

---

# INFLUENCE DU TYPE D’ALIMENTATION SUR LA TEXTURE ET LA FLAVEUR DU FROMAGE

---

**THESE**  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D’ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2010  
devant l’Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**Aurélien VOISIN**  
Né le 8 mars 1984, à Limoges (87)

---

Directeur de thèse : M. le Professeur Francis ENJALBERT

## JURY

PRESIDENT :

M. SALVAYRE

**Professeur à l’Université Paul-Sabatier de TOULOUSE**

ASSESEUR :

**M. BRUGERE**

Professeur à l’Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

# Remerciements

*A Monsieur Robert Salvayre,*

*Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse  
Qui me fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de thèse,*

*Hommages respectueux.*

*A Monsieur Francis Enjalbert,*

*Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Pour avoir accepté d'être mon directeur de thèse, et pour le temps accordé à la  
lecture et à la correction de ce travail*

*Sincères remerciements.*

*A Monsieur Hubert Brugère,*

*Maitre de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Qui me fait le plaisir et l'honneur de participer à mon jury de thèse,*

*Sincères remerciements.*

*Je tiens ensuite à remercier tous mes amis, en commençant par mes « vrais » co promo, Chloé pour tes qualités de chanteuse sur Bohemian Rhapsody, Claire pour tes épaules qui m'ont beaucoup complexées, Rhymbow pour ton art de la lourdeur, Marcho pour toutes ces randos partagées, et aussi à tous les quatre pour toutes ces soirées inoubliables du 3<sup>ème</sup> étage, Bubble pour tout ces L que tu n'as jamais réussi à prononcer, Camille pour ta blonde attitude, Steph pour ta Limoges attitude, Miloute pour tous ces potins révélés au grand jour, Guiqui pour ton humour salé, Shyk pour ton humour si fin, Aillain, ou l'art de faire ses besoins toujours là où il faut, Rominou pour ton rire qui n'en finit plus, Sophie pour ton humour pipi caca, Clémence pour tes rares coups de queue, Aude pour être si chaude, Marion pour l'année passée ensemble à la coopé, Fabien pour ton mythique PTB, et puis Déborah, Britney, Canari, Marylou et à tous les autres que j'oublie.*

*Je n'oublie pas mes pseudos co promo, Etienne pour ton poulet Gaston Gérard, Thomas pour ton flex permanent, Jean Seb pour ton sport préféré la boxe, Chaton pour tous ces mythos, Thimotée, et aussi Elsa, Julie, Mariuan, Nico, Julien, Gaëlle, Guerric...*

*Je remercie également mes poulots, plus particulièrement Nico, Quinette, Arthur, Lucie B et Lucie C, Margaux, Marion, Julia, Camille, Sophie, Greg, Julien. J'ai passé de très bons moments avec vous. Merci à mes docteurs, vous m'avez permis de passer une année de poulot pleine de très bons souvenirs. Merci également à toutes les personnes que j'ai croisées de près ou de loin et qui m'ont apporté beaucoup au cours de ces longues années étudiantes.*

*J'ai passé avec vous tous peut être les meilleures années de ma vie, que ce soit en amphi, en tp, en boum ou en boumlette, autour d'un barbecue, d'un TDL, d'un zinzin au cercle... Je remercie également tous les membres de l'équipe de handball que j'ai côtoyé au cours de ces cinq années, et également Lasagne, Mumu, FX, pour ces excellents souvenirs de raids que l'on a partagés.*

*J'adresse une pensée particulière à Lulu, merci pour ta joie de vivre, ta gentillesse, tes zinzins, merci pour toutes ces histoires de l'école que tu prenais le temps de nous raconter tous les jours.*

*J'adresse un très grand merci à ma famille, et plus particulièrement à mes parents sans qui je n'en serais certainement pas là aujourd'hui, vous m'avez permis d'accomplir mon rêve en devenant vétérinaire, et je vous en serai reconnaissant toute ma vie. Un grand merci également à Mickaël et Angélique.*

*J'adresse enfin des remerciements particuliers à Aurélie, celle avec qui je partage des moments très forts et qui me rend plus heureux tous les jours.*

# **SOMMAIRE**

## **I. Présentation générale**

### I.1. La matière première : le lait

#### I.1.1. Définition

#### I.1.2. Composition biochimique du lait

#### I.1.3. La matière grasse du lait

#### I.1.4. La matière protéique du lait

#### I.1.5. La matière glucidique du lait

### I.2. Le fromage

#### I.2.1. Définition

#### I.2.2. Fabrication

#### I.2.3. Les différents types de fromages en fonction du type de pâte

### I.3. Texture et flaveur

## **II. Les principales différences de texture et de flaveur observées en fonction de l'alimentation**

### II.1. Première approche

II.2. Effet de la nature de la ration de base, ensilage de maïs versus herbe (foin ou ensilage)

### II.3. Effet du mode de conservation de l'herbe

### II.4. Effet de la composition botanique de l'herbe

## **III. Origine des différences sensorielles**

III.1. Mise en évidence de molécules volatiles ayant un impact sur le goût et l'odeur des fromages et lien avec l'alimentation

III.2. Transfert direct de composés de l'herbe vers le fromage ayant une influence sur la texture et la flaveur du fromage.

III.2.1. Les terpènes

III.2.2. Les caroténoïdes

III.3. Influence indirecte de la nature des pâturages sur les caractéristiques physico chimiques des laits et impact sur les fromages

III.2.1. Rôle des acides gras

III.2.2. Effet des enzymes endogènes

III.2.3. Effet d'autres constituants du lait

III.4. Influence indirecte de la nature des pâturages sur les caractéristiques microbiennes des laits et impact sur les fromages

## **ANNEXE**

Annexe I. Effet du type d'alimentation sur les caractéristiques sensorielles des fromages (Verdier-Metz *et al.*, 2005).

Annexe II. Composés volatils, propriétés olfactométriques, et composition absolue en composés volatils neutres dans les laits de brebis nourries sur prairie naturelle, pelouse alpine ou ration complète (Moio *et al.*, 1996).

Annexe III. Principales odeurs détectées par olfactométrie dans les laits de brebis nourries à base de rations différentes (Moio *et al.*, 1996).

Annexe IV. Composition en acides gras, en vitamines A et E et en caroténoïdes de la Tomme de Savoie selon la saison de fabrication (Lucas *et al.*, 2004).

Annexe V. Composition en acides gras des laits au cours de la saison estivale (Saulnier *et al.*, 2007).

Annexe VI. Comparaison des teneurs en acides gras (en % des AG totaux) de la prairie et des laits correspondants, en fonction de la composition floristique de la prairie (à partir d'une compilation bibliographique).

# **TABLE DES ILLUSTRATIONS**

## **Liste des tableaux**

Tableau 1. Les différents types de fromage en fonction du type de pâte.....	page 19
Tableau 2. Classement par pôles du vocabulaire utilisé par les juges d'olfaction.....	page 24
Tableau 3. Effet de la nature du fourrage sur les notes de caractéristiques sensorielles du fromage.....	page 27
Tableau 4. Effet du type d'alimentation sur la texture et la flaveur du fromage, comparaison d'une alimentation à base d'herbe ou d'ensilage de maïs.....	page 28
Tableau 5. Effet de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fromages.....	page 30
Tableau 6. Effet du type d'alimentation sur la texture et la flaveur du fromage, comparaison d'une alimentation à base d'herbe fraîche ou conservée.....	page 31
Tableau 7. Liste des espèces végétales présentes sur les pâtures alpines de l'étude de Buchin <i>et al.</i> , 1999.....	page 33
Tableau 8. Propriétés sensorielles des fromages affinés fabriqués avec les laits des vaches ayant pâturé sur des prairies alpines différentes, étude de Buchin <i>et al.</i> , 1999.....	page 34
Tableau 9. Caractéristiques botaniques des pâturages de l'étude de Bugaud <i>et al.</i> , 2000.....	page 35
Tableau 10. Principales caractéristiques botaniques des herbages dans les quatre lieux de production de l'étude de Jeangros <i>et al.</i> , 2000.....	page 36
Tableau 11. Paramètres chimiques et sensoriels des fromages en fonction du lieu de pâturage, étude de Bosset <i>et al.</i> , 1999.....	page 37

Tableau 12. Effet de la composition botanique du pâturage sur la texture et la flaveur du fromage, étude de Martin <i>et al.</i> , 2005.....	page 38
Tableau 13. Identification des composés odorants dans le fromage d'Abondance.....	page 44
Tableau 14. Nombre de composés volatils détectés dans le lait pour chaque famille chimique.....	page 51
Tableau 15. Nombre de terpènes détectés dans les fourrages.....	page 52
Tableau 16. Terpènes présents dans les différents fourrages consommés par les vaches et dans les fromages fabriqués avec les laits correspondants.....	page 53
Tableau 17. Composés volatils des fromages obtenus au moyen d'une analyse discriminante.....	page 55
Tableau 18. Caractéristiques sensorielles et composés volatils des fromages.....	page 57
Tableau 19. Teneurs en carotènes des fourrages, des laits correspondants et coloration jaune des fromages.....	page 60
Tableau 20. Teneur en macronutriments et en caroténoïdes du ray grass anglais, du dactyle, et du trèfle violet.....	page 61
Tableau 21. Teneurs en acides gras totaux, en acides linoléique et en acide linoléique de fourrages verts : médianes, 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quintiles, issues d'une compilation de la bibliographie.....	page 64
Tableau 22. Influence du régime sur la composition en acides gras des laits.....	page 65
Tableau 23. Composition chimique des laits et de la matière grasse du lait de différents pâturages.....	page 67
Tableau 24. Profil en acides gras des laits et des emmentals issus de ces laits.....	page 69

Tableau 25. Composition en plasmine, plasminogène, et caséine des laits et fromages affinés fabriqués avec ces laits issus de différents types de pâtures de montagne.....page 74

## **Liste des figures**

Figure 1. Les caractéristiques sensorielles de l’appréciation des fromages.....page 23

Figure 2. Différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages selon la nature des fourrages. Représentation schématique de résultats obtenus dans de nombreux essais cités dans le texte de Coulon *et al.* (2005).....page 32

Figure 3. Mise en évidence de trois types de profils de composés volatils correspondant à trois types de végétations.....page 48

Figure 4. Analyse des principaux composants caractéristiques de l’arôme des fromages.....page 49

Figure 5. Quantité de monoterpènes dans le lait et le fourrage.....page 51

Figure 6. Quantités de monoterpènes et sesquiterpènes extraites de la matière grasse du lait en fonction des différentes périodes du régime.....page 54

Figure 7. Rappel sur la provenance et les étapes de transformations des acides gras dans le rumen et la mamelle.....page 63

Figure 8. Influence de la conservation de l’herbe sur la teneur en matière grasse et la composition en acides gras.....page 66

Figure 9. Relation entre la texture du fromage et la composition en matières grasses du lait.....page 70

Figure 10. Profil sensoriel de fromages de type Camembert avec des petits ou des gros globules gras qui sont présents dans le lait.....page 71

Figure 11 : Evolution du taux de plasmine et de plasminogène du lait au cours de l'année selon le système de production.....page 73

## **Liste des graphiques**

Graphique 1. Concentration en composés volatils des principales familles chimiques identifiées dans le lait de brebis nourries à base de fourrages différents.....page 41

Graphique 2. Répartition des monoterpènes sur l'ensemble des plantes récoltées qui en contenaient (à partir du seuil de détection) dans l'étude.....page 56

# INTRODUCTION

A une époque où les produits alimentaires sont de plus en plus industrialisés et standardisés et où le consommateur a besoin d'être rassuré sur ce qu'il mange, un intérêt tout particulier se porte sur les produits traditionnels. Parmi ces produits, il en est un qui tient une place importante, surtout en France : le fromage. Il en existe de très nombreuses sortes, et une grande partie d'entre eux sont « protégés » par une Appellation d'Origine Protégée (AOP), qui garantit à la fois une zone géographique bien limitée, un savoir faire ancestral et une technique de fabrication particulière. L'AOP d'un fromage peut également définir une alimentation qui exclut certains types de fourrages, comme l'ensilage de maïs, que ce soit pour une question de qualité, d'image, ou de fabrication. Il existe en effet des à priori de consommateurs sur certains fourrages et en particulier sur l'ensilage, qui n'a pas une très bonne image et les consommateurs sont de plus en plus attentifs à l'alimentation apportée aux animaux (Martin *et al.*, 2002), notamment depuis la crise de l'ESB et l'arrivée des OGM. Cela est-il vraiment fondé ? A contrario l'image de vaches de montagne qui paissent tranquillement nous est plutôt évocatrice d'un signe de qualité de fromage. Alors qu'est ce qu'un fromage fabriqué avec du lait de montagne peut-il avoir de plus qu'un fromage fabriqué avec du lait de plaine ou avec du lait d'ensilage ? C'est cette question qui m'intrigue et qui m'a donné l'envie d'écrire cette thèse.

Dans le cadre des productions fromagères, le terroir peut être défini comme étant la combinaison de trois éléments que sont le milieu physique, l'animal et l'homme. Le milieu physique est caractérisé par des critères géologiques, géographiques, et également climatiques. L'animal est défini par sa race et ses caractéristiques génétiques. L'homme intervient sur ces deux éléments par ses pratiques agricoles et joue un rôle essentiel dans la transformation fromagère. Ces trois éléments du terroir (milieu physique, animal, homme) qui définissent les conditions de production du lait et donc ses caractéristiques physico chimiques et microbiologiques, ainsi que les pratiques technologiques appliquées à cette matière première, vont conduire à un fromage qui sera défini par ses caractéristiques précises d'aspect, de texture et de flaveur.

Depuis quelques années, de nombreux travaux se sont intéressés aux relations entre les caractéristiques de l'alimentation offerte aux animaux et les caractéristiques gustatives des fromages. Ces derniers ont surtout été réalisés sur des fromages qui ont un fort lien avec le terroir, présentant de nombreuses appellations. Afin de pouvoir faire un comparatif entre

l'effet des différents types d'alimentation, les technologies fromagères mises en place dans les études étaient contrôlées et semblables. Les fromages étaient fabriqués dans des unités expérimentales et affinés dans un même lieu, permettant une maîtrise et un contrôle optimal des différents paramètres de fabrication. Les études concernent à la fois des approches réalisées en condition expérimentales sur les laits de mélange de quelques animaux et des approches plus globales, réalisées chez des producteurs fermiers ou des transformateurs industriels.

Après quelques rappels généraux sur le lait et le fromage, nous étudierons les principales différences de flaveur et de texture des fromages que l'on a pu observer en fonction du type d'alimentation proposé aux animaux. Enfin nous essaierons de comprendre l'origine de ces différences sensorielles observées.

## **I. PRESENTATION GENERALE**

Le fromage est un aliment que l'on retrouve dans de très nombreux pays. Il existe une quantité impressionnante de fromages différents dans le monde, qu'ils soient de vache, de brebis, de chèvre, de yack, de chamelle, au lait cru, pasteurisé, à pâte pressée ou non, tous sont fabriqués à partir de la même matière première, le lait.

### **I.1. La matière première : le lait**

#### **I.1.1. Définition**

Le lait est un aliment de couleur généralement blanchâtre produit par les mammifères femelles (y compris les monotrèmes). La lactation, fait pour les femelles de ces espèces de produire du lait, est une des caractéristiques définissant les mammifères. Le lait est produit par les cellules sécrétrices des glandes qui chez les thériens sont contenues dans les mamelles. Le lait sécrété dans les premiers jours après la parturition s'appelle le colostrum.

La fonction première du lait est de nourrir la progéniture jusqu'à ce qu'elle soit sevrée, c'est-à-dire capable de digérer d'autres aliments. Dans la plupart des civilisations humaines, le lait des animaux (eux-mêmes mammifères) domestiques (vache, brebis, chèvre, jument, dri (yak), chamelle, dromadaire, bufflonne, renne) est couramment consommé (Wikipedia, site consulté le 1<sup>er</sup> septembre 2009).

#### **I.1.2. Composition biochimique du lait**

Il existe de grosses variations de composition du lait en fonction des espèces, on donne ici la composition moyenne du lait de vache :

Eau : 900 à 910 g/L

Matière grasse : 35 à 42 g/L

Matière glucidique (lactose) : 47 à 52 g/L

Matière protéique : 30 à 35 g/L

Matière minérale : 8 à 9 g/L

Les plus grosses variations de composition du lait sont celles du taux protéique et du taux de matière grasse, ceux-ci étant fortement liés à l'alimentation.

### **I.1.3. La matière grasse du lait**

Elle est considérée avec les protéines comme la matière noble du lait. Elle est composée en majorité de triglycérides (98%), puis de phospholipides (1%) et de cholestérol (1%).

Les acides gras du lait sont très variés. Le lait contient des acides gras :

- A chaîne courte de 4 à 8 carbones (C4 3%, C6 3,5%, C8 1%)
- A chaîne moyenne de 10 à 14 carbones (C10 3%, C12 3%, C14 9%)
- A chaîne longue de 16 à 18 carbones (C16 25 à 30%, et surtout C18 40 à 48%)

Le lait contient des acides gras saturés (70%) et des acides gras mono- (acide oléique) et polyinsaturés (acides linoléique, acide linoléique, acide arachidonique), qui représentent la plus faible proportion mais sont les plus importants au niveau nutritionnel.

L'origine des acides gras du lait est double :

- les acides gras dont la chaîne carbonée contient de 4 à 12 atomes de carbone sont synthétisés par la mamelle à partir des corps cétoniques sanguins, d'origine ruminale.
- les acides gras dont la chaîne carbonée contient 18 (et plus) atomes de carbones sont directement prélevés dans le plasma sanguin. Ils proviennent de l'alimentation, des réserves adipeuses ou d'une synthèse dans d'autres tissus que la mamelle.
- les acides gras à 14 et 16 atomes de carbones proviennent soit d'une synthèse de novo par la mamelle soit d'un prélèvement dans le flux sanguin.

On les retrouve dans le lait sous forme de globules gras, complexes macromoléculaires de 2 à 20 micromètres qui renferment des molécules de triglycérides en leur centre et des phospholipides, du cholestérol, des protéines et des ions métalliques en périphérie. Ces

globules gras sont en suspension dans la phase aqueuse et forment avec celle-ci une émulsion (L'enseignement de bromatologie à l'Ecole vétérinaire de Lyon, site consulté le 7 décembre 2009).

#### **I.1.4. La matière protéique**

On retrouve de la matière azotée non protéique (MANP) et des protéines. La MANP représente environ 1,5g/L de lait. Elle est très importante car métabolisée par les microorganismes. Ce sont des molécules de petites tailles, solubles, donc appartenant à la phase aqueuse. Parmi la MANP, on compte l'urée, l'ammoniac, des petits peptides. Lorsqu'on fait coaguler le lait, la MANP reste dans la fraction aqueuse, c'est-à-dire le lactosérum, il n'y en a donc que peu dans le fromage.

Parmi les protéines, on retrouve deux types majeurs :

- Les protéines solubles. Elles représentent 20% de la quantité totale de protéine en masse. On retrouve les immunoglobulines, les lactoferrines...
- Les caséines. Ce sont des protéines spécifiques du lait, entièrement synthétisées par la mamelle et elles sont majoritaires (80%). Elles constituent un ensemble de protéines associées entre elles, mais aussi avec des éléments minéraux. Elles forment une suspension colloïdale de micelles de caséine. Ces protéines sont insensibles à la chaleur et sont les plus intéressantes pour la transformation fromagère. Les différents types de chaîne sont :
  - Les chaînes du type S :
    - $\alpha$ S1, il y en a 33g pour 100g de caséine. Cette caséine est susceptible à l'action des protéases.
    - $\alpha$ S2, il y en a 11g pour 100g de caséine. C'est la plus hydrophile des caséines et elle est très sensible à l'action des ions calcium (précipitation).
  - Les chaînes du type  $\beta$  : il y en a également 33g pour 100g de caséine. Elle peut subir l'action des protéases et donner des fragments que l'on appelle caséines gamma.

- Les chaînes du type  $\kappa$  : il y en a 11 g pour 100g de caséine. C'est une glycoprotéine qui renferme 5% des saccharides. Elle est insensible au calcium contrairement au type S.

Les protéines s'organisent donc en micelle avec un cœur hydrophobe contenant les parties hydrophobes des chaînes  $\alpha_S$  et  $\beta$ , et une couronne périphérique hydrophile, avec les caséines  $\kappa$ , et les parties hydrophiles des chaînes  $\alpha_S$  et  $\beta$ . Ces micelles mesurent de 30 à 300 nm et peuvent constituer des pelotes de protéines associées entre elles par des éléments minéraux (calcium, phosphate) (Protéines alimentaires, site consulté le 7 décembre 2009).

### **I.1.5. La matière glucidique**

On retrouve essentiellement du lactose à environ 50g/L dans le lait de vache. Il est synthétisé dans la mamelle à partir du glucose sanguin. Il est important dans l'industrie car son utilisation par les bactéries permet de former progressivement de l'acide lactique. Cette production d'acide entraîne une baisse du pH et donc la formation du caillé, puis du fromage.

Lorsque la coagulation est enzymatique, le lactose n'est que peu utilisé et il se retrouve en grande partie en solution dans le lactosérum, on ne le retrouve donc que peu dans le fromage. Cependant la faible partie présente dans le fromage est utilisée par le métabolisme des bactéries et produits des composés pouvant intervenir dans la flaveur du fromage.

Lorsque la coagulation est lactique, les bactéries (qui peuvent être des ferments lactiques) métabolisent le lactose en acide lactique, faisant ainsi baisser le pH. A pH = 4,6 qui correspond au point isoélectrique de la caséine, les micelles vont se lier par des interactions hydrophobes (liaison faible, réversible) en retenant dans leur réseau les globules gras, les micro-organismes, les vitamines, toutes les particules qui peuvent être retenues dans les mailles du réseau caséinique. On obtient un gel: c'est la coagulation lactique du lait (Wikipedia, site consulté le 8 décembre 2009).

## **I.2. Le fromage**

### **I.2.1. Définition**

Le fromage est un produit alimentaire obtenu à partir de lait coagulé ou de produits laitiers, puis d'un égouttage suivi ou non de fermentation et éventuellement d'affinage. Le fromage est fabriqué à partir de lait de vache principalement, mais aussi de brebis, de chèvre, de bufflonne ou d'autres mammifères (Wikipedia, site consulté le 27 novembre 2009).

