Lorsqu'elle est correctement réalisée, la conservation de l'herbe sous forme d'ensilage comparativement au foin ne modifie pas ou peu les caractéristiques sensorielles des fromages en dehors de leur couleur, plus jaune avec l'ensilage en raison de sa teneur élevée en β -carotène. Les laits d'ensilage sont également plus riches en vitamine E mais moins riches en C18:3n-3. Plusieurs essais récents ont mis en évidence un effet de la composition botanique des fourrages ingérés par les vaches laitières sur la texture et la flaveur des fromages. Par ailleurs, l'utilisation d'un pâturage diversifié est à l'origine de laits et de fromages moins riches en β -carotène mais plus riches en C18:3n-3 et CLA en raison d'un effet supposé des métabolites secondaires de certaines espèces végétales sur la biohydrogénation ruminale.

Introduction

Les qualités nutritionnelles et sensorielles des produits laitiers jouent un rôle important dans l'acte d'achat des consommateurs. Elles 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. 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), qu'elle jouit d'une image positive dont certaines filières voudraient profiter et, d'autre part, parce qu'elle pourrait conférer aux produits laitiers des caractéristiques nutritionnelles et sensorielles particulières.

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 présent peu d'études spécifiques sur les relations entre la nature des fourrages et les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles 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 sensorielles 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.

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 micro-nutriments, 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). Leurs facteurs de variation relevant de la nature des fourrages sont développés dans ce texte. L'effet des concentrés, bien documenté par ailleurs (CHILLIARD *et al.*, 2007), ne sera pas abordé.

1.1. 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-butyrates 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, nature des fourrages...). Ces AG sont ensuite absorbés au niveau de l'intestin, 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 (COUVREUR *et al.*, 2006 ; FERLAY *et al.*, 2008).

TABLEAU 1 – Relations entre 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 sensorielles des beurres (extrait de 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

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.*, 2007). En pratique, des profils en acides gras des laits proches de ceux obtenus avec des rations à

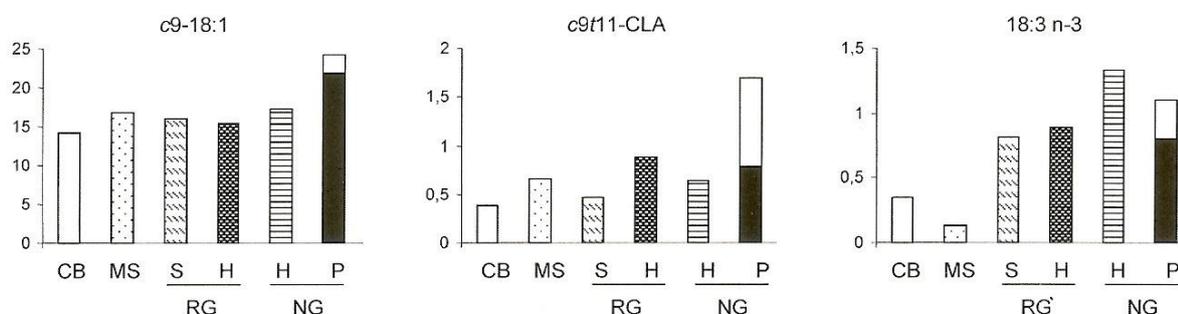
base de fourrages conservés sont quelquefois observés dans des laits provenant du pâturage, lorsque l'herbe est exploitée à un stade tardif (épiaison).

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 al.*, 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 soit à partir du pâturage en alpage, soit dans la vallée avec des rations composées d'herbe et/ou de fourrages 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). Abréviations : CB : concentré (65%) ; MS : Ensilage de maïs ; RG : ray-grass ; S : ensilage d'herbe ; H : foin ; NG : prairie naturelle ; P : pâturage après 3 (□) et 6 (■) semaines.



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 le terrain

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 entre 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.

1.2. 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 provitamines 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 aux produits laitiers les plus jaunes et aux laits les plus riches en β -carotène depuis très longtemps (BAUMANN *et al.*, 1934). Au pâturage, les valeurs les plus élevées dans le lait sont observées lorsque l'herbe est feuillue au printemps et en automne sur les repousses (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 lorsque les animaux utilisent des prairies très diversifiées soient moins riches en β -carotène et rétinol que les fromages de plaine (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 (TORNAMBÉ, données non publiées). En outre, au cours de la période de pâturage, la teneur des fromages en vitamine E semble plus élevée en alpage qu'en plaine (LUCAS *et al.*, 2006).

- 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 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 μ g/ml) et les valeurs les plus faibles (0,42 μ g/ml) avec les régimes à base de foin, d'ensilage de

TABLEAU 2 – Effets de la nature du fourrage sur la teneur du lait en caroténoïdes et vitamines A et E
(Extrait de MARTIN *et al.*, 2004).