### **I.2.2. Fabrication**

La fabrication du fromage se fait à partir de lait qui n'a jamais la même composition stricte. Dans un souci d'harmonisation technologique et gustative, le lait est souvent standardisé, c'est-à-dire que l'on ramène les taux de matière grasse et de protéine par centrifugation et écrémage à des taux standards prédéfinis. Ceci a pour conséquence de faciliter les processus de fabrication mais diminue toutes les différences sensorielles imputables aux différences de composition des laits. Cependant cette pratique n'est utilisée que pour certains fromages sans appellation.

Différentes étapes se succèdent ensuite pour la fabrication du fromage :

- La coagulation, en deux phases par action de la présure et/ou de ferments lactiques

#### **La phase primaire ou phase enzymatique**

La présure est une substance issue de la caillette de veau, de chevreaux, ou d'agneaux non sevrés (Wikipedia, site consulté le 2 décembre 2009). Elle contient des enzymes, la chymosine et la pepsine, qui coupent la caséine kappa, qui porte les charges négatives et le caractère hydrophile. On obtient deux chaînes protéiques, le CMP (Caseino-Macro-Peptide) hydrophobe et neutre ainsi que le PCK (Para-Caséine-Kapa) hydrophile et chargé négativement. Les micelles de caséine perdent ainsi leur stabilité. La rapidité du déroulement dépend du pH et de la température. L'action optimale de la présure est à 40°C et à pH=5.8.

## La phase secondaire ou de formation du caillé

Les CMP vont pouvoir se rapprocher par interactions hydrophobes, puis créer des liaisons fortes : liaisons covalentes ou ioniques. Le fractionnement du phospho caséinate laisse des liaisons libres qui peuvent être occupées par le calcium ionisé (cation bivalent) qui va former des ponts calciques ; on pense possible la formation de ponts disulfures. C'est une réaction irréversible qui produit un gel souple: c'est le caillé présure. La vitesse de formation du coagulum ainsi que de son durcissement augmente avec la température. Elle est très faible à 15°C et très forte à 55°C (Cours d' Hygiène de l'Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale, reçus à l'ENVT en 2006).

Cette phase est le début de la synérèse. La synérèse est la contraction du caillé et permet l'exsudation du lactosérum, elle peut se faire grâce aux liaisons covalentes et ioniques qui se forment entre les molécules de CMP. Cette propriété est très utilisée en fromagerie. La découpe du caillé permet d'augmenter la surface d'exsudation et permet donc un meilleur égouttage du caillé. Le chauffage du caillé permet également une exsudation accrue du lactosérum.

- Le décaillage, consiste à découper le caillé en grain de petites tailles, soit à l'aide d'une tranche caillé, soit à la main. Il est facultatif, et permet une séparation plus facile des deux phases : le caillé et le lactosérum.
- L'égouttage, faisant intervenir ou non un pressage, permet l'évacuation du lactosérum.
- Le moulage va donner sa forme au fromage.
- Le salage s'effectue par frotage de la croûte avec du gros sel, ou en plongeant les fromages dans une solution de saumure.
- L'affinage, période de maturation pendant laquelle le fromage reçoit de nombreux soins en cave. Le sel « migre » dans la pâte et la croûte commence à se former. La caséine va subir des réactions chimiques successives qui vont engendrer une saveur et une texture agréables au palais. C'est la présure ayant servi à cailler le lait qui déclenche le processus. Le relais est ensuite pris par les ferments naturels du lait qui jouent un rôle prédominant dans l'éclosion de saveurs typiques de chaque terroir. Enfin, ce sont les ferments de la croûte,

autrement dit les bactéries et champignons, qui complètent et achèvent ce processus de maturation appelé « protéolyse ».

La durée de l'affinage varie d'un fromage à un autre (de quelques semaines pour un Camembert à plusieurs mois pour une pâte cuite) et évolue différemment en fonction du type de pâte : les pâtes pressées ne s'affinent que de l'intérieur, les pâtes persillées de l'intérieur vers l'extérieur et les pâtes molles de l'extérieur vers l'intérieur.

### I.2.3. Les différents types de fromages en fonction du type de pâte.

Tableau 1. Les différents types de fromage en fonction du type de pâte (Wikipédia, site consulté le 2 décembre 2009).

<b>Type de pâte</b>		<b>Fromages les plus connus de la catégorie</b>
Pressée	non cuite	Cantal, Bethmale, Laguiole, Morbier, Ossau Iraty, Salers, Saint Nectaire, Tomme de Savoie
	demi-cuite	Abondance, Leerdammer, Pyrénées vache et mélange
	cuite ou pâte dure	Beaufort, Comté, Emmental, Gruyère, Parmesan
Molle	à croute fleurie	Brie, Brique chèvre ou brebis, Camembert, Coulommiers, Pérail, Saint Marcellin, Valençay
	à croute lavée	Epoisses, Livarot, Maroilles, Munster, Pont l'Evêque, Reblochon, Mont d'Or
	à croute naturelle	Crottin de Chavignol
Fraiche	à pâte fraîche	Brocciu, Faisselle, Mascarpone, Picodon, Ricotta, Rocamadour, Tomme fraîche d'aligot
	à pâte filée	Mozarella
	à pâte fondue	La vache qui rit, Kiri
Persillée		Bleu d'Auvergne, Fourme d'Ambert, Gorgonzola, Roquefort, Saint Agur

- Pâte **pressée** : se dit d'un fromage dont le caillé est pressé au moment du moulage afin d'éliminer le maximum de lactosérum. puis laissé à l'affinage.
  - **Non cuite** : se dit d'un fromage dont le caillé n'a subi aucun chauffage au moment de son tranchage
  - **Cuite** : se dit d'un fromage dont le caillé a subi un chauffage au moment de son tranchage
    - Lorsqu'il est **thermisé**, le lait est chauffé à environ 65 °C, ce qui ne détruit qu'une partie de la flore
    - Lorsqu'il est **pasteurisé**, le lait est chauffé de 72 à 85 °C pendant 20 secondes maximum, puis refroidi immédiatement à 4 °C. Cette procédure détruit la flore naturellement présente dans le lait, et nécessite donc un réensemencement en flore standardisée, ce qui peut avoir pour les industriels l'avantage économique d'obtenir un goût régulier et une texture régulière
- Pâte **molle** : se dit d'un fromage qui ne subit au moment de sa fabrication ni chauffage, ni pressage. La pâte est alors onctueuse voire coulante à pleine maturation du fromage
  - A croûte **fleurie** : s'applique à un fromage dont la croûte à un aspect duveteux allant du blanc au doré
  - A croûte **lavée** : s'applique à un fromage dont la croûte subit, au cours de l'affinage, des lavages et brossages qui favorisent le développement d'un goût plus prononcé. La phase de lavage à l'eau tiède salée permet d'accélérer et maintenir la formation d'une croûte souple et d'affirmer davantage les saveurs. Le fromage gagne une croûte moelleuse et épaisse, d'un aspect lisse et brillant et d'une belle couleur jaune
  - A croûte **naturelle** : catégorie de fromages à part, en raison de l'origine de leur lait, qui, la plupart du temps provient de chèvres. On peut alors s'attendre à des propriétés différentes des fromages, aussi bien sur le plan rhéologique que gustatif.
- Pâte **fraîche** : La pâte fraîche est la base de tout fromage, et existe au début de tout processus de fabrication, avant toute fermentation et tout affinage. La pâte fraîche est faite à partir de lait et pour certains de petit-lait (lactosérum) tiré du lait entier ou écrémé comme le fromage à la crème. D'autres peuvent être enrichis de crème. Le

caillage du lait est obtenu par l'ajout de culture bactérienne et de présure au lait (par chauffage pour le petit lait), puis s'amorce un processus d'égouttage léger qui permet d'obtenir une pâte d'une consistance plus ferme tout en lui conservant un taux d'humidité très élevé, de 60 à 80% et une teneur en matière grasse réduite, de 0,5 à 30%.

- A pâte **filée** : obtenu par pétrissage et étirement du caillé jusqu'à consistance désirée. Le lait est caillé, puis découpé en petits morceaux, pour être mélangé avec du petit-lait. La pâte obtenue est chauffée et travaillée mécaniquement jusqu'à l'obtention d'un ruban qui est étiré (filé) et coupé avant d'être pressé dans des moules de formes diverses.
- A pâte **fondue** : fromage industriel fabriqué à partir d'autres fromages dont on a refondu la pâte
- Pâte **persillée** : Le caillé estensemencé et percé pour que le champignon se développe. L'ensemencement est un procédé propre à la fabrication de certains fromages et qui consiste à incorporer des moisissures ou des ferments lactiques dans le lait. Les ferments lactiques sont des bactéries capables de provoquer la fermentation du lait.

### **I.3. Texture et flaveur**

La **texture** est l'ensemble des propriétés rhéologiques (résistance à l'écoulement) et de structure (géométrie et surface) d'un produit alimentaire perceptible par les mécanorécepteurs, les récepteurs tactiles et éventuellement les récepteurs visuels et auditifs (Wikipedia, site consulté le 1<sup>er</sup> septembre 2009).

La **flaveur** correspond à l'ensemble des sensations perçues lors du flairage ou de la mise en bouche de l'aliment, à savoir les sensations rétro-olfactives, gustatives et trigéminales. Ces sensations sont le résultat de stimuli générés par une multitude de composés organiques. Les molécules les plus volatiles, comme les huiles essentielles par exemple, sont les premières détectées. Ce n'est qu'au cours de la mastication que les autres molécules, non volatiles, parviendront à s'évaporer et à atteindre les fosses nasales. Elles sont responsables de la saveur et de la couleur (Wikipedia, site consulté le 1<sup>er</sup> septembre 2009).

Ce sont des molécules qui donnent donc le **goût** à l'aliment, et on donne historiquement 4 saveurs primaires pour le qualifier : le sucré, le salé, l'amer et l'acide. Mais ne considérer que ces quatre saveurs est assez réducteur puisqu'il en existe d'autres qui sont très dissociables, comme l'umami (savoureux), le piquant, ou encore une saveur métallique, astringente, grasse ou d'amidon.

Les attentes du consommateur sont très précises en ce qui concerne les fromages, en France tout du moins. Cependant d'une personne à l'autre ces attentes peuvent être légèrement différentes, c'est pourquoi il est parfois difficile de dire si une texture ou une flaveur est plutôt bonne ou mauvaise. Mais de manière générale, il existe des « règles » qui semblent universelles (observations de l'entourage). Ainsi un fromage fruité, herbacé, sucré, avec un goût très aromatique, très affiné, et un léger goût de noisette ou de citron, sera qualifié de bon. Alors qu'un fromage avec une odeur d'ammoniac, un goût de rance, ou de pourri sera mauvais.

Certaines saveurs en revanche comme l'acide, l'amer et le piquant, ne font pas l'unanimité. Il est donc difficile de dire si un fromage avec une pointe d'amertume va plutôt plaire ou déplaire au consommateur. Cependant il paraît logique que si ces saveurs sont présentes mais avec une perception minime, cela ne va pas changer du tout au tout le goût de base du fromage. Il faut également qu'il y ait une harmonie dans le goût global, ainsi si un fromage ne présente que des saveurs amère et acide sans une pointe de sucré, il est peu probable qu'il corresponde au goût du consommateur.

En ce qui concerne la texture, les attentes sont différentes, en fonction du type de fromage. Un fromage à pâte cuite pressée sera forcément plus dur et ferme qu'un fromage à pâte cuite non pressée. Ainsi par exemple pour un Cantal on s'attendra à une texture dure, ni trop ferme ni trop molle, plutôt cassante. Un Camembert sera lui plus ou moins collant, fondant, moelleux, lisse, facile à étendre, mais non huileux ou granuleux.

La couleur tient également un rôle important dans la flaveur puisque c'est elle que l'on perçoit en premier. Une pâte trop pâle n'est pas très alléchante pour le consommateur, celui-ci préfère en effet une pâte jaune.

Une revue de Lavanchy *et al.* (1993) fait le point sur les connaissances à propos de l'évaluation sensorielle et de la texture des fromages. L'évaluation de la texture d'un aliment donné est basée, d'une part, sur le choix des caractéristiques sensorielles à percevoir, et

d'autre part sur la formation et l'entraînement du panel de dégustation. Un schéma reprend les différents paramètres observés lors d'une évaluation (Figure 1).

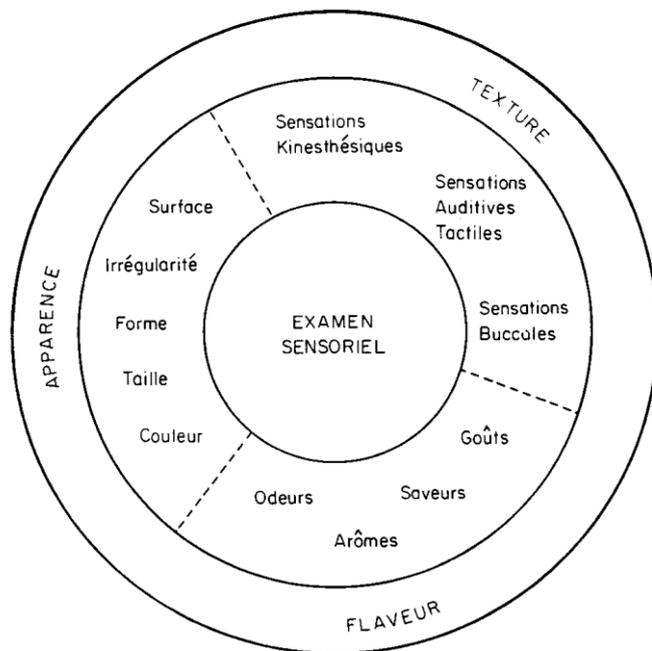


Figure 1. Les caractéristiques sensorielles de l'appréciation des fromages (Lavanchy *et al.*, 1993).

Le plus souvent dans l'appréciation d'un fromage, la texture joue un rôle important. Par la nature des perceptions qu'elle regroupe elle mérite une place qui lui est propre entre l'apparence et la flaveur. Pour les fromages, la texture contribue le plus souvent à l'expression de l'arôme : à l'extrême elle emprisonne l'arôme qui ne sera libéré que par saccades au gré de la mastication. Par ailleurs, la texture peut atténuer, « amortir » un défaut d'arôme en l'empêchant de s'exprimer pleinement. Ainsi dans l'appréciation des fromages, la texture occupe une place non négligeable (Lavanchy *et al.*, 1993).

Lors de la dégustation, le panel de consommateur va donner une appréciation globale au fromage, dire s'il est plutôt intense en goût ou non, plus ou moins acide, piquant, salé, mais il existe également des tendances plus légères qui donnent au fromage tout son caractère. Le vocabulaire utilisé par les juges d'olfaction est alors très précis. Dans un article, Cornu *et al.* (2007), classent des exemples de noms d'odeurs données aux fromages en fonction du pôle lexical (Tableau 2).

Tableau 2. Classement par pôles du vocabulaire utilisé par les juges d'olfaction (a : abréviation désignant les pôles lexicaux) (Cornu *et al.*, 2007).

Pôles lexicaux	a	Vocabulaire (exemples)
Animal	An	Poisson, rat, souris, pieds, vomi, urine, fécal
Fromager, lactique, fermenté	Fr	Lait, beurre, yaourt, fromage, acide, alcool, bière
Chimique	Ch	Plastique, solvant, colle, peinture, chlore, caoutchouc
Fruité, floral	Ff	Fleurs, fruits, bonbon
Végétal, légume	Vl	Herbe, pomme de terre, artichaut
Empyreumatique, épicé	Em	Grillé, brûlé, chocolat, noisette, gâteau, pop corn
Souffré	So	Soufre, gaz, œuf dur, œuf pourri
Boisé,	Bo	Bois, sous-bois, champignon, liège
Indéfini		Ne sait pas

Les différences de flaveur observées ne sont cependant pas seulement perceptibles par un jury expérimenté (Dubroeuq *et al.*, 2002), les consommateurs sont susceptibles de percevoir les nuances de flaveur des fromages et portent un intérêt au goût de celui-ci.

## II. Les principales différences de texture et de flaveur observées en fonction de l'alimentation

La plupart des travaux relatifs à l'effet de l'alimentation des animaux sur la qualité des produits laitiers concernent l'influence du niveau des apports nutritifs et des grands types de régime sur les teneurs en composés majeurs du lait, protéines et matières grasses. Les variations de ces teneurs peuvent avoir des conséquences considérables sur les rendements fromagers et ce sont ces paramètres qui préoccupent en priorité les fromageries. Cependant depuis une quinzaine d'années, l'intérêt que portent les consommateurs à l'alimentation est grandissant et de nombreuses études se sont penchées sur le sujet. Les consommateurs ont pour habitude de dire que les fromages issus d'une alimentation à base d'ensilage sont moins bons que ceux élaborés à partir de lait de vache qui pâturent en montagne. Ces données sont très subjectives et nous allons voir ce qu'il en est au travers des publications récentes.

## II.1. Première approche

Les données empiriques sur l'effet de la nature de l'alimentation composée essentiellement de fourrages pâturés ne manquent pas. Une enquête réalisée auprès de producteurs du Massif Central montre que l'alimentation est le facteur de variation de la qualité sensorielle des fromages le plus important. Cela concerne aussi bien la nature des concentrés et des fourrages que le stade et la nature des plantes pâturées (Gagnaire et Vanhaecke, 1998). Une fabrication plus traditionnelle de fromage comparée à une fabrication dans un système plus intensif (part de concentré importante, vêlages plus précoces en hiver, présence de vaches Holstein, traite bien maîtrisée), donnerait des fromages plus typés (odeur intense et persistante, texture collante et fondante, goût intense et persistant, typique, salé et acide) que les autres, plus neutres (odeur peu intense, texture ferme et goûts peu marqués) (Agabriel *et al.*, 2000). Une autre étude (Bonnefoy *et al.*, 2002) obtient des résultats légèrement différents quant à l'effet d'un système de production extensif ou intensif. Les fromages issus d'un système de production extensif sont plus élastiques, légèrement moins piquants et amers, et les odeurs et arômes ont été légèrement moins intenses.

L'apport de concentré dans la ration présente également une image d'intensification des productions et n'est pas vraiment bien perçu par le consommateur. Cependant selon Claps *et al.* (2005), les caractéristiques des laits ne seraient pas modifiées avec l'apport de concentré dans la ration, et la production légèrement augmentée. Selon eux, cet apport de concentré donnant beaucoup d'énergie, l'animal peut ensuite trier son alimentation, préférant ainsi la qualité (parties renfermant les fleurs et l'apex des plantes) sur la quantité. Une autre étude montre en revanche qu'un plus gros apport de concentré dans la ration donne des fromages moins fruités (Martin *et al.*, 2003b).

De nombreuses variables entrent en jeu pour modifier la texture et la flaveur des fromages. Des auteurs (Verdier Metz *et al.*, 2002b) s'accordent pour dire que l'effet de la technologie mise en œuvre pour l'élaboration du fromage, ou encore l'effet de la race sont des critères qui ont plus d'influence sur les caractères gustatifs des produits laitiers obtenus que l'effet de l'alimentation. Cependant le type d'alimentation offert aux animaux peut avoir une part non négligeable dans la texture et la flaveur du fromage et c'est ce que nous allons analyser ici.

## **II.2. Effet de la nature de la ration de base, ensilage de maïs versus herbe (foin ou ensilage)**

Certains fromagers 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.

L'effet de l'utilisation de l'ensilage de maïs dans la ration a été testé dans des travaux qui ont comparé des fromages obtenus avec du lait de vaches nourries exclusivement avec de l'ensilage de maïs ou avec des rations à base d'herbe distribuée sous forme de foin (Verdier *et al* 1995) ou d'ensilage (Houssin *et al* 2002, Hurtaud *et al* 2004, Verdier *et al*, 1995). Des fromages ont été fabriqués selon la même technologie fromagère avec ces laits issus d'une alimentation différente, des Camemberts pour l'étude de Houssin et al, des Camemberts et des Ponts l'évêque pour l'étude de Hurtaud et al, et des Saint Nectaire pour l'étude de Verdier et al.

La différence la plus marquante entre une alimentation à base d'herbe ou à base d'ensilage de maïs est la couleur de la pâte, celle-ci est beaucoup plus blanche avec une alimentation à base d'ensilage de maïs, sans doute en raison de la plus faible teneur en caroténoïdes dans cette plante comparativement à l'herbe. Les fromages à base d'herbe sont globalement plus appréciés des dégustateurs, et l'on retrouve une texture plus crémeuse et fondante sur les Camemberts avec un goût plus prononcé. Le tableau 3 montre les notes obtenues des fromages issus des plans d'alimentation différents.

Tableau 3. Effet de la nature du fourrage sur les notes de caractéristiques sensorielles du fromage (Verdier Metz *et al.*, 1995)

Caractéristiques	Ensilage d'herbe	Foin	Ensilage de maïs
intensité de la couleur	<b>6,53</b>	<b>5,91</b>	<b>4,62</b>
élasticité	5,15	5,3	4,98
fermeté visuelle	<b>5,35</b>	<b>4,91</b>	<b>5,46</b>
intensité de l'odeur	4,09	4,16	4
collant	<b>2,07</b>	<b>3,26</b>	<b>2,4</b>
fondant	3,44	3,82	3,35
fermeté en bouche	<b>5,11</b>	<b>4,3</b>	<b>5,33</b>
granuleux	1,24	1,15	1,66
intensité du goût	5,19	4,91	4,83
goût acide	1,58	1,47	1,44
persistance du goût	5,16	5,17	4,92
appréciation globale	<b>3,93</b>	<b>4,92</b>	<b>4,36</b>

Les valeurs significativement différentes sont en gras. Les notes sont sur 10 points.

Dans l'étude de Verdier-Metz *et al* (1995), les plus grosses différences observées l'ont été au niveau de la texture. Les fromages fabriqués avec du lait issu d'une alimentation à l'ensilage de maïs étaient plus fermes. Ils étaient également plus granuleux, moins acides, avaient un goût moins intense, qui persistait moins en bouche, et étaient globalement moins appréciés des dégustateurs.

Les observations réalisées en exploitations par Tosso 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, ces auteurs 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'atténuaient. Chez la chèvre, des résultats récents ont montré que le foin de luzerne, comparativement à l'ensilage de maïs, conduisait à des fromages ayant une saveur plus intense (Gaborit *et al* 2002). Chez la brebis, l'utilisation de l'ensilage de maïs n'a pas eu de conséquences sur les caractéristiques sensorielles des fromages (Cavani *et al* 1991). Le tableau 4 fait une synthèse des différentes études qui ont comparé les caractéristiques sensorielles de fromages issus d'alimentation à base d'ensilage de maïs ou d'herbe.

Publication	Année	Alimentation 1	Alimentation 2	Production	Fromage issu du plan d'alimentation 2, comparativement au 1		
					Couleur	Texture	Odeur, arôme, goût
<b>Verdier <i>et al</i></b>	1995	ensilage maïs	ensilage d'herbe	Saint Nectaire	plus jaune et coloré (19%)	moins collant (3%)	
<b>Verdier <i>et al</i></b>	1995	ensilage maïs	foin d'herbe	Saint Nectaire	plus jaune	plus collant (9%) moins ferme (10%)	
<b>Houssin <i>et al</i></b>	2002	ensilage maïs	ensilage d'herbe	Camembert		moins dur (8%) plus lisse (9%) plus fondant (8%)	plus affiné (10%) plus aromatique (13%)
<b>Hurtaud <i>et al</i></b>	2004	ensilage maïs	ensilage d'herbe plus foin	Camembert	plus jaune	aspect moins apprécié (8%) plus fondant (8%) plus collant (4%)	plus d'odeur d'ammoniac (26%) goût plus acide (14%) aromaticité plus prononcée (7%)
<b>Hurtaud <i>et al</i></b>	2004	ensilage maïs	ensilage d'herbe plus foin	Pont l'Eveque	plus jaune	aspect plus apprécié (8%) plus fondant (19%)	
<b>Carpino <i>et al</i></b>	2004	ration complète : 20% foin 24% ensilage maïs 56% concentré	ration complète id plus pâture	Ragusano	plus jaune	moins huileux (3%) plus friable (5%)	odeur herbacée et florale plus prononcée (4 et 5% respectivement)
<b>Gaborit <i>et al</i></b>	2002	ensilage maïs	foin de luzerne	fromage de chèvre frais			flaveur plus intense (5%), plus rance (6%) et amer (2%)
<b>Gaborit <i>et al</i></b>	2002	ensilage maïs	foin de luzerne	fromage de chèvre affiné			flaveur plus rance (6%) plus piquante (9%) goût plus amer (7-11%)

Tableau 4. Effet du type d'alimentation sur la texture et la flaveur du fromage, comparaison d'une alimentation à base d'herbe ou d'ensilage de maïs (Martin et al., 2005). Les pourcentages entre parenthèses représentent les différences de notes données par le panel de dégustateurs entre les plans d'alimentation 1 et 2.

### II.3. Effet du mode de conservation de l'herbe

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 (Urbach, 1990), en particulier en fabrication de pâte pressée cuite où la présence de spores butyriques dans l'ensilage et dans le lait peut conduire à des problèmes importants sur les fromages affinés, comme un gonflement tardif des meules, un mauvais goût et une mauvaise odeur (Demarquilly, 1998). Lorsque les ensilages sont de bonne qualité, les résultats semblent différents. Dans un essai de Verdier-Metz *et al.* (1998), 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). Dans les deux cas, la qualité de conservation a été excellente et les apports nutritifs offerts aux animaux ont été calculés pour être équivalents.

Des fromages de Saint-Nectaire ont été fabriqués dans une fromagerie expérimentale à partir du lait des vaches ayant consommé l'un ou l'autre des types de fourrages. Les fromages 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 (Tableau 5, essai 1). Ce résultat expérimental a été confirmé par des observations en fermes (Agabriel *et al.*, 1999). Ces travaux montrent que lorsque la conservation du fourrage est correctement réalisée 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 du fromage.

Il est cependant possible que les effets de la conservation de l'herbe sous forme d'ensilage ou de foin soient variables selon le type de fromage. Dans un autre essai, Verdier-Metz *et al.* (2005), ont montré que la distribution d'ensilage d'herbe comparativement à du foin entraînerait des différences sensorielles plus significatives sur des fromages de type Cantal que sur des fromages de type Saint-Nectaire. En effet pour le Cantal, les fromages à base de foin ont été caractérisés par des odeurs « beurre » et « herbe », des arômes « agrumes », « foin », « noisette », et une flaveur plus persistante que les fromages à base d'ensilage d'herbe. Ces derniers ont révélé une odeur d' « alcool », un arôme « chimique » et une texture moins fondante et moelleuse (Tableau I en annexe).

En revanche, dans une autre étude (Verdier Metz *et al.*, 2000a), d'importantes différences de caractéristiques sensorielles ont été observées entre des fromages 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 un pâturage de montagne (Tableau 5, essai 2).

Tableau 5. Effet de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fromages (Verdier-Metz *et al.*, 1998 et 2000a).

Ration	Essai 1		Essai 2	
	Ensilage d'herbe	Foin	Ensilage d'herbe	Pâturage
<i>Lait</i>				
Taux butyreux (g/kg)	35,3	36,3	36,4	37,1
Taux protéique (g/kg)	33,6	33,5	28,7**	33,6
<i>Fromage</i>				
Extrait sec (%)	54,6	54,8	52,6	52,7
Gras/sec (g/kg)	52,3	52,0	54,1**	50,5
Indice de jaune (Index de colorimétrie)	32,9**	29,9	24,7**	30,5
Texture ferme	4,6	4,5	4,3**	3,4
Texture collante	3,1	3,3	4,1*	3,5
Intensité du goût	5,4	5,3	5,0**	5,6
Intensité de l'odeur	5,2	5,2	4,6	4,4
Odeur piquante	-	-	1,3**	0,2
Amertume	3,5	3,2	1,5*	1,9

\* : P < 0,05 ; \*\* : P < 0,01.

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 beaucoup moins piquante, moins aigre et moins fruitée que ceux issus des laits hivernaux (Verdier-Metz *et al* 2000a). Des résultats voisins ont été obtenus par Buchin *et al* (1998) dans un essai comparant des fromages de Comté réalisés à partir de lait produit par des vaches recevant des rations à base de foin ou conduites sur un pâturage de printemps. Ces travaux confirment les observations des producteurs fermiers lors de la mise à l'herbe des vaches laitières.

Récemment, Carpino *et al* (2004) ont montré, en conditions de pâturage sicilien, qu'il suffisait de 3 kg MS d'herbe ingérés en plus d'une ration complète (à base de foin, d'ensilage de maïs et de concentrés) pour que les fromages soient plus jaunes, moins fermes, avec des odeurs plus « herbacées » et « florales ».

Le tableau 6 reprend les différences observées sur la texture et la saveur du fromage dans les études qui ont comparé une alimentation à base d'herbe fraîche ou conservée.

Publication	Année	Alimentation 1	Alimentation 2	Production	Fromage issu du plan d'alimentation 2, comparativement au 1		
					Couleur	Texture	Odeur, arôme, goût
<b>Buchin <i>et al</i></b>	1998	pâturage de printemps	foin	Morbier			odeur et arôme de lait plus forts (5%) arôme d'engrais plus fort (5%)
<b>Verdier Metz <i>et al</i></b>	2000a	prairie	foin	Saint Nectaire	moins jaune		odeur plus aigre (7%) goût moins salé (4%)
<b>Verdier Metz <i>et al</i></b>	2002	pâturage de printemps	ensilage d'herbe	Saint Nectaire	moins jaune	moins ferme (9%)	goût moins intense (6%) plus fondant (6%) moins typique (4%) moins aigre (7%) moins amer (4%) odeur plus piquante (11%) plus aigre (5%) plus fruitée (6%)
<b>Verdier Metz <i>et al</i></b>	2002	pâturage de printemps	foin + concentré	Cantal	moins jaune	meilleure tenue à l'écrasement	arôme plus rance (8%) plus amer (11%)
<b>Soryal <i>et al</i></b>	2004	pâturage	foin de luzerne	fromage de chèvre			flaveur moins prononcée (6%)
<b>Verdier Metz <i>et al</i></b>	1998	foin	ensilage d'herbe	Saint Nectaire	plus jaune		plus amer (3%)
<b>Verdier Metz <i>et al</i></b>	2005	foin	ensilage d'herbe	Saint Nectaire	plus jaune	plus âpre (3%)	arôme moins rance (5%)
<b>Verdier Metz <i>et al</i></b>	2005	foin	ensilage d'herbe	Cantal	plus jaune	moins fondant (10%) moins mur (9%)	odeur de beurre et d'herbe moins prononcée (10 et 7%) moins d'arôme de citron (7%) odeur plus chimique (6%) et moins persistante (6%)

Tableau 6. Effet du type d'alimentation sur la texture et la flaveur du fromage, comparaison d'une alimentation à base d'herbe fraîche ou conservée (Martin *et al.*, 2005). Les pourcentages entre parenthèses représentent les différences de notes données par le panel de dégustateurs entre les plans d'alimentation 1 et 2.

Ces travaux mettent en évidence l'effet important de la conservation du fourrage (vert ou conservé) sur les caractéristiques des fromages affinés. Cependant le mode de conservation du fourrage au sens strict (séchage, fermentation), lorsqu'il est correctement réalisé et que les rations alimentaires associées sont correctement élaborées, n'a qu'un effet limité (en dehors de la couleur de la pâte) sur les caractéristiques des fromages. En pratique, cette maîtrise de la qualité de conservation des fourrages n'est pas toujours atteinte.

#### II.4. Effet de la composition botanique de l'herbe

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 les caractéristiques sensorielles de différents types de fromage, généralement à pâte pressée cuite. Un schéma résume la différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages selon la nature des fourrages.

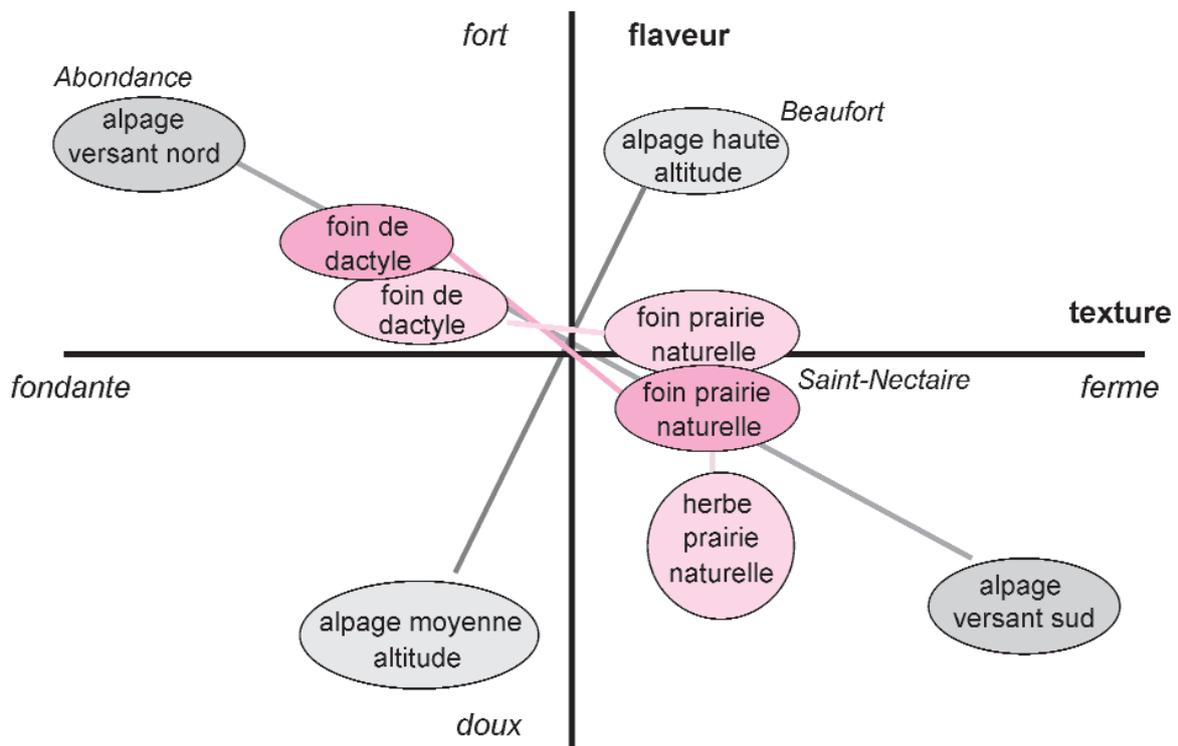


Figure 2. Différenciation des caractéristiques sensorielles (flaveur et texture) de différents fromages selon la nature des fourrages. Représentation schématique de résultats obtenus dans de nombreux essais cités dans le texte de Coulon *et al.* (2005).

Un premier essai (Buchin *et al* 1999), réalisé chez un producteur d'Abondance fermier, a consisté à comparer les caractéristiques de fromages fabriqués lorsque son troupeau

a pâturé successivement les deux versants d'un même alpage, puis est revenu sur une zone du premier versant où les vaches n'avaient pas accès lors du premier passage. Sur le versant sud, la végétation était composée d'un tapis de graminées (55%) dominées par *Festuca rubra* et *Agrostis capillaris* et clairsemé de nombreuses autres espèces (52 espèces), tandis que le versant nord était constitué de pelouses à dominante d'*Agrostis vulgaris* et de *Nardus stricta* et d'une zone humide dominée par des mousses, des carex et des renoncules. On note que le versant sud présente une diversité botanique beaucoup plus importante, le tableau 7 reprend la composition botanique de chaque prairie.

Tableau 7. Liste des espèces végétales présentes sur les pâtures alpines de l'étude (Buchin *et al.*, 1999). Les valeurs sont données en pourcentage pour chaque prairie.

Sud		Nord			
Pente (100% de la prairie)		Pente (55% de la prairie)		Zone humide (45% de la prairie)	
12 espèces de Graminées	54,9	9 espèces de Graminées	50,1	7 espèces de Graminées	15,8
<i>Festuca rubra</i>	30,9	<i>Agrostis capillaris</i>	16,4	<i>Festuca pratensis</i>	5,5
<i>Agrostis capillaris</i>	10,3	<i>Nardus stricta</i>	13,3	<i>Deschampsia flexuosa</i>	4,1
<i>Dactylis glomerata</i>	3,9	<i>Dactylis glomerata</i>	9,8	<i>Molinia caerulea</i>	2,8
<i>Cynosurus cristatus</i>	2,8	<i>Cynosurus cristatus</i>	5		
<i>Phleum alpinum</i>	2,3	<i>Festuca rubra</i>	3,6	18 autres espèces	82,2
				<i>Moss</i>	24,6
52 autres espèces	41,3	32 autres espèces	43,7	<i>Ranunculus aconitifolius</i>	9,4
<i>Thymus serpyllum</i>	5,4	<i>Carex montana</i>	5,3	<i>Carex paniculata</i>	7,2
<i>Chamaespartum sagittale</i>	3	<i>Potentilla tormentilla</i>	4,5	<i>Catha palustris</i>	5,1
<i>Alchemilla xanthochlora</i>	2,4	<i>Trifolium pratense</i>	4,2	<i>Mentha longifolia</i>	5,1
<i>Potentilla aurea</i>	2,3	<i>Plantago alpina</i>	3,8	<i>Satureia montana</i>	4,1
		<i>Moss</i>	2,8	<i>Crepis paludosa</i>	4
absence de végétation	3,8	<i>Crepis aurea</i>	2,7	<i>Potentilla tormentilla</i>	3,7
		<i>Potentilla aurea</i>	2,5	<i>Carex panicea</i>	2,8
		absence de végétation	6,2	absence de végétation	2

Les deux séries de fromages réalisés lorsque les animaux pâturaient le versant sud de l'alpage s'opposent aux fromages du versant nord. Les différences les plus importantes concernent la texture : les fromages du versant nord ont été moins fermes, plus fondants et plus pâteux. Sur le plan des arômes et des saveurs, les fromages du versant nord ont été

globalement plus « corsés » (plus salés et amers, avec des arômes aigre, d'étable et de sueur) et ceux du versant sud plus « doux », avec des arômes de fruits plus développés (Tableau 8).

Tableau 8. Propriétés sensorielles des fromages affinés fabriqués avec les laits des vaches ayant pâturé sur des prairies alpines différentes (Buchin *et al.*, 1999). Les valeurs sont sur 7 points, et sont la moyenne de 3 échantillons par période de fabrication de fromage.

	Sud 1	Nord	Sud 2	RSD	Significatif
Texture					
Dureté	4.24 <sup>b</sup>	3.62 <sup>a</sup>	4.42 <sup>b</sup>	0.85	***
Collant	3.27 <sup>a</sup>	3.76 <sup>b</sup>	3.29 <sup>a</sup>	0.79	*
Granuleux en bouche	1.73 <sup>b</sup>	1.59 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>	0.43	***
Structure fine	1.42 <sup>a</sup>	1.86 <sup>b</sup>	1.45 <sup>a</sup>	0.56	**
Microstructure granuleuse	2.61 <sup>b</sup>	1.74 <sup>a</sup>	2.55 <sup>b</sup>	1.10	**
Goût					
Salé	4.12 <sup>a</sup>	4.70 <sup>b</sup>	3.94 <sup>a</sup>	0.72	***
Intensité	1.83 <sup>a</sup>	2.58 <sup>b</sup>	2.12 <sup>a</sup>	0.84	**
Persistance	3.92 <sup>ab</sup>	4.20 <sup>b</sup>	3.55 <sup>a</sup>	0.96	*

a,b,c Les valeurs avec une lettre différente sont significativement différentes.  $P < 0,05$ .

\*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Un deuxième essai (Martin *et al* 2001) a été réalisé en alpage chez un producteur de Beaufort, selon le même principe que l'essai 1. Il a permis de montrer des différences concernant essentiellement la flaveur : les Beaufort des pelouses « alpines » (> 2200 m, 20 espèces différentes dominées par *Nardus stricta* et *Trifolium alpinum*) ont été plus salés, plus piquants et plus acides que ceux des pelouses « moyennes » (42 espèces dont 12 graminées, sans dominance marquée). Ils ont présenté des arômes plus intenses, plus diversifiés, (notamment « animal » et épicé).

Un troisième essai (Verdier-Metz *et al* 2000b) a consisté à fabriquer un fromage à pâte pressée selon une technologie Saint-Nectaire dans une fromagerie expérimentale à partir de lait de vaches conduites dans les mêmes conditions (traite, état sanitaire, apports nutritifs, logement...), mais recevant du foin de dactyle, de prairie naturelle, ou bien de prairie naturelle riche en Ray Grass. Les fromages réalisés avec du lait issu d'une alimentation à base de foin de Dactyle se distinguent des autres par une texture plus élastique et une forte odeur de cave. Les fromages issus d'une alimentation au foin de prairie naturelle ont présenté une pâte plus jaune, de texture légèrement granuleuse, mais surtout une odeur de vinaigre et de chou prononcée.

Un autre essai de Verdier-Metz *et al.* (2002a) a également consisté à fabriquer du fromage Saint Nectaire, dans les mêmes conditions que l'essai précédent mais issus de vaches recevant du dactyle (sous forme de foin) ou de la prairie naturelle d'Auvergne (en vert ou sous forme de foin). Comparativement aux fromages de foin de dactyle, les fromages de

prairie naturelle ont été moins fondants et moins amers, avec des odeurs de rance et de moisissures moins développées. Lorsque la prairie naturelle a été offerte en vert, les fromages ont été plus salés et moins aigres que lorsqu'elle était offerte sous forme de foin.

Enfin, dans un autre essai, réalisé chez trois producteurs fermiers d'Abondance, Bugaud *et al.* (2002) ont comparé des fromages issus d'alimentation à base de prairie de plaine ou de montagne. Dix pâturages ont été étudiés et leurs caractéristiques botaniques sont résumées dans le tableau 9.

Tableau 9. Caractéristiques botaniques des pâturages de l'étude (Bugaud *et al.*, 2002).

Pâturage	V : Vallée					M : Montagne				
	VZ1	VZ2	VZ3 <sup>(1)</sup>	VX1	VX2	MX1	MX2	MX3	MY1	MY2
Altitude (m)	850	850	850	1060	1020	1600	1550 à 1600	1600 à 1800	1700 à 1850	1700 à 1750
Nombre d'espèces botaniques	16	12	14	29	21	23	23	25	26	25
Contribution des familles botaniques (% de la totalité des espèces observées)										
<i>Gramineae</i>	61	50	68	26	31	42	40	32	33	27
<i>Fabaceae</i>	18	32	18	21	19	3	19	2	1	8
<i>Apiaceae</i>	0	0	0	21	8	2	3	3	3	13
<i>Geraniaceae</i>	0	0	0	7	5	2	3	2	0	2
<i>Asteraceae</i>	14	15	11	9	8	6	9	9	19	9
<i>Plantaginaceae</i>	1	0	0	0	0	0	3	1	7	0
<i>Ranunculaceae</i> <sup>(2) (3)</sup>	5	2	2	5	8	4	2	8	2	10
<i>Rosaceae</i> <sup>(2)</sup>	1	1	1	3	9	6	11	12	7	9
<i>Autres familles</i> <sup>(2)</sup>	0	0	0	8	12	35	10	31	28	22

X, Y, Z : producteurs de fromages

<sup>(1)</sup> le troupeau a reçu, en complément de la pâture, du maïs vert représentant 25% de la ration totale.

<sup>(2)</sup> famille botanique dont la majorité des espèces ne sont pas consommées par les vaches.

<sup>(3)</sup> famille botanique dont la plupart des espèces sont toxiques pour les vaches.

Les pâturages de vallée sont plus dominés par les Graminées que ceux de montagne. Ces derniers ont une diversité botanique légèrement plus importante, plus de Renonculacées et de Rosacées, et présentent une petite proportion de plantes toxiques pour les vaches.

L'analyse sensorielle des fromages a clairement montré qu'à côté de différences d'un producteur à l'autre, il existait des écarts importants pour un même producteur selon les caractéristiques des prairies pâturées. Si les écarts les plus importants opposent les prairies de plaine à celles de montagne, il subsiste aussi une variabilité au sein des pelouses d'alpage. Les différences les plus importantes ont concerné la texture des fromages, plus cohésive, élastique et déformable en plaine qu'en montagne. Certaines différences de flaveur ont cependant été

observées, les fromages de montagne ont présenté des arômes plus fruités, plus « animal », « lait cuit », et noisette, et moins piquants et « propionique » que les fromages de vallée.

Ces résultats confirment et précisent ceux obtenus par Bosset *et al* (1999) sur des fromages de type Gruyère produits à partir de laits de plaine (Posieux) ou de montagne (l'Étivaz et Montbovon). La diversité botanique est beaucoup plus forte en montagne qu'en plaine. On compte 6 espèces différentes appartenant à 2 familles botaniques en plaine contre 50 espèces et 18 familles botaniques différentes en moyenne en montagne, avec notamment des Composées, des Renonculacées, des Rosacées ou encore des Plantaginacées (Tableau 10).