Régimes*	Cc	EM	ERG	FRG	FPN	P3	P6
Lutéine (μ 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 (μ g/ml)	0,12c	0,10cd	0,17 ^{ab}	0,13c	0,09d	0,19 ^a	0,16 ^b
Vitamine A (μ 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 (μ 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%).

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 ingérée (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) et 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 sensorielles 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 flaveur 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 confèrent à ces facteurs des effets non négligeables sur les caractéristiques sensorielles des fromages. Ainsi, certains producteurs de fromages fermiers observent fréquemment des différences de qualités sensorielles 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 sensorielles d'un type de fromage et à mettre en parallèle cette diversité 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 sensorielles 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 sensorielles 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 sensorielles 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.

2.1. 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 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 sensorielles de produits laitiers fabriqués à partir du lait d'animaux nourris 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.

Référence	Régime 1	Régime 2	Comparativement aux produits laitiers issus du régime 1, ceux issus du régime 2 sont :			
			Produit	Couleur	Texture	Odeur, Arôme et saveurs
Verdier et al 1995	Ensilage de Maïs	Ensilage de ray-grass	Fromage Saint-Nectaire	Plus jaune et coloré (19%)	Moins élastique (3%)	/
Verdier et al 1995	Ensilage de Maïs	Foin de dactyle	Fromage Saint-Nectaire	Plus jaune	Plus élastique (9%), moins ferme (10%)	/
Houssin et al 2002	Ensilage de Maïs	Ensilage herbe	Beurre	Plus jaune (55%)	Moins ferme (22%), plus tartinable (13%), plus fondant (9%)	/
Houssin et al 2002	Ensilage de Maïs	Ensilage herbe	Fromage Camembert	/	Moins ferme (8%), plus doux (9%), plus fondant (8%)	Plus affiné (10%) Plus aromatique (13%)
Hurtaud et al 2002a	Ensilage de Maïs	Pâturage	Beurre	Plus jaune	Moins ferme (21%)	Flaveur plus intense (12%)
Hurtaud et al 2002b	Ensilage de Maïs	Foin	Beurre	Plus jaune	Moins ferme (8%)	Odeur plus intense (6%)
Hurtaud et al 2004 ¹	Ensilage de Maïs	Ensilage herbe + Enrubannage	Fromage Camembert	Plus jaune	Aspect plus apprécié (8%), plus fondant (8%), plus pâteux (4%)	Arôme ammoniacé (26%), plus acide (14%), arôme plus intense (7%)
Hurtaud et al 2004 ¹	Ensilage de Maïs	Ensilage herbe + Enrubannage	Fromage Pont l'Evêque	Plus jaune	Aspect plus apprécié (8%), plus fondant (19%)	/
Carpino et al 2004 ²	Ration complète	Ration complète + pâturage (15%)	Fromage Ragusano	Plus jaune	Moins huileux (3%), plus facile à casser (5%)	Odeur florale plus élevée (5%), odeur verte/herbacée plus élevée (4%)

- Mode de conservation de l'herbe

D'importantes différences de caractéristiques sensorielles 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). 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 sensorielles 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 sensorielles 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. Dans un essai récent (VERDIER-METZ *et al.*, 2005), la distribution d'ensilage d'herbe comparativement à du foin a entraîné des différences sensorielles plus significatives sur des fromages de type Cantal que sur des fromages de type Saint-Nectaire.

TABLEAU 4 – Résultats des essais comparant les propriétés sensorielles de produits laitiers fabriqués à partir du lait d'animaux nourris 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.

Référence	Régime 1	Régime 2	Produit	Comparativement aux produits laitiers issus du régime 1, ceux issus du régime 2 sont :		
				Couleur	Texture	Odeur, Arôme et goût
Buchin <i>et al.</i> 1998	Pâtûre de printemps	Foin	Fromage Morbier	/	/	Odeur (5%) et arôme lacté (4%) plus développé, arôme de fumier plus développé (5%)
Verdier-Metz <i>et al.</i> 2000 ¹	Herbe	Foin	Fromage Saint-Nectaire	Moins jaune	/	Odeur plus aigre (7%), moins salé (4%)
Verdier-Metz <i>et al.</i> 2002a	Pâtûre de printemps	Ensilage d'herbe (60%)	Fromage Saint-Nectaire	Moins jaune	Plus ferme (9%), plus fondant (6%),	Goût moins intense (6%), moins typique (4%), moins aigre (7%) et moins amer (4%) Odeur plus piquante (11%), plus aigre (5%) et plus fuitée (6%)
Verdier-Metz <i>et al.</i> 2002b	Pâtûre de printemps	Foin (35%) + concentrés	Cantal au lait cru	Moins jaune	Force de compression plus élevée	Odeur d'oeuf moins forte (8%), arôme plus intense (3%) et rance (8%) et plus amer (11%).
Verdier-Metz <i>et al.</i> 2002b	Pâtûre de printemps	Foin (35%) + concentrés	Cantal au lait pasteurisé	Moins jaune	Force de compression plus élevée	/
Verdier-Metz <i>et al.</i> 1998 ²	Foin	Ensilage d'herbe	Fromage Saint-Nectaire	Plus jaune	/	Plus amer (3%)
Verdier-Metz <i>et al.</i> 2005 ³	Foin	Ensilage d'herbe	Fromage Saint-Nectaire	Plus jaune	Plus sableux (3%)	Arôme moins rance (5%)
Verdier-Metz <i>et al.</i> 2005 ³	Foin	Ensilage d'herbe	Fromage Cantal	Plus jaune	Moins fondant (10%), moins moelleux (9%),	Odeur plus alcoolisée (4%) et plus chimique (6%), odeur moins persistante (6%), moins beurre (10%) et herbe (7%).

- 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 sensorielles 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 « fruité » 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 sensorielles 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 sensorielles 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 flaveur 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 sensorielles

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 sensorielles. 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 sensorielles des fromages, dans la mesure où les d'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 sensorielles 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.

2.2. Laits

Les rares travaux récents disponibles sur les effets de la nature des fourrages sur les caractéristiques sensorielles des laits (crus et entiers) suggèrent que les laits issus du pâturage se différencient des laits issus de régimes à base de foin ou de concentrés (65%) (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 (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 saveur liés à l'alimentation des animaux (MOUNCHILI *et al.*, 2004). L'ensilage de maïs ne semble pas avoir les mêmes conséquences sur les caractéristiques sensorielles 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 sensorielles 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 sensoriel et présentant des caractéristiques nutritionnelles globalement plus favorables. Sur le plan environnemental, comparativement aux systèmes à base de maïs, les systèmes à base d'herbe présentent des avantages certains au regard de la biodiversité et de la qualité de l'eau et de l'air. Ces produits 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.

Il faut cependant moduler ce résultat global sur plusieurs points. D'une part, certains effets très positifs de l'herbe peuvent s'accompagner de contreparties négatives ; c'est le cas notamment de l'augmentation parallèle du CLA et des autres acides gras trans dans le lait (dont les effets sur la santé restent controversés). D'autre part, 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.

Il est aussi intéressant de rappeler que la majorité des composés analysés et présentant un intérêt nutritionnel varie dans le même sens. Ainsi, les produits issus de régimes à base d'herbe sont susceptibles de présenter un véritable intérêt sur le plan nutritionnel. 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.

Les travaux expérimentaux récents sur la qualité sensorielle des produits laitiers confirment certaines observations empiriques 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. 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 FARRUGGIA *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.

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 Research*, 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,
- 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.
- BAUMAN D.E., CORL B.A., BAUMGARD L.H., GRINARI J.M. (2001) : "Conjugated linoleic acid (CLA) and the dairy cow". In: *Garnsworthy P.C. and Wiseman J. (ed) Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham University Press, Nottingham, UK*, 221-250.
- BÉRODIER F. (1997) : « Crus de Comté, flore des prairies et pratiques agricoles », in: *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'Agriculture*, 31, 17-22.
- BUGAUD C., BUCHIN S., HAUWUY A., COULON J.B. (2002) : « Texture et saveur du fromage selon la nature du pâturage : cas du fromage d'abondance », *INRA Prod. Anim.* 15, 31-36.
- 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. (2004a) : "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", *Renc. 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.
- DELAGARDE R., PEYRAUD J.L. (2002) : "Fatty acid composition of milk from dairy cows as affected by grazing different species or cultivars", *Grassland Science In Europe*, 554-555.
- DEBRY G. (2001) : « Lait, nutrition et santé », *Tec & Doc, Paris, France*, 566 pp.
- 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.
- DUBROEUCQ 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 », *Renc. 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. *Renc. 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 », *Renc. 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 », *Renc. 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 Science 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 Science 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 », *Renc. 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 Science 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.
- 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 Science 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., DUBROEUCQ H., MICOL D., MARTIN B. (2002) ; « Traceability of grass-feeding by quantifying the signature of carotenoid pigments in herbivores meat, milk and cheese". *Grassland Science in Europe*, 7, 592-593.
- SAUVANT P., GROLIER P., AZAIS-BRAESCO V. (2002) : "Nutritional significance of vitamin A in dairy products", In: Roginsky H., Fuquay J.W. and Fox P.F. (eds) *Encyclopaedia of Dairy Science*, Academic Press, London, 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 », *Renc. 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., PRADEL P., COULON J.B. (2002a) : « Influence of the forage type and conservation on the cheese sensory properties". *Grassland Science 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". In: *Congrilaït 26th IDF World Dairy Congress (ed 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.