Tableau 10. Principales caractéristiques botaniques des herbages dans les quatre lieux de production (Jeangros *et al.*, 2000).

Lieu de production Altitude (m)	L'Étivaz 1 1400-1920	L'Étivaz 2 1275-2120	Montbovon 900-1250	Posieux 600-650
Nombre d'espèces (n)	49	56	54	6
Nombre de familles botaniques (n)	17	19	18	2
Graminées (%)	41	39	63	53
Cypéracées et joncacées (%)	7	6	1	0
Légumineuses (%)	7	11	7	47
Autres plantes (dicotylédones herbacées) dont:	43	43	27	0
Composées (%)	14	17	6	0
Renonculacées (%)	6	3	6	0
Rosacées (%)	7	5	2	0
Plantaginacées (%)	5	6	2	0
Ombellifères (%)	4	4	2	0
Autres (%)	7	8	9	0
Autres familles (%)	2	1	2	0

<sup>1</sup> Moyenne de l'ensemble des observations pour chaque lieu de production.  
(%) = proportion dans l'herbage.

Dans cet essai, les fromages de montagne ont présenté une saveur plus intense que ceux de plaine. Ils ont en particulier été jugés plus « animal » et plus « piquant » (Tableau 11).

Tableau 11. Paramètres chimiques et sensoriels des fromages en fonction du lieu de pâturage (Bosset *et al.*, 1999).

Paramètre	L'Etivaz 1	L'Etivaz 2	Montbovon	Posieux
Intensité olfactive (7 P)	3,71 b	3,51 ab	3,53 ab	3,26 a
Odeur animale (%J.D.)	73 b	62 b	42 a	8 a
Intensité gustative (7 P)	4,11 b	4,11 b	4,01 ab	3,61 a
Goût animal (%J.D.)	82 b	62 b	67 b	23 a
Salé (7 P)	3,77 b	3,62 a	3,47 a	3,21 a
Sucré (7 P)	1,78 a	1,82 ab	2,44 c	1,95 b
Acide (7 P)	3,16 b	3,15 b	2,87 a	2,94 ab
Piquant (% J.D.)	73 b	54 b	42 a	15 a

7 P = échelle à 7 points avec 1 = valeur la plus basse et 7 = valeur la plus élevée pour le goût et l'odeur.

J.D. = jury de dégustation, pourcentage de réponses positives.

Pour un paramètre donné, les moyennes suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes (P = 0.05).

Le tableau 12 récapitule les différents résultats obtenus dans les études qui comparent la texture et la saveur des fromages issus de pâtures de compositions différentes.

Ces différents travaux suggèrent donc que des différences sensorielles des fromages puissent être liées aux caractéristiques de l'herbe pâturée par les animaux, et plus globalement aux caractéristiques de tous les aliments proposés aux animaux. Il nous reste à voir comment les aliments et les pâturages, par leur nature (composition botanique, stade phénologique, localisation), agissent sur les caractéristiques sensorielles des fromages.

Publication	Année	Alimentation 1	Alimentation 2	Alimentation 3	Production	Fromage issu du plan d'alimentation 2, comparativement au 1	
						Texture	Odeur, arôme, goût
<b>Buchin et al</b>	1999	versant sud caractérisé par un tapis de Graminée (55%) dominé par <i>Festuca rubra</i> et <i>Agrostis capillaris</i> et clairsemé de nombreuses autres espèces (52)	versant nord avec pelouse à dominante <i>d'Agrostis vulgaris</i> et de <i>Nardus stricta</i> + zone humide dominée par mousses, carex et renoncules		Abondance	moins ferme, plus fondant et pâteux	plus corsé (plus salé et amers, avec arômes aigre, d'étable et de sueur), moins doux, arômes de fruits moins développés
<b>Martin et al</b>	2001	pelouses alpines (>2200m, 20 espèces différentes dominées par <i>Nardus stricta</i> et <i>Trifolium alpinum</i> )	pelouses moyennes (42 espèces dont 12 graminées, sans dominance marquée)		Beaufort		moins salé, piquant, et acide. Arômes moins intenses, moins diversifiés (moins animal et épicé)
<b>Verdier Metz et al</b>	2000b	foin de Dactyle	foin prairie naturelle	foin prairie naturelle riche en Ray Grass	Saint Nectaire	1 : plus élastique ; 2 : plus granuleux	1 : forte odeur de cave ; 2 : odeur de vinaigre et de choux prononcée
<b>Verdier Metz et al</b>	2002a	foin de Dactyle	prairie naturelle (en vert ou sous forme de foin)		Saint Nectaire	moins fondant	moins amer, odeur de rance et de moisi moins développée
<b>Bugaud et al</b>	2002	prairie de plaine (dominée par les Graminées)	prairie de montagne (plus grande diversité botanique, plus de Renonculacées, de Rosacées, et de plantes toxiques)		Abondance	moins cohésive, élastique et déformable	plus fruité, animal, lait cuit, et noisette, et moins piquant et propionique
<b>Bosset et al</b>	1999	prairie de plaine	prairie de montagne		Gruyère		flaveur plus intense, jugée plus animale et plus piquante

Tableau 12. Effet de la composition botanique du pâturage sur la texture et la flaveur du fromage (Martin *et al.*, 2005).

Les pourcentages entre parenthèses représentent les différences de notes données par le panel de dégustateurs entre les plans d'alimentation 1, 2 et 3.

### **III. Origine des différences sensorielles**

Plusieurs hypothèses sur les relations entre l'alimentation et le fromage sont évoquées. Tout d'abord, il y a l'hypothèse d'un transfert de composés de l'herbe vers le fromage contribuant directement ou indirectement à l'arôme des fromages. Une autre hypothèse est celle d'une influence indirecte du pâturage, entraînant, via l'animal, des modifications des constituants physico chimiques et microbiologiques du lait et du fromage. Dans les deux cas, le rôle du lait en tant qu'intermédiaire est important. Il est à la fois un indicateur de l'influence du pâturage sur l'animal et le précurseur des caractéristiques du fromage. L'influence des pâturages sur les caractéristiques sensorielles des fromages sera d'autant plus forte dans le cas de la plupart des fromages d'appellation d'origine contrôlée, le lait étant maintenu dans son intégrité (pas de pasteurisation ni d'écémage) avant la transformation fromagère.

#### **III.1. Mise en évidence de molécules volatiles ayant un impact sur le goût et l'odeur des fromages et lien avec l'alimentation**

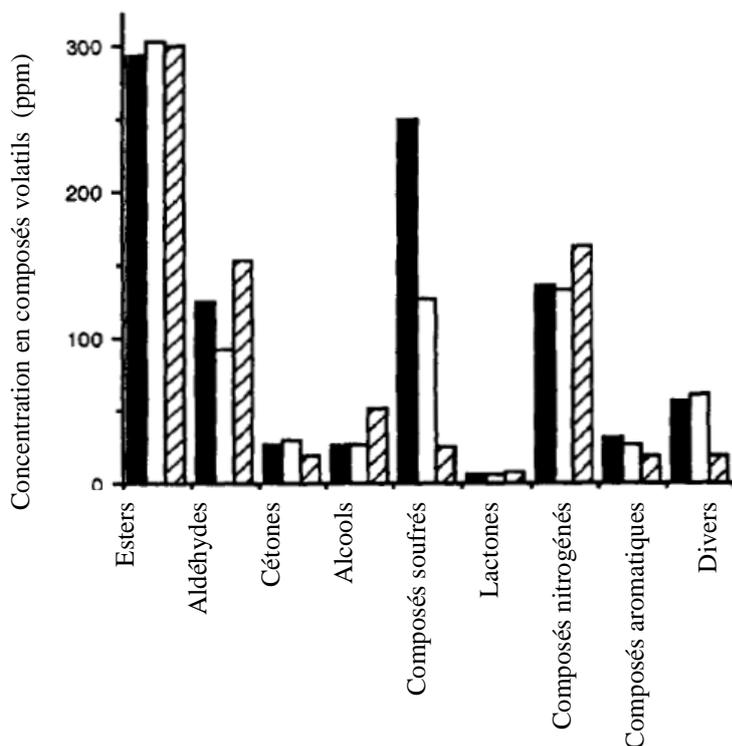
De nombreux travaux émettent l'hypothèse d'un transfert direct de composés de l'herbe au fromage, via le lait. Ces composés, pour la plupart volatils, contribueraient à l'arôme des fromages, soit directement, soit en modifiant les processus biochimiques au cours de l'affinage des fromages.

Dans une revue, Urbach (1990) rappelle la nature des principaux composés de l'alimentation connus comme responsables de défauts de flaveur du lait. Par exemple, certains composés soufrés ou benzéniques, responsables d'odeurs piquantes, de brûlé ou de radis dans les produits laitiers, sont suspectés provenir d'une alimentation à base de crucifères ou de luzerne. Les composés aromatiques identifiés pourraient être transmis des aliments dans le lait par voie digestive (rumen-sang-lait) ou par voie pulmonaire, par l'intermédiaire des gaz éructés ou par l'air inhalé. Certains composés issus de l'alimentation peuvent subir une altération biochimique préalable dans le rumen ou affecter le fonctionnement du rumen et conduire ainsi à la production de composés volatils responsables d'arômes particuliers dans le lait.

Depuis de très nombreuses années on a commencé à mettre en avant le rôle de composés volatils dans la flaveur des fromages. Ainsi déjà en 1974, Groux *et al.* mettaient en évidence de grosses différences de composition en composés volatils entre différents fromages, et Moinas *et al.* (1975) dressaient la liste des principaux composés volatils de Camembert. Avec le développement des instruments de physique et de chimie au cours des années 1990, les recherches se sont affinées et grâce à des appareils de chromatographie, de spectrométrie ou encore d'olfactométrie, des études ont permis d'analyser les fromages et de relier la présence de composés volatils à des odeurs particulières.

Ainsi, une étude de Moio *et al.* (1996), a étudié la composition en composés volatils de laits de brebis nourries à base d'herbe ou de ration complète à base d'ensilage de maïs, de foin de luzerne et de Ray Grass, de luzerne déshydratée et de tourteau de soja. Les molécules analysées étaient des esters, des aldéhydes, des cétones, des alcools, des composés sulfurés, les lactones, des composés nitrogénés, ainsi que des composés aromatiques (Tableau II en annexe). La technique utilisée dans cette étude était la chromatographie en phase gazeuse à haute résolution.

On remarque qu'il existait de très grandes différences de concentration en certains composés volatils en fonction de l'alimentation. On retrouvait majoritairement des esters quel que soit le mode d'alimentation (Graphique 1). La plus grosse différence observée était la concentration 10 fois plus forte en composés soufrés avec une alimentation en pâture par rapport à une alimentation avec une ration complète. Cette dernière donnait en revanche un lait plus riche en aldéhydes que les autres.



Graphique 1. Concentration en composés volatils des principales familles chimiques identifiées dans le lait de brebis nourries à base de fourrages différents (Moio *et al.*, 1996).  
 En blanc : pelouse alpine ; en noir : prairie naturelle ; en rayé : ration complète (ensilage de maïs, foin de luzerne et Ray Grass, luzerne déshydratée, tourteau de soja)

On remarque également qu'une seule famille chimique de certains composés volatils était présente avec la ration à base d'herbe et absente dans les autres : les sesquiterpènes. Ceci laisse à penser que ce type de molécule puisse avoir une importance majeure dans les différences observées en fonction du type d'alimentation.

Povolo *et al.* (2007) ont également mis en évidence des différences de composition en composés volatils des laits de brebis, en fonction de la composition floristique de la prairie pâturée. L'alimentation aurait donc une influence directe sur la composition en composés volatils des produits laitiers.

La contribution de chaque molécule à l'odeur était évaluée par une technique de chromatographie en phase gazeuse couplée à une technique d'olfactométrie. On peut ainsi déterminer que sur la centaine de composés volatils trouvés, seuls 14 auraient un impact majeur sur l'odeur globale du lait. Ils sont repris dans le tableau III en annexe (Moio *et al.*, 1996).

Les odeurs d'heptanal, octanal, et de nonanal sont plus prononcées dans le lait produit par les brebis nourries avec une ration complète, ce qui explique une odeur herbacée plus forte. L'ethyl butanoate et l'ethyl hexanoate donnent une note fruitée au lait mais ici il n'y a pas de différences significatives entre les 3 types d'alimentation. L'ethyl butanoate donne une

odeur de « vert » aux fromages. Le 1-octen-3-ol, qui donne une odeur particulière de sous bois et de champignon frais, participe fortement à l'odeur des laits issus d'une alimentation à base d'herbe. L'indole, à concentration très faible, dégage une odeur très plaisante de jasmin, alors qu'à forte concentration il donne une odeur désagréable de fèces. Enfin, concernant les composés soufrés avec notamment la diméthylsulfone, celle-ci donne une odeur de lait chaud ou de brûlé, et elle est nettement plus abondante avec les rations à base d'herbe.

A propos des sesquiterpènes, rien n'a pu être mis en évidence dans cette étude quant à son intérêt dans l'arôme des fromages (Moio *et al.*, 1996).

Une étude de Ben Lawlor *et al.* (2001) a tenté de corréler les caractéristiques sensorielles concernant l'odeur, le goût et la texture, la fraction volatile neutre et les principaux paramètres de composition de dix variétés de fromage. Six odeurs ont été corrélées à des composés volatils et à la composition chimique. Ainsi une odeur de moisi est liée à la présence de 2-pentanone, 2-hexanone, 2-heptanone et 2-octanone et semble être typique des fromages « bleus » comme le Roquefort. Une odeur sucrée est corrélée positivement avec l'éthyl acetate, l'éthyl butyrate, le propyl acetate, le propyl butyrate ou encore le diméthyl trisulphide. Cette odeur semble caractériser particulièrement le Gruyère suisse. Les autres odeurs corrélées aux composants chimiques sont des odeurs piquantes, de caramel, de fruité, et de crème. Onze types de saveurs ont également été corrélés à la composition en composés volatils et aux paramètres de composition : champignon, moisi, noisette, ensilage, chimique, salé, acide, poivre, brûlé, intensité, équilibré.

Les travaux de la thèse de Bugaud (2001d) ont également permis d'affiner la relation qu'il existe entre la saveur des fromages d'Abondance et la composition en composés volatils. Par une technique de CPG-SM (chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse) couplée à une technique d'olfactométrie, il a pu associer 70 odeurs repérées dans les fromages à un composé volatil, listées dans le tableau 13. Les références bibliographiques de la colonne de droite permettent de confirmer l'association entre l'odeur détectée dans les fromages et le composé volatil identifié.

Les aldéhydes ayant plus de 3 carbones et les méthyl-cétones sont caractérisés par des notes de « fruit rouge », « agrume », et « épice ». Deux cétones, la 2,3-butanedione et la 2,3-pentanedione ont présenté des odeurs de « beurre ». Les alcools ont présenté des odeurs d'alcool (alcools à 2 et 3 carbones), de « fruit » (butanol et 2-méthyl-butanol). La majorité des esters ont été caractérisés par trois odeurs : « fruit » (fruit rouge ou agrume), « épice » et « floral ». Les acides gras détectés par cette technique ont présenté des odeurs connues et

caractéristiques de « pied », « rance », « sueur », et « fromage ». De même, les composés soufrés ont été caractérisés par les odeurs connues de « soufré », « légume » et « ail ». Un furane, le 2-ethyl-furan, a été caractérisé par une odeur d'amende amère. Quatre monoterpènes ont été détectés dans cette étude : l' $\alpha$ -pinène, le p-cymène, le limonène et l' $\alpha$ -terpinolène. Ils présentent des odeurs épicées (poivre, menthe, chlorophylle, peinture, citron) et florales. Parmi les autres composés, les hydrocarbures et les composés benzéniques ont été caractérisés par des odeurs de « plastique » et de « caoutchouc ».

Ces composés volatils ont donc une « empreinte olfactive », qui peut être différente des arômes ressentis dans les fromages, en effet l'interaction entre les molécules est important et la flaveur finale du fromage est complexe. Par des techniques de corrélation des descripteurs sensoriels analysés par des jurys de dégustation, et les composés odorants identifiés par spectrométrie de masse, on essaye de comprendre certaines caractéristiques sensorielles des fromages. Dans cette étude de Bugaud (2001d) toujours, les fromages qui ont été jugés les plus intenses, « rance », « butyrique » en arôme sont les plus riches en composés présentant des odeurs de « pied », « rance », et « soufré ». L'odeur « chou cuit » des fromages a été liée aux composés dont les odeurs caractéristiques sont le « soufré », « brocolis », « fermenté », « ail » et « légume bouilli ». Les odeurs « lait frais » et « crème fraîche » et l'arôme « crème fraîche » des fromages ont été associés à des molécules ayant des odeurs de « beurre », ou de fruit comme « cassis », « citron » et « pomme verte ».

Tableau 13. Identification des composés odorants dans le fromage d'Abondance (Bugaud, 2001d).

odeurs repérées par olfactométrie	composés volatils identifiés par spectrométrie de masse	indice de rétention	références bibliographiques
<b>Cétones</b>			
beurre	2,3 butanedione	589	3, 4
beurre, colle scotch, vinaigre	2-butanone	600	3 (éthérée), 4
citron, fruité	2-pentanone	689	2, 3, 4
beurre, lactique	2,3-pentanedione	697	4
cassis	3-methyl 2-pentanone	756	4 (camphré, pénétrant)
floral	2-heptanone	892	1 (animal), 2 et 3 (fromage bleu), 4 (épicé)
bouillon, madère, muscade	1-phenyl ethanone	1080	3, 4 (fleur d'oranger)
ananas, confiture	2-nonanone	1097	2, 3, 4
<b>Aldéhydes</b>			
fumier, fermenté	propenal	486	4
confiture fruit rouge	butanal	595	4
fruité	3-methyl butanal	653	2, 3 (herbacé, malt), 4
fruité, floral	pentanal	699	4
pomme verte, herbe	hexanal	802	3, 4
punaïse, herbe, moisi	heptanal	903	1, 3, 4
fruit, fraise	benzaldehyde	970	4 (amande amère)
citroné, herbacé	octanal	1005	4
herbacé, bonbon, épicé	nonanal	1109	1, 3, 4
floral, girofle, poivre, épicé	decanal	1214	2, 4 (cire, agrume)
<b>Alcools</b>			
alcool	ethanol	448	3
alcool	2-propanol	509	3 (beurre), 4
alcool	propanol	563	3, 4
ammoniac, chimique	2-methyl propanol	630	3, 4
fruité, ananas, bonbon	1-butanol	665	3, 4 (chimique, vineux)
caillé	2-pentanol	702	2, 3, 4 (vineux)
floral, fruité	2-methyl 1-butanol	740	2 (whisky)
plastique, cacao, fermenté	3-methyl 1-butanol	736	1 et 3 et 4 (fruité, vineux)
grain de maïs	1-pentanol	769	1 (fruité), 2 (alcool), 4 (chimique)
marée	2-heptanol	901	1 et 4 (végétal, épice), 2 (fruité), 3 (terre, doux)
<b>Esters</b>			
agrume, mangue	methyl acetate	526	4
épicé, acétique, colle	ethyl acetate	615	3 (pomme de pin), 4
fruité, fermenté	isopropyl acetate	662	3, 4
fruit rouge, fraise, malabar	ethyl propanoate	714	4
colle scotch	propyl acetate	716	3 (céleri, fruité), 4 (fruité)
beurre rance	methyl-butanoate	725	4 (pénétrant, fruité)
fraise, cassis	2-methyl-propyl acetate	775	4
fraise, fruité	ethyl butanoate	802	2, 3, 4
noisette	propyl propanoate	812	4 (fruité, floral)
fraise, vert	2-methyl-ethyl butanoate	852	4
fraise, fumier	3-methyl-ethyl butanoate	855	4
réglisse, casse	propyl 2-methyl-propanoate	858	4

Tableau 13. (Suite).

odeurs repérées par olfactométrie	composés volatils identifiés par spectrométrie de masse	indice de rétention	références bibliographiques
floral, aldéhyde	3-méthyl-butyl acetate	878	2 (fruité), 3 et 4 (poire, banane, pomme)
terre, humus	2-méthyl-butyl acetate	881	4 (fruité)
fraise, mûre	butyl butanoate	996	4
fraise, confiture	ethyl hexanoate	999	2, 3, 4
vin	ethyl octanoate	1201	2, 3, 4
<b>Acides</b>			
piéd, vinaigre	acide propionique	710	1, 3, 4
rance, fromage	acide butyrique	780	1, 3, 4
piéd, rance, sueur	acide isovalérique	840	1, 3 (fruité), 4 (herbacé)
sueur, mal séché	acide 2-méthylbutanoïque	850	3, 4
rance, bleu	acide caproïque	1005	3, 4
cuir	acide octanoïque	1205	3 (cire, savon)
<b>Composés soufrés</b>			
soufré	methanethiol	418	3 et 4 (chou cuit)
soufré, olive noire	dimethyl sulfide	519	3 et 4 (chou cuit, radis)
brocolis, fermenté	carbon disulfide	536	4 (désagréable)
pourri, fermenté, soufré	dimethyl disulfide	748	3, 4 (oignon)
ail	S-méthyl thiopropionate	801	3 (fromage)
champignon, légume bouilli	2,4-dithiapentane	897	3 (ail), 4 (moutarde)
soufré, mauvaise haleine	diethyl disulfide	939	4
soufré, gaz	dimethyl trisulfide	983	3, 4 (oignon)
<b>Furanes</b>			
amende amère	2-ethyl furan	704	4 (agréable, brûlé)
<b>Monoterpènes</b>			
poivré, menthé	$\alpha$ -pinene	943	4 (résine)
peinture	p-cymene	1034	4 (coca cola, épice)
fruité, lilas	limonene	1039	1, 2, 4 (agrumes)
citron	$\alpha$ -terpinolene	1099	4
<b>Autres composés</b>			
chloré, olive noire	chloroforme	619	4 (lourd, agréable, éthéré)
chaud, plastique	heptane	700	4 (éthéré, sucré)
plastique, colle, chloré	methyl benzene	770	4 (doux, sucré)
caoutchouc, soufré	ethyl benzene	867	4 (agréable)
plastique	styrene	897	2, 4 (balsamine, floral)
bouillon	naphthalene	1209	2 (camphre)

1 : Guichard (1995), 2 : Moio et al. (2000), 3 : Sablé et Cottenceau (1999), 4 : Arctander (1969)

Pour les références 1, 2 et 3, les odeurs ont été détectées dans des fromages

Entre ( ) odeur du composé décrite dans la référence et différente de celle détectée dans les fromages d'Abondance

Les fromages les plus intenses en odeur « lait cuit » et en arôme « animal », « noisette » et « croute de pain » sont les plus riches en composés présentant des odeurs très variées : « épice », « floral », « plastique », « fruit », « soufré », « peinture », « amende amère », « fumier », « maïs ». L'arôme « propionique » des fromages est lié à des composés caractérisés par des odeurs de « légume bouilli », de « marée », de « pied » et de « fruit

rouge ». Pour les autres descripteurs sensoriels, il a été difficile de les associer à des composés volatils odorants.

Ces résultats montrent que certains composés volatils, par leurs caractéristiques olfactives propres, peuvent contribuer directement à l'arôme global des fromages. Pour d'autres, il est probable que des interactions entre composés odorants aient conduit à un arôme dans le fromage différent de celui des composés pris individuellement.

Pour comprendre les relations qui pourraient exister entre la flaveur du fromage et le type de pâture, il est nécessaire d'identifier les origines possibles des composés responsables de la flaveur, et particulièrement l'origine des acides gras volatils et des autres composés volatils. Ces derniers ont deux origines principales. La plupart d'entre eux résultent du métabolisme des microorganismes du fromage, que ce soit la microflore endogène du lait ou des bactéries exogènes. Dans quelques cas ils pourraient venir directement de l'alimentation (Bugaud *et al.*, 2001d).

Les acides aminés libres et les petits peptides auraient une importance primordiale dans la flaveur de fromages de type Abondance (Bugaud, 2001b), en contribuant directement ou indirectement (en tant que des précurseurs) au goût du fromage. Les acides isobutyrique et isovalérique, issus du métabolisme des acides aminés, et qui sont associés à l'arôme « acide butyrique » dans les fromages, contribuent aussi à l'intensité et à la richesse des arômes et des odeurs. Ceci concorde avec les résultats de Berdagué *et al.* (1988) qui ont montré une liaison positive entre l'acide isovalérique et les arômes fruités de fromages Comté.

Les furanes présents dans le fromage pourraient être issus de la réaction de Maillard entre les acides aminés et le sucre. Les composés soufrés ont sûrement pour origine la dégradation des acides aminés soufrés, notamment la méthionine, faite par les bactéries présentes dans le fromage. Ce ne sont que des exemples mais il existerait des centaines de réaction du métabolisme microbien qui à partir des acides gras, des acides aminés, et des protéines principalement, formerait les aldéhydes, alcools, cétones, esters, furanes, et autres, responsables d'arômes particuliers du fromage (Bugaud, 2001d).

La connaissance du rôle des composés volatils sur la flaveur du fromage est importante mais il reste à savoir d'où proviennent ces composés, certains sont-ils issus directement de l'alimentation ? Est-ce qu'un type d'alimentation particulier va avoir tendance à donner tel type de composé volatil qui lui-même va donner un goût particulier ?

L'étude de Bugaud (2001d) toujours, a permis d'établir des liens entre un type de végétation pâturée et le profil en composés volatils du fromage. Trois principaux types de

profils aromatiques, se distinguant par la richesse et la nature des composés volatils présents, ont été mis en évidence. Le premier se caractérise par des composés volatils en petit nombre et en faibles quantités, en particulier pour les terpènes, à l'exception des cétones. Le deuxième est riche en terpènes, particulièrement en sesquiterpènes, et en esters, alors que le troisième présente une richesse intermédiaire en monoterpène mais des quantités supérieures en composés soufrés.

Ces trois profils ont pu être associés aux différentes familles botaniques qui composent les végétations, et ainsi aux différents types de végétation. Le premier type correspond à des végétations riches en graminées. La pauvreté de cette famille de plante en terpène a déjà été montrée par Mariaca *et al.* (1997) Buchin *et al.* (1999). Dans le deuxième type, les richesses en terpènes et esters semblent liées à la présence d'ombellifères dans la végétation. La richesse en terpène de cette famille de dicotylédones a été décrite dans les études de Mariaca *et al.* (1997) et Buchin *et al.* (1999). Caractéristiques des milieux frais et généralement bien fertilisés, ces ombellifères peuvent être exubérantes et ainsi fortement marquer la physionomie des végétations. Dans le troisième type, la concentration en terpènes semble liée aux proportions respectives entre graminées et dicotylédones. Par contre, la nature et la diversité des composés sont à relier aux types de dicotylédones présentes. Caractéristiques des milieux secs ou de haute altitude, ces dicotylédones sont très diverses et souvent odorantes, mais compte tenu de leur physionomie chétive, elles ne semblent pas marquer la végétation, au moins concernant la concentration en composés aromatiques. La figure 3 résume l'association de ces trois types de pâtures aux trois types de profils en composés volatils.

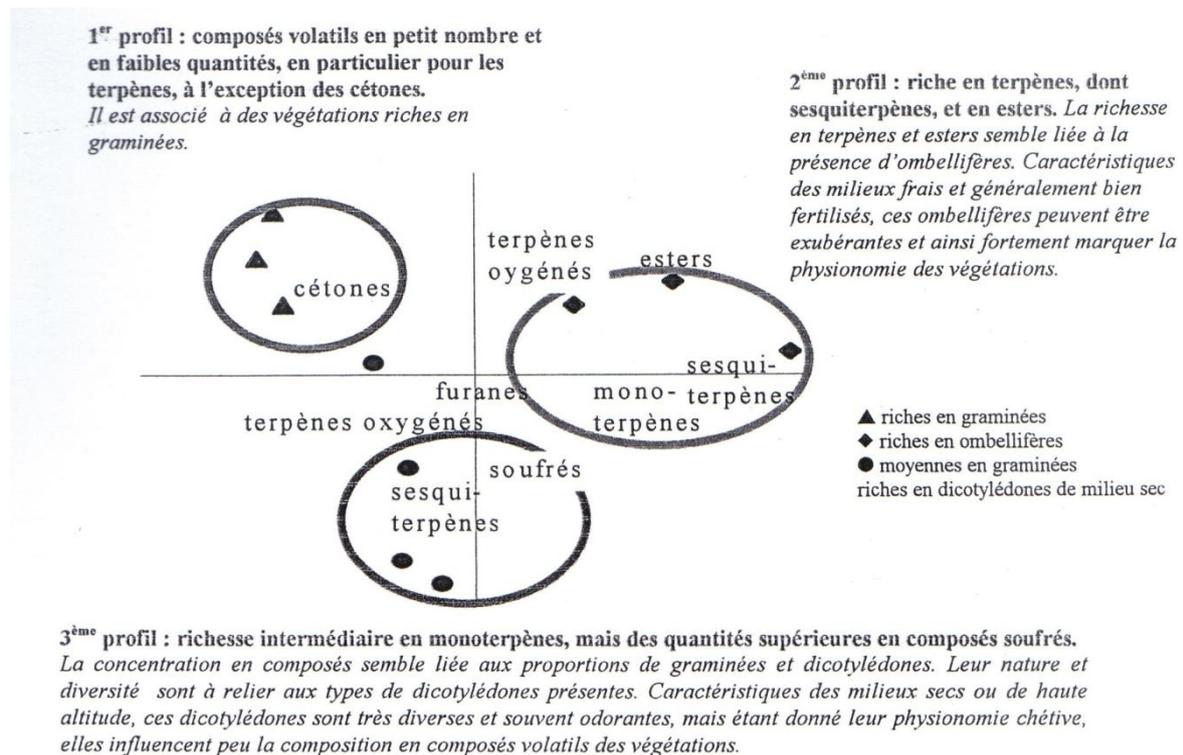


Figure 3. Mise en évidence de trois types de profils de composés volatils correspondant à trois types de végétations (Bugaud, 2001d).

D'autres études ont également cherché à mettre en évidence le lien entre certains composés volatils et la nature du pâturage. C'est le cas de l'étude de Buchin *et al.* (1999), où les saveurs et les composés volatils de fromages d'Abondance ont été analysés, et corrélés aux différents pâturages utilisés dans l'étude. Les neuf arômes les plus représentatifs en fonction du type de pâturage, ont été associés aux composés volatils les plus importants. Un schéma représente très bien la tonalité des principaux composés volatils. Ainsi les xylènes donneraient une note aigre et brûlée, les aldéhydes une note grillée et une intensité particulière, et les terpènes une note de caramel (Figure 4, (a)).

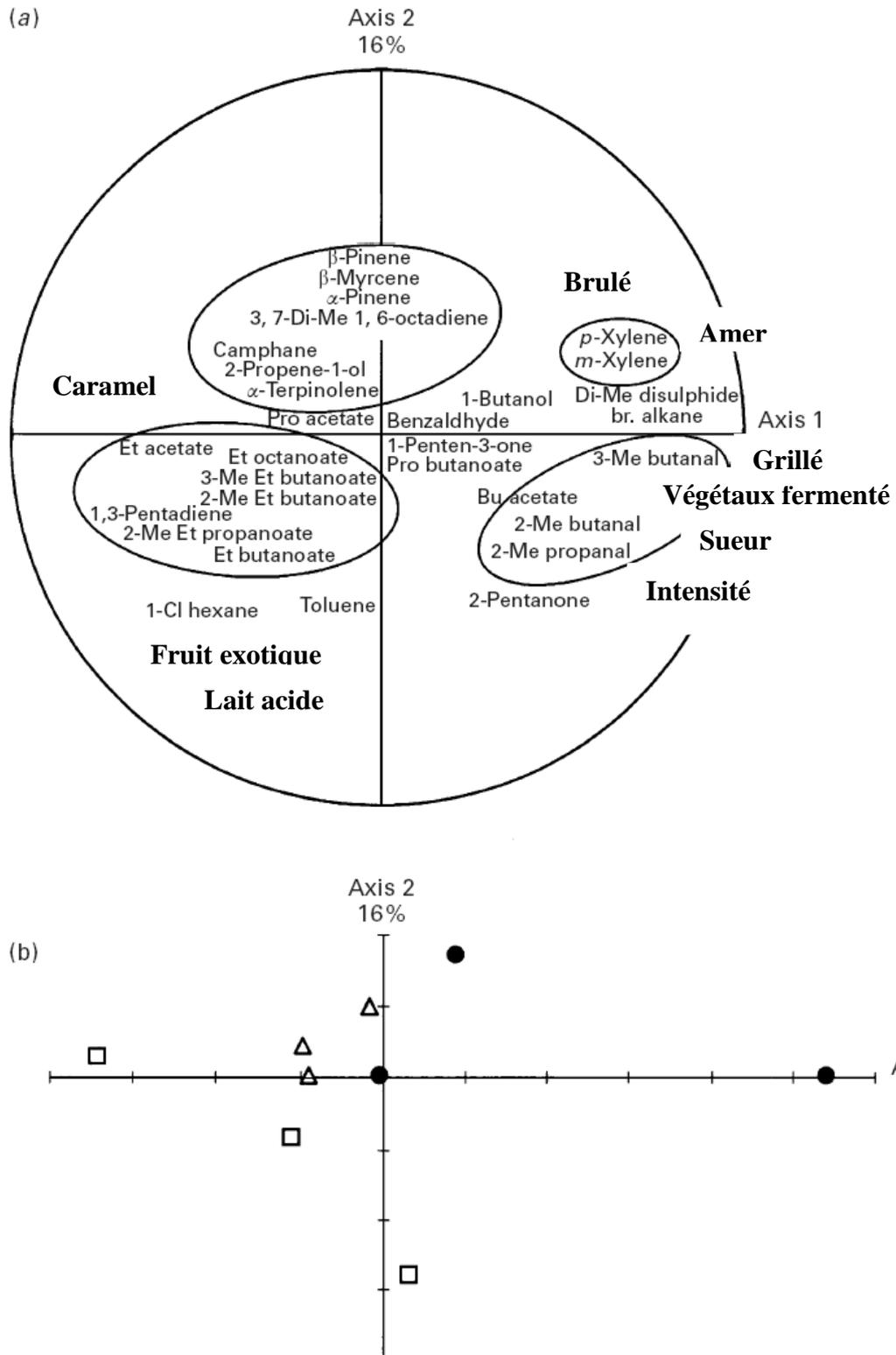


Figure 4. Analyse des principaux composants caractéristiques de l'arôme des fromages (Buchin et al., 1999). (a). Cercle des corrélations. Les arômes sont en gras. Les composés volatils qui varient significativement ( $p < 0,05$ ) entre les séries de fromages par analyse de la variance sont ajoutés comme une variable supplémentaire. Les composés de la même famille chimique, caractéristiques des séries de fromages, sont dans les ovaies. Bu, butyl ; Cl, chloro ; Et, ethyl ; Me, methyl ; Pro, propyl ; br, ramifié. (b). Répartition expérimentale des fromages :  $\Delta$  : fromages sud 1 ;  $\square$  : fromages sud 2 ;  $\bullet$  : fromages nord.

Sur le schéma d'analyse des principaux composés volatils, les groupes de fromages ont été associés avec les différents groupes de composés volatils correspondant aux différentes familles chimiques (Figure 4, (b)). Ainsi les fromages fabriqués avec du lait issu de pâturage du versant nord ont plus d'aldéhydes et de xylènes et moins d'éthyl ester que les fromages du versant sud. Une partie des fromages du versant sud se distinguent en ayant une forte concentration en terpénoïdes. Ces différentes molécules ont des origines diverses. Les aldéhydes et les esters semblent être issus du métabolisme microbien des acides aminés, des acides gras et des chaînes carbonées du lait. Les xylènes et les terpènes proviendraient directement de la plante ingérée par l'animal. Nous allons donc nous intéresser particulièrement aux terpènes qui semblent avoir une importance majeure dans le goût du fromage.

### **III.2. Transfert direct de composés de l'herbe vers le fromage ayant une influence sur la texture et la flaveur du fromage.**

#### **III.2.1. Les terpènes**

Les terpènes sont des molécules spécifiques au monde végétal. Ce sont des métabolites secondaires permettant à la plante de se défendre contre les agressions des herbivores et des micro-organismes. De nombreuses études sur la flaveur du fromage se sont intéressées à ces molécules.

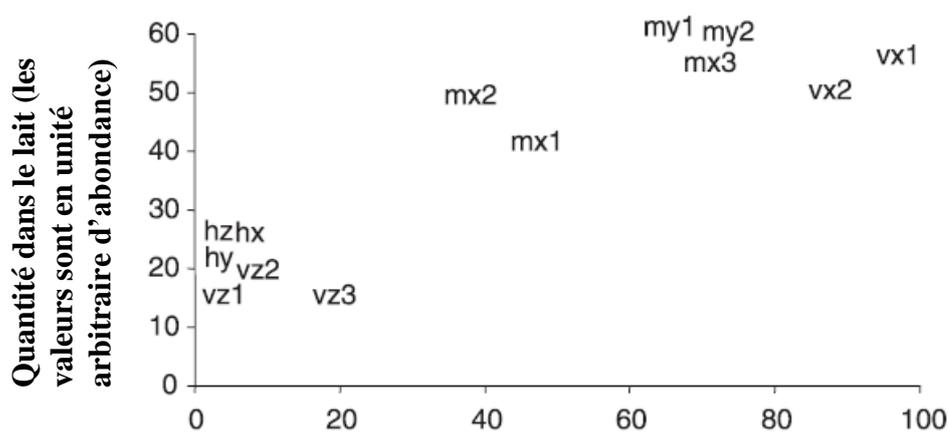
Une étude de Bugaud (2001d), déjà citée dans le paragraphe II.4, a tenté de démontrer l'influence de la nature de pâturages alpins sur la composition en composés volatils entre autres. Les composés volatils du lait et du pâturage ont été analysés. Les familles de composés volatils retrouvés dans le lait sont listées dans le tableau 14.

Les monoterpènes et les sesquiterpènes sont les plus abondants et c'est à eux que l'on s'intéresse. Les quantités de 12 des 30 monoterpènes identifiés dans le lait (terpinolène, tricyclène,  $\beta$ -pinène,  $\alpha$ -fenchène, camphène, limonène,  $\alpha$ -terpinène,  $\alpha$ -pinène,  $\beta$ -myrcène,  $\alpha$ phellandrène, p-cimène,  $\gamma$ -terpinène) sont significativement corrélées aux monoterpènes des pâturages.

Tableau 14. Nombre de composés volatils détectés dans le lait pour chaque famille chimique (Bugaud, 2001d).

Familles chimiques des composés volatils	Quantité
Monoterpènes	30
Sesquiterpènes	35
Chaines carbonées saturées	18
Chaines carbonées insaturées	31
Dérivés du benzène	20
Furanes	13
Cétones	31
Aldéhydes	33
Esters	15
Alcools	17
Ethers	3
Composés soufrés	3
Composés chlorés	13

Plus il y a de monoterpènes dans le fourrage consommés par les vaches, plus il y en a dans le lait produit par celles-ci (Figure 5).



Quantité dans le fourrage (les valeurs sont en unité arbitraire d'abondance)

Mx, my : fromages fabriqués avec du lait issu d'une alimentation sur prairie de montagne.

Vx, vy, vz : fromages fabriqués avec du lait issu d'une alimentation sur prairie de plaine.

Hy, hx, hz : fromages fabriqués avec du lait issu d'une alimentation à base de foin.

Figure 5. Quantité de monoterpènes dans le lait et le fourrage (Bugaud, 2001d).

On peut également dire que les laits et pâturages de montagne sont plus riches en monoterpènes que ceux de vallées. Une étude (Bugaud *et al.*, 2000) montre la composition en terpènes en fonction du fourrage. Les mono-terpènes oxygénés ou non ainsi que les sesquiterpènes sont bien plus nombreux dans les pâturages de montagne que dans ceux de plaine. A noter que le maïs (plante entière) est très pauvre en ces composés (Tableau 15).

Tableau 15. Nombre de terpènes détectés dans les fourrages (Bugaud *et al.*, 2000).

	VZ1	VZ2	VZ3	VX1	VX2	MY2	MY1	MX1	MX2	MX3	Foin	Maïs
Mono-terpènes non oxygénés	2	6	26	34	30	31	31	26	20	26	3	3
Mono-terpènes oxygénés	1	2	5	20	12	11	7	7	8	15	0	1
Sesquiterpènes	0	0	0	22	12	24	15	17	9	11	0	0
<b>Total terpènes</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	<b>76</b>	<b>54</b>	<b>66</b>	<b>53</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>52</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

vx, vz : fourrages des prairies de vallée

my, mx : fourrages des prairies de montagne

Viallon *et al.* (1999) obtiennent des résultats similaires. Ils démontrent que les pâturages de montagnes sont les plus riches en terpènes et que les fromages issus de ces prairies en sont largement pourvus également (Tableau 16).

Tableau 16. Terpènes présents dans les différents fourrages consommés par les vaches et dans les fromages fabriqués avec les laits correspondants (Viallon *et al.*, 1999). A noter que les fourrages sont tous sous forme de foin.

Composés	Fourrages				Fromages			
	Zone de montagne		Ray gras	Dactyle	Zone de montagne		Ray Gras	Dactyle
	1500 m	1000 m			1500 m	1000 m		
Terpène NI 1	-	-	NQ	-	-	-	-	-
$\alpha$ -Thujène	68	34	12	-	-	-	-	-
$\alpha$ -Pinène	1260	55	58	24	27	12	10	6
Camphène	40	7	35	1	10	5	4	4
Sabinène	48	45	23	-	-	-	-	-
$\beta$ -Pinène	5400	183	125	11	46	7	3	1
$\beta$ -Myrcène	1770	120	91	-	4	5	4	4
Isoterpinolène	9	23	28	38	-	-	-	-
$\alpha$ -Phellandrène	484	50	11	NQ	2	2	1	1
3-Carène	26	7	7	5	4	2	2	1
$\alpha$ -Terpinène	32	140	50	12	3	3	1	-
m-Cymène	1	0	0	0	2	2	1	1
p-Cymène	2890	829	163	11	26	16	20	11
Limonène + $\beta$ -Phellandrène	9220	1540	427	59	74	56	53	23
Terpène NI 2	-	NQ	NQ	-	-	-	-	-
Ocimène	663	261	92	4	2	2	2	1
$\gamma$ -Terpinène	300	249	60	-	2	3	1	1
Terpinolène	51	78	26	5	4	3	2	2
Linalool	33	5	-	-	3	12	2	1
$\alpha$ -Pyronène	31	12	4	1	-	-	-	-
4-Terpinéol	26	4	4	-	-	-	-	-
Terpène NI 3	NQ	NQ	NQ	-	-	-	-	-
Terpène NI 4	NQ	-	-	-	-	-	-	-

Les valeurs sont en unités arbitraires. NI : non identifié. NQ : non quantifié. - : non détecté

Tout cela laisse à penser que les terpènes sont des molécules qui ne sont pas totalement métabolisées lors de la digestion, et qu'une grande partie passe dans le lait.

Ceci est confirmé par une étude (Viallon *et al.*, 2000) qui a analysé comment s'effectue le passage des terpènes du fourrage vers la matière grasse du lait. Différents lots de vaches ont été nourris avec des fourrages riches ou pauvres en ces composés (foin de dactyle *Dactylis glomerata* ou foin d'achillée millefeuille *Achillea millefolium* respectivement). Les vaches reçoivent uniquement du dactyle sur une première période de 24 jours, puis de

l'achillée millefeuille en supplément du dactyle pendant 36 jours. Enfin les vaches reviennent à un régime composé de Dactyle sur une dernière période de 25 jours. Les résultats sont présentés sur la figure 6.

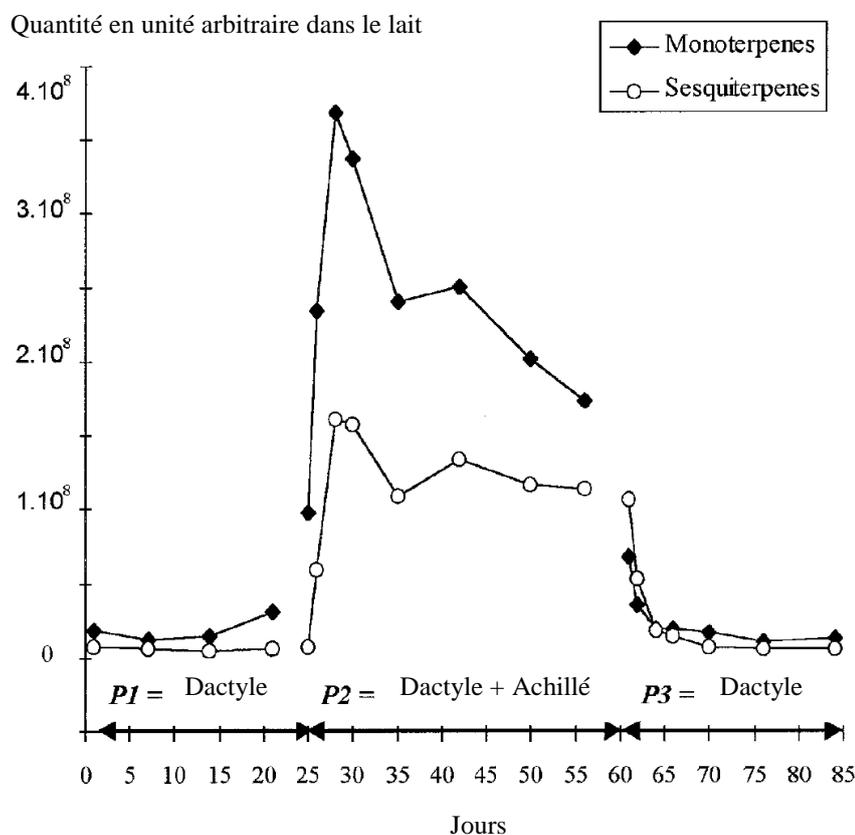


Figure 6. Quantités de monoterpènes et sesquiterpènes extraites de la matière grasse du lait en fonction des différentes périodes du régime. Les quantités sont exprimées en unités arbitraires de surface (u.a.s.) (les résultats sont obtenus à partir des profils chromatographiques de la matière grasse du lait) (Viallon *et al.*, 2000).

Les analyses montrent donc que les quantités de monoterpènes ont augmenté dès la première traite effectuée 8 heures après l'ingestion de l'achillée tandis que l'augmentation des quantités de sesquiterpènes était observée à partir de la troisième traite soit 32 heures après le changement de régime. Les quantités maximales de mono et sesquiterpènes ont été détectées après 4 jours de régime supplémenté en achillée puis, malgré l'apport constant de ce fourrage, une diminution des quantités totales a été observée. Quatre jours après la suppression de l'achillée, les quantités de terpènes contenus dans la matière grasse du lait ont été identiques à celles mesurées en première période. Cette étude montre bien que la quantité de terpènes contenus dans le lait suit la quantité de terpènes ingérés par l'animal au travers de la plante.

Mais pourquoi cette molécule suscite autant l'intérêt des chercheurs dans leurs travaux sur la saveur des fromages ? Les terpènes sont-ils vus largement plus abondants dans les

plantes de montagne que dans les plantes de plaine (Bugaud *et al.*, 2000). Cette différence de richesse en terpène des plantes pourrait alors expliquer pourquoi les fromages d'été ou d'altitude en sont largement pourvus (Bosset *et al.*, 1999). Les résultats obtenus sont très significatifs. En effet on note beaucoup plus de terpènes ( $\alpha$ -pinène,  $\beta$ -pinène, p-cymène, limonène) dans les fromages issus des prairies de montagne (l'Etivaz, Montbovon) que ceux de plaine (Posieux) (Tableau 17). Les principales caractéristiques botaniques des différents lieux de production sont déjà citées dans le paragraphe II.4.

Tableau 17. Composés volatils des fromages (hauteur des pics, unités arbitraires) obtenus au moyen d'une analyse discriminante (Bosset *et al.*, 1999).

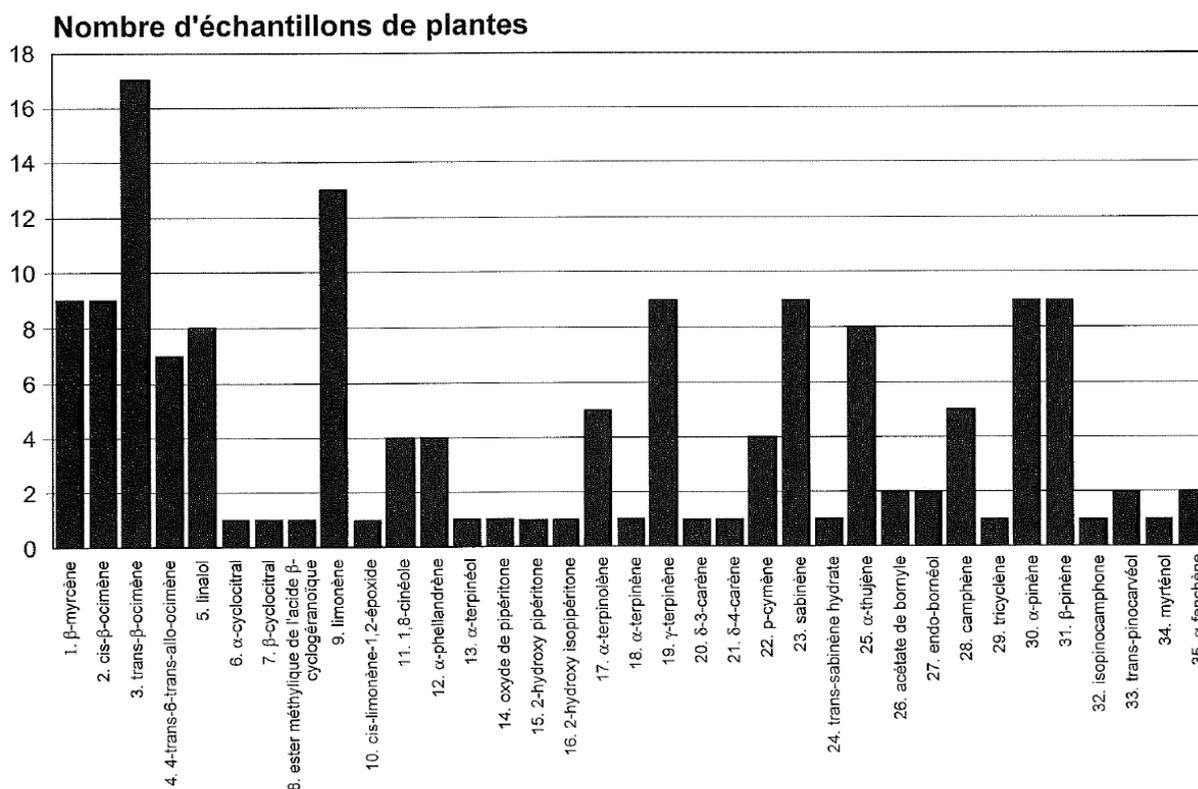
Composé	L'Etivaz 1	L'Etivaz 2	Montbovon	Posieux
	1400-1920m	1275-2120m	900-1250m	600-650m
2-butanol	6900 c	1180 b	253 a	369 a
Benzène	287 b	365 ab	167 a	143 a
Heptane	319 a	333 a	282 a	302 a
2-méthyl-1-butanol	568 b	704 ab	3490 c	234 a
Hexanal	946 a	1400 a	1260 a	2010 a
(E)-3-Octène	492 a	867 b	861 b	1420 b
Octane	513 a	517 a	539 a	566 a
$\alpha$ -pinène	2110 c	1330 c	590 b	n.d. a
$\beta$ -pinène	3280 c	1100 c	194 b	n.d. a
p-cymène	170 b	95 a	94 ab	n.d. a
Limonène	235 ab	197 ab	84 ab	n.d. a

n.d. = non décelable.

Pour un paramètre donné, les moyennes suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P = 0,05$ ).

Selon Bosset *et al.* (1999) toujours, de très nombreuses plantes de montagne contiennent des terpènes volatils, parmi lesquelles le cumin des prés (*Carum carvi*), la grande berce (*Heracleum sphondylium*), la ligustique mutelline (*Liguticum mutellina*), l'aposeris fétide (*Aposeris foetida*) et bien d'autres. En revanche parmi les plantes de plaine analysées dans leur étude, seul le Ray Grass anglais et la fléole des près contenaient un seul terpène et en faible concentration.

Ils ont également identifiés les terpènes les plus présents dans le large échantillon de plantes de l'étude à l'aide de l'étude de Mariaca *et al.* (1997). Les terpènes les plus présents sont le trans- $\beta$ -ocimène, le limonène, le  $\gamma$ -terpinène, le sabinène, le  $\beta$ -myrcène, le cis- $\beta$ -ocymène, ainsi que les  $\alpha$ - et  $\beta$ -pinène (Graphique 2).



Graphique 2. Répartition des monoterpènes sur l'ensemble des plantes récoltées qui en contenaient (à partir du seuil de détection) dans l'étude (analyse de 21 plantes étudiées) (Mariaca *et al.*, 1997).

Une étude de Cornu *et al.* (2000) fait le listing de plantes contenant beaucoup de terpènes parmi lesquelles le Fenouil des Alpes ou cistre (*Meum athamanticum* Jacq.), le petit boucage (*Pimpinella saxifraga*), l'achillée millefeuille (*Achillea millefolium*), et le thym serpolet (*Thymus pulegioides*). On retrouve ces plantes sur les prairies de montagne particulièrement ce qui explique encore une fois la richesse en terpène des laits de montagne.

On peut cependant se demander quelle est la part de ces molécules dans la flaveur du fromage. En effet, beaucoup moins d'études renseignent l'effet direct de cette molécule sur le goût du fromage.

D'une part, ces composés représentent une faible fraction de l'ensemble des composés volatils présents dans le fromage comme nous l'avons vu dans les études citées antérieurement. D'autre part, s'il est reconnu que les terpènes extraits de plantes présentent des notes de fruité, boisé, floral, herbacé (Chung *et al.*, 1993), en revanche, leur contribution à l'arôme des fromages a rarement été mise en évidence. Par la technique de détection olfactométrique, Guichard (1995) dans des fromages à pâtes pressée cuite et Moio *et al.* (2000) dans le fromage Gorgonzola ont pu identifier un arôme de fruit dû au limonène.

Comme nous l'avons déjà vu dans le paragraphe sur les composés volatils, certains monoterpènes (l' $\alpha$ -pinène, le p-cymène, le limonène et l' $\alpha$ -terpinolène) donneraient des odeurs épicées (poivre, menthe, chlorophylle, peinture, citron) et florales aux fromages selon Bugaud (2001d).

Les composés présumés d'origine végétale pourraient également avoir une action inhibitrice sur les micro-organismes présents dans le lait et le fromage. Nous avons souligné précédemment le rôle des terpènes dans la défense des plantes contre les micro-organismes. Même si cela n'a jamais été démontré, on pourrait supposer que ces substances puissent inhiber la production des enzymes protéolytiques provenant de la flore lactique et ainsi diminuer la formation des produits d'origine microbienne (acétaldéhyde, composés volatils soufrés). Cette action inhibitrice se traduirait par une concentration plus importante de composés soufrés dans les fromages de plaine que dans les fromages de montagne (Bugaud, 2001d).

Une étude récente (Tornambé *et al.*, 2007a) a voulu tester l'effet réel de ces terpènes sur le goût du fromage. Ils ont supplémenté des laits de vaches nourries avec des fourrages pauvres en terpène, avec des huiles essentielles constituées majoritairement de composés terpéniques. Des fromages de type Cantal ont été fabriqués puis ont fait l'objet d'analyses chimiques et sensorielles (Tableau 18).

Tableau 18. Caractéristiques sensorielles et composés volatils des fromages (Tornambé *et al.*, 2007a).

	T	HE1	HE30	P <sup>3</sup>	ETR <sup>4</sup>
<b>Odeur<sup>1</sup></b>					
Odeur Intense	3,9 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>	4,7 <sup>b</sup>	***	0,7
Beurre	2,3 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	1,1 <sup>a</sup>	***	1,0
Brioche	1,5 <sup>b</sup>	1,4 <sup>b</sup>	0,6 <sup>a</sup>	***	1,1
Menthe	0,1 <sup>a</sup>	0,1 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	***	0,8
<b>Arome<sup>1</sup></b>					
Arôme intense	3,8 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	***	0,9
Acide	1,3 <sup>b</sup>	1,6 <sup>b</sup>	0,5 <sup>a</sup>	***	1,1
Menthe/Chloroph.	0,1 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	4,8 <sup>b</sup>	***	1,0
Thym/Origan	0,1 <sup>a</sup>	0,1 <sup>a</sup>	3,1 <sup>b</sup>	***	1,1
<b>Goût<sup>1</sup></b>					
Salé	3,0 <sup>b</sup>	3,2 <sup>b</sup>	2,5 <sup>a</sup>	**	1,0
Persistant	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	5,1 <sup>b</sup>	***	1,0
<b>Texture<sup>1</sup></b>					
Ferme	4,0	4,4	4,2	ns	0,8
1-propanol <sup>2</sup>	5,7 <sup>a</sup>	96,9 <sup>b</sup>	13,1 <sup>a</sup>	*	53,79
2-butanol <sup>2</sup>	260,8 <sup>b</sup>	97,0 <sup>a</sup>	77,6 <sup>a</sup>	*	127,36
3-heptanone <sup>2</sup>	0,02 <sup>b</sup>	0,01 <sup>a</sup>	0,02 <sup>b</sup>	*	0,006

<sup>1</sup>note de 0 à 7, <sup>2</sup>unité arbitraire, <sup>3</sup>Signification, ns : non significatif;

\* : p < 0,05, \*\* : p < 0,01, \*\*\* : p < 0,001, <sup>4</sup>Ecart Type Résiduel.

T : lait témoin

HE1 : lait additionné de 0,1 micromol/L d'une huile essentielle issue de l'hydrodistillation de plantes d'une prairie naturelle de montagne.

HE30 : lait additionné de 3,0 micromol/L d'une huile essentielle issue de l'hydrodistillation de plantes d'une prairie naturelle de montagne.

A une faible concentration (HE1), correspondant aux terpènes désorbant d'un lait issu d'animaux nourris avec un foin de prairie naturelle, l'addition d'HE dans le lait n'a pas influencé les propriétés sensorielles du fromage. En revanche, à une forte concentration (HE30, qui permet d'obtenir des laits à quantité de terpènes désorbant trois fois supérieure à celle d'un lait issu d'animaux nourris avec un pâturage de prairie naturelle très diversifiée), l'addition d'HE a eu un effet marqué sur les caractéristiques sensorielles du fromage. Les fromages HE30 ont eu une odeur et un arôme plus intenses caractérisés par des descripteurs d'odeur et d'arôme atypiques tels que "menthe/ chlorophylle" et "thym/origan". Ces caractéristiques atypiques sont liées directement à l'HE ajoutée dans le lait. Parmi les 154 composés volatils identifiés dans la fraction volatile des fromages, 41 provenaient de l'HE et augmentaient proportionnellement aux quantités d'HE ajoutée. Peu de composés désorbant des fromages et ne provenant pas de l'HE ajoutée ont été affectés significativement par le

traitement. Seuls le *2-butanol*, le *1-propanol* et le *3-heptanone* qui proviennent du catabolisme des lipides sous l'action des enzymes microbiennes du fromage ont varié suite à l'addition d'HE dans le lait. Ceci laisse penser que l'addition de l'HE dans le lait a joué seulement un rôle mineur sur le catabolisme des lipides qui n'a pas eu d'effet sur les caractéristiques sensorielles des fromages.

Les résultats de cet essai montrent que les terpènes ne modifient que très légèrement les métabolites microbiens du fromage, y compris lorsque leur concentration est anormalement élevée. Ainsi l'effet de la nature botanique des prairies sur les caractéristiques sensorielles des fromages ne semble pas lié à l'activité antimicrobienne des terpènes. Ces derniers auraient un impact direct sur la flaveur des fromages lorsque leur concentration est élevée.

La recherche des terpènes pourrait également avoir une autre utilité dans le futur. En effet si leur contribution aux arômes du fromage n'est pas évidente, leur présence dans le fromage est bien corrélée au type d'alimentation. Ainsi les profils terpéniques des laits permettraient de reconnaître les régimes alimentaires à l'origine de ces laits (Cornu *et al.*, 2002 et 2003 ; Zeppa, 2004), et donc surveiller l'alimentation des troupeaux dans les zones d'Appellation d'Origine Protégée (AOP) où certaines restrictions quant aux aliments utilisés existent.

Outre les terpènes, d'autres molécules, non volatiles, semblent être directement transmises de l'herbe au fromage via le lait.

### **III.2.2. Les caroténoïdes**

Les consommateurs sont très sensibles à l'aspect visuel de l'alimentation. La couleur de la viande, du gras d'une entrecôte de bœuf, de certains poissons comme le saumon, de certains légumes, des œufs, du beurre, et du fromage par exemple, est un critère de choix très important pour le consommateur. Le fait que certains aliments soient plus jaunes ou orangés attire le consommateur sans même que cela ait un lien avec le goût.

Ce sont les pigments qui contrôlent tout ceci et la couleur du fromage semble dépendre directement de la composition en pigment. Le plus connu et le plus concentré est le carotène, présent en grande quantité dans les fourrages verts. Sa fonction primaire au sein de la plante est la protection contre les photo-oxydations, et également avec la chlorophylle il participe à la capture de l'énergie lumineuse. C'est ce pigment qui contribue également majoritairement à la coloration jaune des produits laitiers et de nombreux aliments.

Le carotène de l'herbe est-il le même que le carotène des produits laitiers ? De nombreuses études permettent de dire que la couleur du fromage est directement liée au type d'alimentation. Une étude de Coulon et Priolo (2002) montre que les fromages fabriqués avec du lait issu d'une alimentation à base d'herbe fraîche sont les plus jaunes. Ceux fabriqués avec du lait d'ensilage d'herbe sont moins jaunes, eux-mêmes plus jaunes que ceux fabriqués avec du lait de foin séché en grange, et encore plus jaunes que ceux issus d'un lait de foin séché au sol (Tableau 19). En effet le carotène est très sensible aux rayons ultra-violet et il est détruit en grande partie lors du séchage du foin et au cours de la conservation des fourrages. La dégradation de la molécule est d'autant plus grande que le foin reste longtemps au sol. La nature de l'alimentation a donc un effet marqué sur sa teneur dans le lait et donc sur la couleur du fromage (Houssin *et al.*, 2002 ; Coulon et Priolo, 2002).

Tableau 19. Teneurs en carotènes des fourrages, des laits correspondants et coloration jaune des fromages (Coulon et Priolo, 2002).

Fourrages	Foin séché au sol	Foin séché en grange	Foin + ensilage d'herbe	Pâturage de printemps
Carotènes des fourrages (g/kg MS)	10	20	45	85
Carotènes du lait (µg/l)	75	80	130	220
Indice de jaune du fromage *	20	25	28	30

\* index de colorimétrie

Ainsi les fromages réalisés avec des laits de printemps (issus d'une alimentation à base d'herbe fraîche) sont beaucoup plus jaunes que ceux réalisés avec des laits d'hiver (issu d'une alimentation à base d'herbe conservée sous forme de foin ou d'ensilage). L'ensilage de maïs, très pauvre en carotène, conduit à des fromages très blancs (Verdier *et al.*, 1995) (Tableau 2).

Chauveau-Duriot *et al.* ont présenté aux Rencontres Recherche Ruminants en 2005 un travail qui compare les compositions en caroténoïdes de différents types de fourrages et de différents types de conservation. Deux graminées (le Ray Grass anglais *Lolium perene* et le Dactyle *Dactylis glomerata*) et une légumineuse (le Trèfle violet *Trifolium pratense*) ont été étudiées. Huit modes de conservation ont été testés : ensilage après coupe directe avec conservateur, ensilage après ressuyage à 25 % de MS, ensilage après préfanage à 30 % de MS, balles rondes à 50 % et à 70 % de MS, foin récolté soit par beau temps, soit récolté sec après deux jours d'arrosage, soit récolté humide et séché en grange. Les résultats sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20. Teneur en macronutriments (g/kg MS) et en caroténoïdes (mg/kg MS) du ray grass anglais, du dactyle, et du trèfle violet (Chauveau *et al.*, 2005).

	ED	ER	EP	B1	B2	FB	FM	FG	
NDF	57,4	55,9	57,4	58,6	61,3	59,1	59,0	59,1	Ray grass anglais
MAT	9,1	8,7	9,7	8,8	6,7	9,0	9,1	10,4	
EE	1,8	2,2	2,1	2,3	1,6	1,3	1,4	1,6	
Epilutéine	24,1	14,4	8,0	5,0	4,7	7,8	7,3	7,0	
Lutéine	195,3	124,2	64,9	56,2	67,2	48,3	50,9	49,0	
Zéaxanthine	54,2	32,2	15,4	16,1	21,3	7,8	6,7	6,1	
$\beta$ -carotène	78,4	55,4	20,7	12,6	22,9	8,2	6,9	5,9	
C Totaux	352,0	226,1	108,9	89,9	116,2	72,1	72,0	68,1	
	ED	ER	EP	B1	B2	FB	FM	FG	
NDF	59,3	59,5	59,7	59,0	59,6	59,0	60,0	59,7	
MAT	10,1	8,3	8,4	8,1	7,7	7,7	7,7	8,0	
EE	3,1	2,7	2,7	2,5	1,8	1,9	1,9	1,8	
Epilutéine	19,5	8,2	10,4	2,9	2,2	8,8	5,9	9,3	
Lutéine	195,6	73,6	75,8	32,3	20,6	52,2	33,6	64,3	
Zéaxanthine	66,8	24,6	27,3	7,7	5,5	7,7	4,9	9,2	
$\beta$ -carotène	85,5	35,9	34,2	12,6	6,9	8,8	6,2	13,6	
C Totaux	367,4	142,4	147,7	55,6	35,3	77,5	50,6	96,4	
	ED	ER	EP	B1	B2 <sup>1</sup>	FB	FM	FG	Trèfle violet
NDF	37,5	36,5	34,9	35,9		36,0	34,6	36,5	
MAT	20,2	20,2	18,8	14,2		18,7	19,9	21,4	
EE	4,3	2,9	3,1	3,3		2,6	2,6	2,0	
Epilutéine	26,9	13,3	9,3	4,5		9,3	7,7	9,6	
Lutéine	237,7	135,8	76,5	41,9		67,0	52,4	68,9	
Zéaxanthine	91,7	26,8	20,0	10,3		8,0	7,0	6,1	
$\beta$ -carotène	100,3	42,0	18,7	12,3		14,6	7,5	10,2	
C Totaux	456,7	217,9	124,6	69,0		99,0	74,6	94,9	

B2<sup>1</sup> non réalisé sur le trèfle violet

ED : ensilage après coupe directe avec conservateur

ER : ensilage après ressuyage à 25 % de MS

EP : ensilage après préfanage à 30 % de MS

B1 : enrubannage à 50 % de MS

B2 : enrubannage à 70 % de MS

FB : foin récolté par beau temps

FM : foin récolté sec après 2 jours d'arrosage

FG : foin récolté humide et séché en grange

NDF : azote dégradable fermentescible

MAT : matière azotée totale

EE : extrait éthéré

C totaux : caroténoïdes totaux

La teneur en caroténoïde est plus élevée dans le trèfle que dans les deux autres espèces. Cette différence se retrouve surtout pour l'ensilage après coupe directe avec conservateur et est principalement due à la lutéine. L'ensilage, de manière générale, comporte des teneurs en caroténoïdes plus importantes que l'enrubannage et le foin, qui ne diffèrent pas beaucoup les uns des autres. L'ensilage réalisé après coupe directe avec conservateur se différencie des autres formes d'ensilage par sa forte teneur en caroténoïdes. Le ressuyage et le préfanage, qui nécessitent de laisser les plantes sur la parcelle provoquent une diminution de la teneur en caroténoïdes, ceux-ci étant photosensibles.

On peut donc conclure qu'un fromage jaune est plutôt gage d'une alimentation à base d'herbe, ce qui pour le consommateur est une image de bonne qualité. En revanche un fromage de couleur blanche sera plutôt signe d'une alimentation à base d'ensilage de maïs, fourrage qui n'a pas vraiment une bonne image auprès du consommateur malgré sa très bonne valeur alimentaire lorsqu'il est correctement réalisé.

### **III.3. Influence indirecte de la nature des pâturages sur les caractéristiques physico-chimiques des laits et impact sur les fromages**

Certaines caractéristiques des pâturages pourraient induire des changements au niveau de l'animal qui vont se traduire par une modification des propriétés physico chimiques du lait et, par conséquent, de celles du fromage. Parmi les composantes du lait ayant une influence reconnue sur les caractéristiques texturales et gustatives des fromages et pouvant être affectées par la nature des pâturages, il faut citer la composition en acides gras et en enzymes protéolytiques (Bugaud *et al.*, 2002 ; Buchin *et al.*, 1999 ; Bugaud, 2001d).

#### **III.3.1. Rôle des acides gras**

Les acides gras du lait sont synthétisés dans la mamelle et peuvent avoir trois origines. Ils peuvent être synthétisés à partir de la graisse corporelle (en particulier l'acide oléique cis C18 :1), à partir de triglycérides circulant dans le sang, ou être issus directement d'acides gras alimentaires, comme c'est le cas d'une partie de l'acide palmitique (C16 :0) qui n'est pas métabolisé dans le rumen (Demeyer et Doreau, 1999).

La figure 7 rappelle les principales voies de synthèse des acides gras insaturés à 18 carbones du lait (Chilliard *et al.*, 2000). Il existe des réactions d'hydrogénation dans le rumen, alors que des déshydrogénations dans la mamelle permettent la formation d'acides gras longs polyinsaturés.

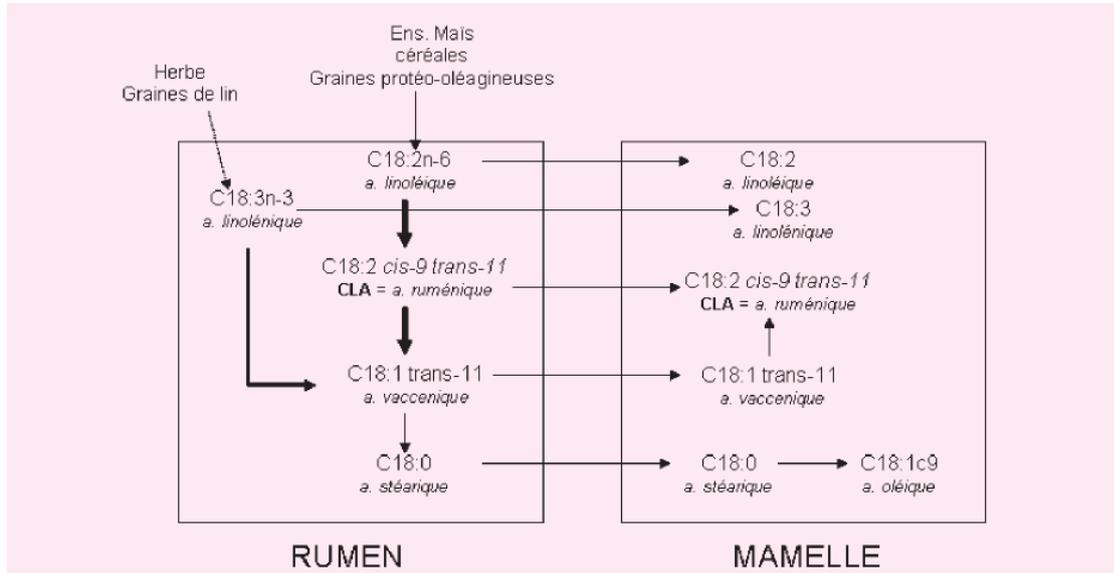


Figure 7. Rappel sur la provenance et les étapes de transformations des acides gras dans le rumen et la mamelle (Chilliard *et al.*, 2000).

Ce qui intéresse en priorité les fromagers, c'est avant tout la quantité de matière grasse dans le lait, plus que de savoir quel type d'acide gras est présent. Les producteurs de lait sont rémunérés en fonction du taux butyreux du lait (taux de matière grasse dans le lait) mais il y a rarement des analyses pour connaître la composition en acides gras. On peut s'intéresser dans un premier temps à l'effet du type d'alimentation sur la quantité de matière grasse produite dans le lait. De très nombreux paramètres régulent le taux de matière grasse, notamment le numéro de lactation, le mois de lactation, et bien sûr l'alimentation. Un système de production intensif présente des rendements plus élevés et donnera un lait plus riche par rapport à un système de production extensif où l'alimentation est moins « riche » (Coulon *et al.*, 1995).

L'effet de la marche est également un facteur important sur le taux de matière grasse du lait. Ce dernier augmente en cas de marche forcée, surtout dans les jours qui suivent cette marche forcée (comme sur des pâtures en montagne par exemple) (Coulon *et al.*, 1998). On peut également dire que la quantité de lait produite est à mettre en relation avec le taux butyreux car si une vache a tendance à produire un plus gros volume de lait, elle donnera un lait avec un taux de matière grasse un peu moins élevé, c'est l'effet de la dilution.

Une analyse des données de la bibliographie (Farrugia *et al.*, 2008) montre que le trèfle blanc, les prairies permanentes, et le Ray Grass sont les fourrages les plus riches en

acides gras. On voit aussi que le Ray Grass anglais a une proportion d'acide linoléique plus forte que d'autres espèces, et plus forte que la prairie permanente (Tableau 21).

Tableau 21. Teneurs en acides gras totaux, en acides linoléique et en acide linoléique de fourrages verts : médianes, 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quintiles (Q1 et Q3 respectivement), issues d'une compilation de la bibliographie (Farrugia *et al.*, 2008).

Fourrage	Nombre de données	AG totaux (en % MS)			Acide linoléique (% des AG)			Acide linoléique (% des AG)		
		Médiane	Q1	Q3	Médiane	Q1	Q3	Médiane	Q1	Q3
Ray-grass	109	2,31	1,76	2,87	11,8	10,1	13,4	66,2	59,9	72,1
Dactyle	35	1,47	1,13	2,08	16	14,6	17,4	53,5	45,5	57,8
Fléole	19	1,88	1,63	2,08	21,6	19,7	23,2	48	46,1	50,2
Trèfle blanc	19	3,18	2,81	4,38	16,3	13,9	17	47,1	40	55,5
Trèfle violet	11	2,07	1,4	2,19	21,4	19,5	23,1	43	42,5	45
Luzerne	8	1,71	1,61	1,76	21,4	19,4	22,4	39,1	38,5	40,7
Prairies permanentes	31	2,62	2,04	3,5	15,5	12,9	17,4	53,8	48,5	56,4

Une étude (Chenais *et al.*, 2004) compare les taux des différents acides gras du lait en fonction de différents types d'alimentation. D'une manière générale les laits d'été, issus d'une alimentation à base de fourrage en vert sont plus riches en acides gras longs et insaturés que les laits d'hiver issus d'une alimentation à base de fourrages conservés. Cet effet semble indépendant des espèces pâturées, mais est moins marqué lorsque l'herbe pâturée est associée à de l'ensilage d'herbe ou de maïs. On montre aussi que les régimes à base d'ensilage de maïs complétés avec du tourteau de soja se caractérisent par des laits plus riches en acides gras moyens et saturés. On obtiendrait des résultats plus proches de ceux obtenus avec du fourrage vert en remplaçant de tourteau de soja par du tourteau de colza (Tableau 22).

Tableau 22. Influence du régime sur la composition en acides gras des laits (Chenais *et al.*, 2004).

Type de régime	Estival					Hivernal				
	Pât-EM	Pât-EH	RGA	RGA-TB	PN	EM	EMs	EMc	EM-EH	EH
Nb de série	7	1	3	5	2	3	1	1	2	3
AG (% des AG totaux)										
AG courts	9,3	11,1	9,8	8,7	8,7	8,7	9,1	9,5	8,8	8,9
AG moyens (C12-C16)	49,8 a	50,1	43,9 b	46,4 b	44,9 b	56,3	57,9	54,3	54,6	57,4
AG longs	39,1 a	36,8	44,4 b	42,7 b	44,2 b	33,5	31,5	34,6	35,2	32,1
AG saturés	68,2 a	69,4	63,8 b	64,4 b	65,9ab	72,4	73,1	70,9	72,7	73,4
dont C16:0	30,1 a	31,7	25,8 b	27,1 b	25,2 b	35,7	35,8	31,5	35,2	36,6
C18:0	10,4 a	8,8	11,0 b	10,8 b	14,2 c	9,0	8,8	9,5	10,0	8,6
AGMI	26,2 a	24,8	29,8 b	28,7 b	27,8ab	23,1	22,6	24,4	22,9	21,7
dont C18 :1	23,7 a	21,7	27,1 b	26,0 b	25,8ab	20,1	19,6	21,6	20,2	18,7
C18 :1, t11	2,0 a	1,6	2,9 b	3,1 b	2,6 ab	1,3	1,0	1,2	2,9	1,0
trans hors vacc.	0,9	0,9	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	1,1	0,7
AGPI	3,6 a	3,7	4,4 b	4,4 b	4,0 ab	2,9	2,7	3,1	1,0	3,0
dont C18 :2	2,8 a	2,7	3,4 b	3,5 b	2,9 a	2,4	2,2	2,6	2,3	2,2
C18:3	0,5 a	0,7	0,7 b	0,8 b	0,8 b	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5
CLA	0,8 a	0,7	1,4 b	1,3 b	1,0 ab	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4
AG oméga-3	0,6 a	0,7	0,9 b	1,0 b	0,9 b	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5
AG oméga-6	2,3	2,2	2,1	2,5	2,0	2,1	2,1	2,3	2,1	2,1
Oméga-6/Oméga-3	4,4	2,9	2,5	2,6	2,3	7,5	8,3	8,0	5,6	5,2
Indice d'athérogénicité	2,6	2,7	2,1	2,2	2,2	3,3	3,5	3,1	3,3	3,6

\* indice d'athérogénicité :  $(C12:0 + 4C14:0 + C16:0)/\text{somme des AG insaturés}$

Pât-EM : ration à base d'herbe au pâturage + ensilage de maïs

Pât-EH : ration à base d'herbe au pâturage + ensilage d'herbe

RGA : ration à base de pâturage de Ray Grass Anglais

RGA-TB : ration à base de pâturage de Ray Grass Anglais + Trèfle Blanc

PN : ration à base de prairie naturelle

EM : ration à base d'ensilage de maïs

EMs : ration à base d'ensilage de maïs + tourteau de soja

EMc : ration à base d'ensilage de maïs + tourteau de colza

EM-EH : ration à base d'ensilage de maïs + ensilage d'herbe

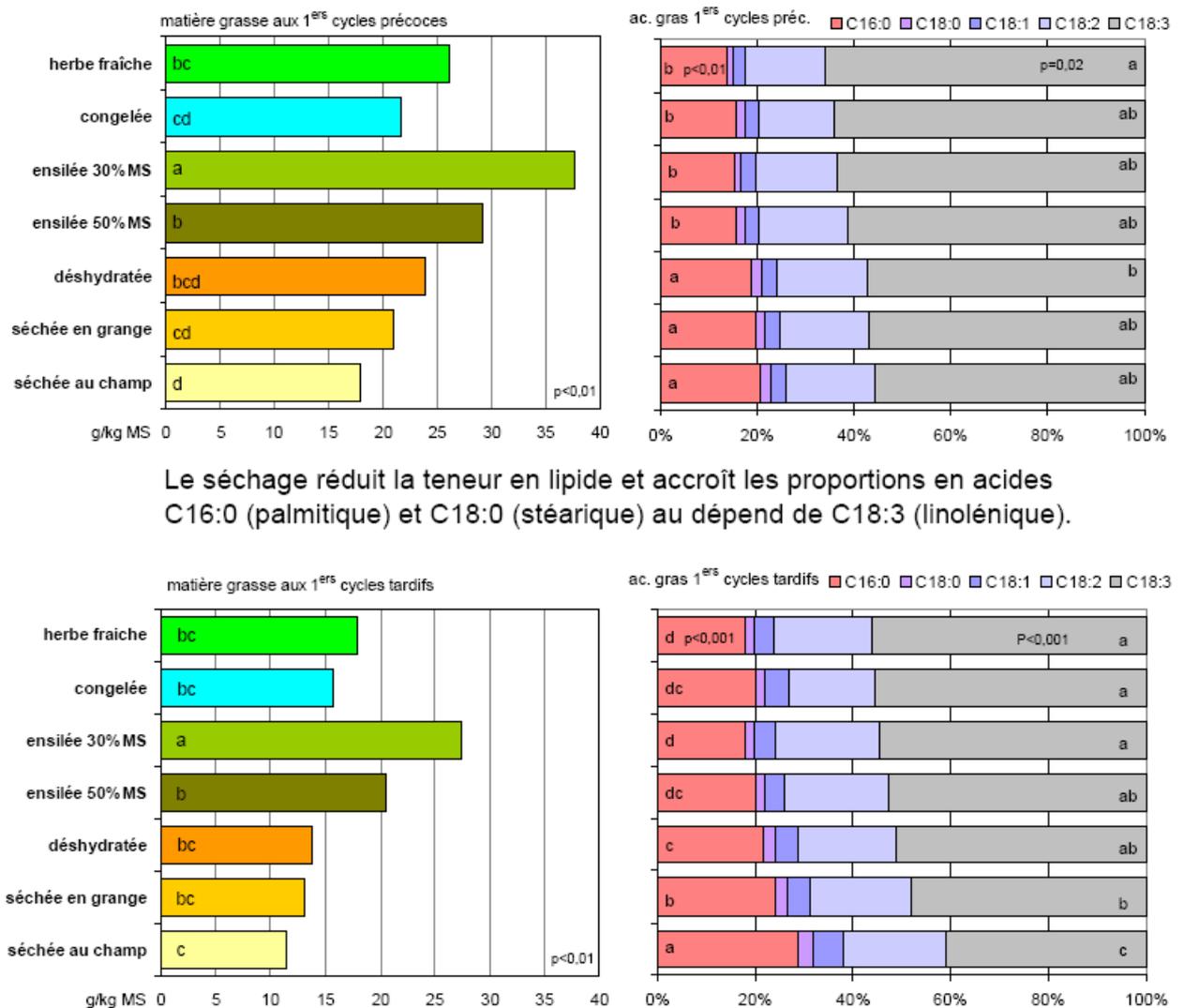
EH : ration à base d'ensilage d'herbe

D'autres auteurs obtiennent les mêmes résultats quant à l'effet de la saison de fabrication des fromages. Masson *et al.* (1981), Saulnier *et al.* (2007) et Lucas *et al.* (2004) concluent que les laits issus d'une alimentation en période de pâturage sont plus riches en acides gras longs mono- et/ou polyinsaturés (Annexe IV et V).

Une publication d'Arrigo (2007) affiche l'influence de la conservation de l'herbe sur la teneur en matière grasse et la composition en acides gras de l'herbe. Une même parcelle a été récoltée à des stades précoces ou tardifs, en premier ou troisième cycle. Un dosage de la matière grasse a été réalisé par une extraction à l'éther de pétrole et les acides gras ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse.

La première constatation que l'on puisse faire est la forte teneur en acides gras longs du fourrage avec des chaînes à au moins 16 carbones, et une grosse partie d'acides gras polyinsaturés (C18 :2 et C18 :3 représentent 60 à 80 % des acides gras totaux). On peut également dire que le séchage réduit la teneur en lipides et accroît les proportions d'acides gras saturés (C16 :0 et C18 :0) aux dépens des acides gras polyinsaturés (C18 :3). Cette étude

nous montre donc que la conservation sous forme de foin réduit les teneurs en matière grasse de l'herbe d'origine, et que la durée du séchage influence les proportions en acides gras (Figure 8).



Le séchage réduit la teneur en lipide et accroît les proportions en acides C16:0 (palmitique) et C18:0 (stéarique) au dépend de C18:3 (linoléique).

Figure 8. Influence de la conservation de l'herbe sur la teneur en matière grasse et la composition en acides gras (Arrigo *et al.*, 2007).

Bosset *et al.* (1999) ont comparé la composition en acide gras de fromages issus d'une alimentation à base de prairie de plaine ou de montagne. On note des différences de composition en acides gras et en triglycérides. Par rapport à la graisse des laits de plaine, celle des laits d'alpage présente d'une part une teneur plus élevée en acides gras mono- et polyinsaturés à longues chaînes, de même qu'en triglycérides à longues chaînes, et d'autre part une teneur plus faible en acides gras saturés à courtes chaînes ainsi qu'en triglycérides à courtes chaînes (Tableau 23).

Tableau 23. Composition chimique des laits et de la graisse du lait des différents pâturages (Bosset *et al.*, 1999).

Paramètre	Lieu (n)	L'Etivaz 1		L'Etivaz 2		Montbovon		Posieux	
		(11)		(13)		(12)		(13)	
		$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$	$\bar{x}$	$s_x$
Zinc	(mg/kg)	3,51 <sup>B</sup>	0,28	3,39 <sup>B</sup>	0,34	3,13 <sup>A</sup>	0,12	3,13 <sup>A</sup>	0,34
Manganèse	(mg/kg)	21,1 <sup>B</sup>	6,6	19,8 <sup>AB</sup>	3,9	21,1 <sup>B</sup>	4,8	15,1 <sup>A</sup>	2,4
Fer	(µg/kg)	210,6 <sup>B</sup>	43,0	184,1 <sup>B</sup>	39,3	202,0 <sup>B</sup>	43,9	149,0 <sup>A</sup>	39,8
Acide caproïque	(%)	2,21 <sup>A</sup>	0,16	2,28 <sup>A</sup>	0,11	2,27 <sup>A</sup>	0,10	2,62 <sup>B</sup>	0,14
Acide caprylique	(%)	1,19 <sup>A</sup>	0,11	1,22 <sup>A</sup>	0,09	1,20 <sup>A</sup>	0,10	1,44 <sup>B</sup>	0,11
Acide caprique	(%)	2,42 <sup>A</sup>	0,30	2,44 <sup>A</sup>	0,24	2,34 <sup>A</sup>	0,23	2,95 <sup>B</sup>	0,30
Acide laurique	(%)	2,74 <sup>A</sup>	0,32	2,70 <sup>A</sup>	0,24	2,65 <sup>A</sup>	0,24	3,30 <sup>B</sup>	0,40
Acide myristique	(%)	9,82 <sup>A</sup>	0,70	9,58 <sup>A</sup>	0,49	9,42 <sup>A</sup>	0,44	10,77 <sup>B</sup>	0,70
Acide palmitique	(%)	24,8 <sup>A</sup>	1,2	25,2 <sup>A</sup>	1,1	25,2 <sup>A</sup>	0,6	28,4 <sup>B</sup>	1,3
Acide stéarique	(%)	10,6 <sup>A</sup>	0,9	10,7 <sup>AB</sup>	1,0	12,1 <sup>B</sup>	0,6	11,1 <sup>B</sup>	0,9
Acide oléique	(%)	29,3 <sup>B</sup>	1,8	29,1 <sup>B</sup>	1,3	29,2 <sup>B</sup>	1,1	24,1 <sup>A</sup>	1,7
Acide linoléique	(%)	2,56 <sup>C</sup>	0,22	2,92 <sup>D</sup>	0,24	2,33 <sup>B</sup>	0,10	1,92 <sup>A</sup>	0,23
Acide linoléique	(%)	1,51 <sup>B</sup>	0,19	1,58 <sup>B</sup>	0,25	1,07 <sup>A</sup>	0,07	1,01 <sup>A</sup>	0,23
Acide arachidonique	(%)	0,10 <sup>A</sup>	0,0	0,11 <sup>A</sup>	0,03	0,17 <sup>B</sup>	0,05	0,13 <sup>A</sup>	0,05
TG 34	(%)	5,08 <sup>A</sup>	0,42	5,06 <sup>A</sup>	0,37	5,13 <sup>A</sup>	0,30	6,23 <sup>B</sup>	0,49
TG 36	(%)	9,74 <sup>A</sup>	0,42	9,70 <sup>A</sup>	0,39	9,89 <sup>A</sup>	0,35	11,56 <sup>B</sup>	0,60
TG 50	(%)	12,4 <sup>B</sup>	0,8	12,2 <sup>B</sup>	0,65	11,8 <sup>B</sup>	0,37	10,5 <sup>A</sup>	0,57
TG 52	(%)	12,6 <sup>B</sup>	1,25	12,8 <sup>B</sup>	0,97	12,6 <sup>B</sup>	0,92	9,6 <sup>A</sup>	1,23
TG 54	(%)	7,48 <sup>B</sup>	0,93	7,78 <sup>B</sup>	0,84	7,64 <sup>B</sup>	0,73	4,83 <sup>A</sup>	0,87

$\bar{x}$  = valeur moyenne;  $s_x$  = écart type.

% = pour-cent de la somme de tous les acides gras libres (définis comme esters méthyliques des acides gras) ou de tous les glycérides.

TGn = triglycérides avec n atomes de carbone dans les chaînes latérales.

Pour un paramètre donné, les moyennes suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes (P = 0,05).

Ces différences de composition de la graisse du lait (pour des raisons analytiques, ces composants de la matière grasse ont été étudiés dans la graisse du lait ou de la crème, mais les résultats auraient été les mêmes si ces analyses avaient été effectuées dans les fromages où l'on retrouve ces mêmes composants) doivent provenir du type d'affouragement. En effet, les vaches ont été nourries uniquement avec de l'herbe dans les trois lieux de montagne (l'Etivaz et Montbovon), alors qu'elles ont reçue de l'herbe fraîche, du maïs plante entière, et des aliments concentrés à Posieux (Bosset *et al.*, 1999). De semblables différences dans la composition de la graisse du lait lors du passage d'un affouragement sec à un affouragement en vert ont déjà été observées (Collomb *et al.*, 1999). Bugaud *et al.* (2001d) et Collomb *et al.* (2002a) obtiennent des résultats similaires.

Des teneurs élevées en acides gras mono- et polyinsaturés à longues chaînes dans les laits provenant de zones de montagne seraient liées à la composition botanique des pâturages d'altitude, où prédominent les dicotylédones non légumineuses (Collomb *et al.*, 1999, 2002b). En effet dans l'étude de 2002b, Collomb *et al.* ont montré que la présence d'acides gras polyinsaturés à longues chaînes était positivement corrélée à la présence de certaines familles de plantes comme les Astéracées, les Apiacées, les Rosacées, ou encore les Cypéracées. Or on retrouve ces plantes uniquement dans les prairies d'alpage dans cette étude ce qui confirme l'hypothèse de départ. Ces résultats sont confirmés sur le lait de chèvre par Trana *et al.* (2005) qui ont mis en évidence des corrélations négatives entre la concentration en acide linoléique

du lait et le pourcentage de graminées de l'herbe pâturée et des corrélations positives avec le pourcentage de dicotylédones. Guichard *et al.* (2006) obtiennent des résultats similaires sur des prairies normandes de différentes composition, les prairies les plus riches en légumineuses donnent des laits riches en acides gras polyinsaturés à longue chaîne.

Cependant il n'y a pas de relation systématique entre l'altitude des pâturages et la teneur en acides gras ou la proportion d'acide linoléique. L'effet peut également tenir à la différence de maturité de l'herbe liée à l'altitude, à une même date (Farruggia *et al.*, 2008).

Ces résultats pourraient traduire l'existence d'inhibiteur de la biohydrogénation ruminale dus à la présence des métabolites secondaires issus des dicotylédones, sans que les causes en soient encore connues (Farruggia *et al.*, 2008). Les augmentations marquées d'acides gras polyinsaturés et de l'acide oléique (C18 : 1 n-9) dans les laits et les fromages d'alpage pourraient également être dues à une mobilisation plus poussée des lipides corporels à cause de la contrainte physique du terrain, du froid, de la raréfaction de l'oxygène ou à des particularités de la flore alpine réduisant toujours la biohydrogénation ruminale (Bugaud, 2001d).

En zone de plaine de Belgique, la distribution d'ensilage issu d'une prairie permanente diversifiée comparé à un ensilage issu d'une prairie moins diversifiée n'a eu que peu de conséquence sur la teneur en acide linoléique du lait, en revanche, la teneur en CLA a été accrue (Lourenço *et al.*, 2005). Les mêmes tendances ont été observées sur des prairies permanentes d'Auvergne comparativement à des prairies monospécifiques de Bretagne (Astier *et al.*, 2004). Néanmoins, sur deux expérimentations visant plus spécifiquement à mettre en évidence le rôle de la diversité spécifique, les gradients de richesse de ces mêmes acides gras ne sont pas clairs. Sur des prairies normandes (Guichard *et al.*, 2006), il semble que ce soit davantage la présence de légumineuses que la richesse en espèces qui expliquent la plus grande teneur en CLA observée. Sur trois prairies permanentes d'Auvergne, le gradient de diversité floristique ne peut être mis en parallèle avec un gradient des teneurs en oméga 3 et en CLA, même si la prairie la plus diversifiée présente les teneurs les plus élevées (Tornambé *et al.*, 2007b). Dans cette même étude on met en avant que les plus grosses différences de composition en acides gras sont fonction du stade de floraison de la prairie plutôt que de la diversité floristique.

Le tableau VI présenté en annexe synthétise les résultats obtenus dans les différentes études à ce sujet.

Dans les fromages à pâte pressée (cuite ou non), la composition en acides gras reflète celle du lait (Tableau 24) (Masson *et al.*, 1981 ; Chenais *et al.*, 2004).

Tableau 24. Profil en acides gras des laits et des emmentals issus de ces laits (Chenais *et al.*, 2004).

Type de régime	RGA		EM	
	Lait	From.	Lait	From.
Produit				
AG (% des AG tot.)				
AG courts	7,7	7,7	8,5	8,7
AG moyens	41,4	41,3	56,0	56,1
AG longs	49,0	48,9	34,0	33,9
AG saturés	60,8	60,8	72,4	72,5
dont C16:0	24,8	24,7	36,3	36,4
C18:0	11,7	11,6	8,9	8,9
AGMI	32,4	32,2	23,0	22,9
dont C18 :1	29,8	29,6	20,1	20,0
C18 :1, t11	4,0	4,1	1,2	1,2
trans hors vacc.	1,2	1,1	1,0	0,9
AGPI	4,8	4,8	3,0	3,0
dont C18 :2	3,7	3,7	2,5	2,5
C18:3	0,8	0,8	0,2	0,2
CLA	1,7	1,7	0,5	0,5
AG oméga-3	0,9	0,9	0,2	0,2
AG oméga-6	2,2	2,2	2,3	2,3

RGA : régime à base de pâturage de Ray Grass Anglais

EM : régime à base d'ensilage de maïs

Cette composition en acides gras pourrait influencer la texture des fromages de type Morbier (Buchin *et al.*, 1997), et Abondance (Bugaud, 2001d). Selon ces derniers, le point de fusion plus bas des acides gras longs insaturés serait à l'origine d'une texture moins ferme, plus souple des fromages correspondants. Une étude de la relation entre la teneur en acides gras longs insaturés et la déformation à la fracture du fromage montre en effet une relation étroite entre les deux paramètres (Bugaud *et al.*, 2002). Plus il y a d'acides gras long insaturés dans la composition du fromage, plus la déformation à la fracture (autrement dit la fermeté) est faible (Figure 9).

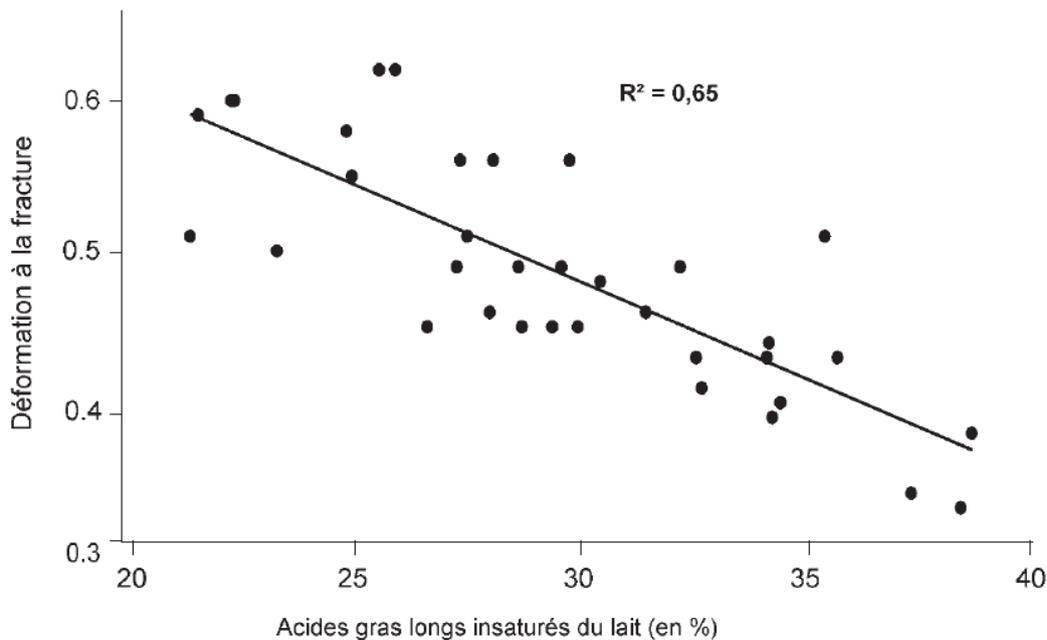


Figure 9. Relation entre la texture du fromage et la composition en matières grasses du lait (Bugaud *et al.*, 2002).

On peut également dire que les acides gras longs mono- et polyinsaturés ont une autre influence, outre l'effet sur la texture de la pâte, puisqu'ils diminuent le risque de maladie cardiovasculaire et sont donc recherchés à plus d'un titre, notamment le CLA et les oméga 3 (Chilliard *et al.*, 2001). La composition fine en acides gras joue donc un rôle important sur la texture du fromage.

Une partie des acides gras peuvent cependant avoir un rôle dans la flaveur des fromages. En effet, les plus volatils, comme l'acide butyrique ou l'acide caproïque, participent à l'arôme des fromages (Urbach, 1997). Une partie des acides gras libres peut également être dégradée par les enzymes microbiennes pour donner des composés responsables d'arômes dans les fromages (méthyl cétones, alcools secondaires, lactones, esters) (Urbach, 1997 ; McSweeney et Sousa, 2000 ; Holland *et al.*, 2005).

D'autres travaux ont montré que les propriétés des globules gras du lait pouvaient modifier les caractéristiques physico chimiques et sensorielles des fromages de type Camembert (Michalski *et al.*, 2003). Avec des globules gras de petit diamètre, la texture serait plus élastique et fondante, alors que des globules de plus gros diamètre donneraient une pâte plus ferme et crayeuse, et une couleur plus intense (Figure 10).

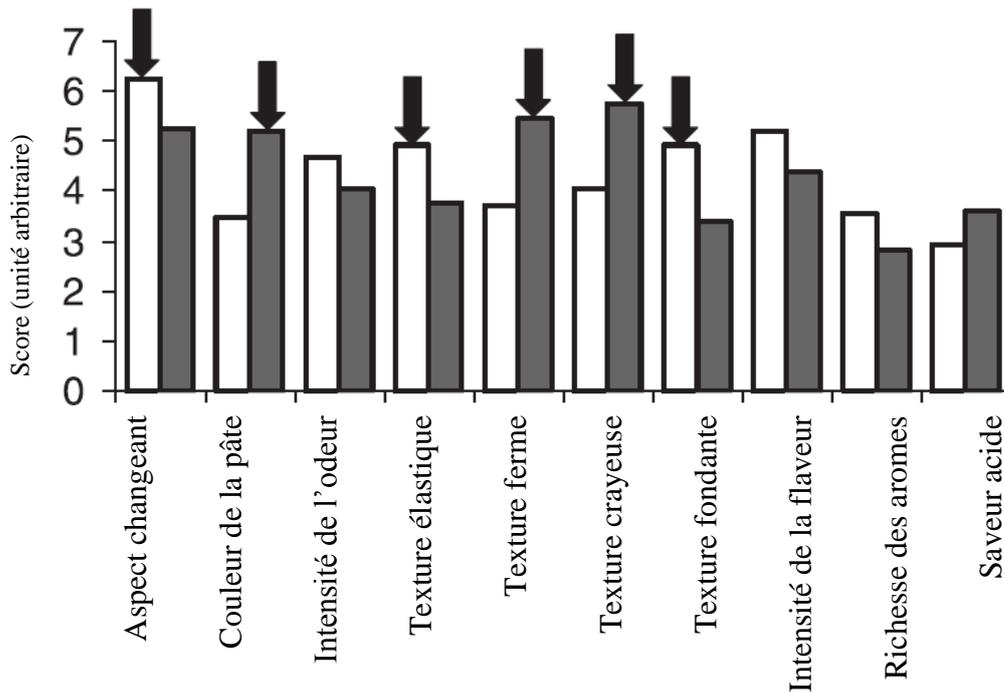


Figure 10. Profil sensoriel de fromages de type Camembert avec des petits (en blanc) ou des gros (en gris) globules gras qui sont présents dans le lait. Les flèches montrent les caractéristiques qui sont significatives ( $p < 0,05$ ) (Michalski *et al.*, 2003).

Le diamètre des globules gras pourrait être modifié par des procédés technologiques au cours de la fabrication, et ainsi on pourrait jouer sur ce facteur pour obtenir une texture plus agréable (Michalski *et al.*, 2003). Mais il est possible également que les propriétés des globules gras du lait soient en partie sous la dépendance de facteurs alimentaires et/ou génétiques (Munro *et al.*, 1984).

### III.3.2. Effet des enzymes endogènes

La teneur et l'activité des enzymes du lait dépendent en partie des facteurs de production. C'est le cas en particulier pour la plasmine, une protéase endogène provenant du sang, thermostable, et qui joue un rôle important au cours de l'affinage des fromages à pâte pressée cuite. Elle est responsable de la dégradation de la caséine  $\beta$  en caséine  $\gamma$ , de l'hydrolyse de la caséine  $\alpha S2$  et en partie de la caséine  $\alpha S1$ , et pourrait ainsi modifier la texture des fromages (Lawrence *et al.*, 1987).

D'ailleurs, Mulvihill et McCarthy (1993) ont mis en évidence sur des analogues fromagers une corrélation entre les taux de plasmine, l'hydrolyse des caséines  $\beta$  et les propriétés rhéologiques de ces fromages. Un analogue fromager est différent d'un fromage

dans le sens où il est fabriqué à partir de caséines purifiées, d'huile végétale, de sels minéraux et d'eau, le tout sans bactéries lactiques. Ceci permet de contrôler la teneur en caséines et d'écartier l'intervention d'autres facteurs dans le développement de la texture du fromage au cours de l'affinage. Ces auteurs ont montré que plus la teneur en plasmine est grande, plus l'hydrolyse des caséines  $\beta$  est importante et plus la pâte du fromage est élastique. Dans les fromages à pâte pressée cuite, le rôle de la plasmine est d'autant plus important qu'elle est thermostable, alors que la chymosine, enzyme protéolytique apportée par la présure, est presque totalement inactivée lors de la cuisson.

Les différences de texture observées entre les fromages issus de lait de milieu ou de fin de lactation peuvent ainsi être reliées à l'augmentation de la protéolyse avec les lait de fin de lactation comme le montre l'augmentation du pH et de la teneur en caséines  $\gamma$  dans les fromages (Martin *et al.*, 1995b). Cette protéolyse est due à la plasmine dont l'activité augmente en fin de lactation, en particulier lorsque les numérations cellulaires sont élevées (Auldist *et al.*, 1996 ; Albenzio *et al.*, 2004). Ceci est confirmé par une étude (O'Farrell *et al.*, 2002) qui, en ajoutant du lait de mammité ou de la plasmine exogène dans du lait pour la fabrication de fromage, obtiennent les mêmes effets sur la protéolyse au cours de l'affinage. Il y aurait donc des activateurs du plasminogène dans les cellules somatiques du lait selon ces auteurs. L'activité de la plasmine augmenterait également lors de la mise à l'herbe, quel que soit le type de ration et quelle que soit la race (Agabriel *et al.*, 2001) (Figure 11).

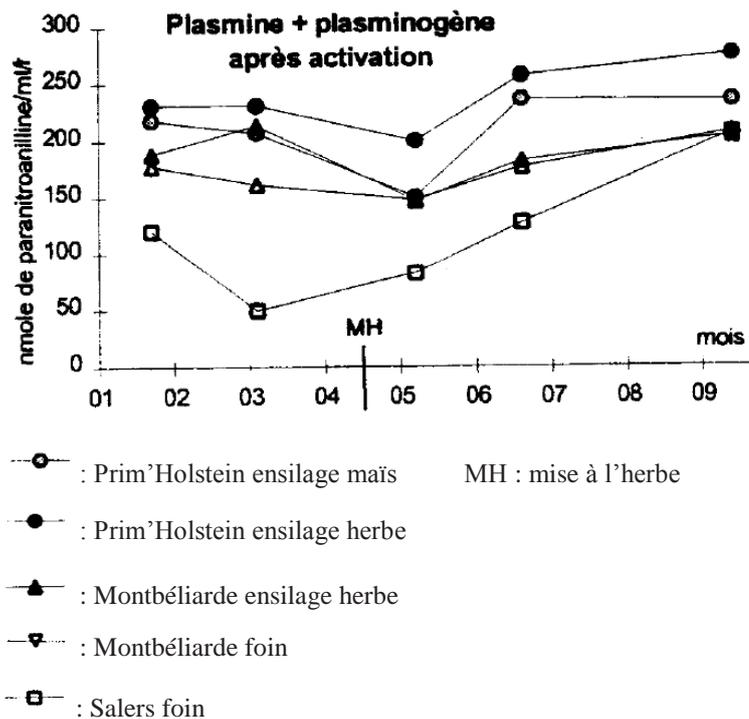


Figure 11 : Evolution du taux de plasmine et de plasminogène du lait au cours de l'année selon le système de production (Agabriel *et al.*, 2001).

En dehors des variations liées aux caractéristiques génétiques, physiologiques et sanitaires du troupeau, la teneur en plasmine du lait peut donc être affectée par des facteurs alimentaires (la mise à l'herbe est un changement alimentaire). Des chercheurs ont également montré que la teneur en plasmine tend à augmenter lors d'une restriction alimentaire des vaches de l'ordre de 30 à 50% (Lacy-Hulbert *et al.*, 1999).

Une étude fait référence à une influence probable de la composition botanique sur la teneur en plasmine et en plasminogène des laits et des fromages (Buchin *et al.*, 1999) (Tableau 6 pour les compositions botaniques des prairies). Des laits et fromages issus de pâturage orientés au nord ou au sud ont été analysés. Bien que cela ne soit pas significatif en raison du faible nombre d'échantillon, il semblerait que la teneur en plasmine et plasminogène des laits de pâturages nord soient plus élevées.

De la même manière, on observe que les fromages des pâturages nord contiennent plus de plasmine, de plasminogène, de  $\gamma$ -caséine, d' $\alpha$ S1-I-caséine, et moins d' $\alpha$ S1-caséine (Tableau 25).

Tableau 25. Composition en plasmine, plasminogène, et caséine des laits et fromages affinés fabriqués avec ces laits issus de différents type de pâtures de montagne (Buchin *et al.*, 1999).

	Pâturage			Significatif
	Sud 1	Nord	Sud 2	
<b>Lait</b>				
Plasmine ( $\mu\text{g/g}$ )	0,76	1,4	0,65	ns
Plasminogène ( $\mu\text{g/g}$ )	1,03	1,56	0,97	ns
<b>Fromage</b>				
Plasmine ( $\mu\text{g/g}$ )	11,9a	16,6b	3,1a	**
Plasminogène ( $\mu\text{g/g}$ )	2,7a	5,2b	2,4a	*
$\beta$ -caséine (g/kg de caséine totale)	150b	122a	156b	*
$\gamma$ 2-caséine (g/kg de caséine totale)	49a	53b	45a	**
$\alpha$ S1-caséine (g/kg de caséine totale)	196b	152a	187b	*
$\alpha$ S1-I-caséine (g/kg de caséine totale)	155a	173b	163a	*

a,b : les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différentes  
 ns : non significatif ; \*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$

Nous avons déjà rapporté dans le paragraphe II.4 que la texture des fromages du pâturage du versant nord était moins ferme, plus fondante et plus pâteuse. Cette différence de texture s'expliquerait par une différence de protéolyse, elle-même influencée par la teneur en enzymes protéolytiques, telle la plasmine. Le rôle joué par cette dernière dans la protéolyse primaire des fromages à pâte pressée cuite est amplifiée car la pâte est chauffée, ce qui provoquerait l'activation du plasminogène en plasmine (Dupont *et al.*, 1998).

Selon Buchin *et al.* (1999) toujours, les différences de teneurs en plasmine et en plasminogène pourraient être liées à la présence de plantes toxiques, notamment des renonculacées, dans l'un des deux alpages étudiés. Leur ingestion, par accident, pourrait affecter les animaux en entraînant un passage accru de plasmine du sang vers le lait. Dans tous les cas, l'augmentation du taux de plasmine dans le lait serait due à une augmentation de la perméabilité cellulaire du tissu mammaire.

Ces travaux sont confirmés par ceux de Bugaud *et al.* (2001a) qui ont comparé les teneurs en plasmine et plasminogène de fromages fabriqués à partir de lait de plaine ou de montagne. Les fromages de montagne contiennent significativement plus de plasmine et de plasminogène. Comme l'ont dit Buchin *et al.* (1999), Bugaud *et al.* (2001a) suggèrent que la présence de plantes comme les Rosacées, les Cypéracées et certaines Renonculacées, puisse contribuer à une augmentation de la concentration en plasmine dans le lait, en modifiant les

propriétés de la barrière sang-lait dans la mamelle, rendant celle-ci plus perméable. Cette dernière pourrait également être affectée par les conditions difficiles de pâturage en montagne, à cause de la marche difficile pour se nourrir, des températures plus basses, du manque d'oxygène, mais aucune étude n'a clairement étudié ces effets.

Une autre enzyme protéolytique, la cathepsine D, provenant également du lait, est sans doute en mesure d'agir sur les caséines au cours de l'affinage, notamment sur les caséines  $\alpha$ S1 (McSweeney *et al.*, 1995). Elle dégraderait, comme la chymosine, la caséine  $\alpha$ S1 en caséine  $\alpha$ S1-I. Buchin *et al.* (1999) suggèrent que les différences de dégradation de la caséine  $\alpha$ S1 observées dans des fromages issus de pâturages différents pourraient être attribuées à cette enzyme et expliquer en partie les différences rhéologiques et sensorielles des fromages. La cathepsine D est sécrétée dans le lait par la mamelle, et on peut imaginer que la sécrétion est fonction de l'état de la mamelle. Les contraintes des zones de prairies pourraient avoir un impact sur l'état des mamelles et ainsi faire varier la teneur en cathepsine D du lait.

En ce qui concerne la flaveur des fromages, la différence d'amertume entre les fromages du pâturage nord et sud pourrait être liée à des différences de protéolyse. Une activité de la plasmine plus forte ainsi qu'une plus forte concentration en  $\gamma$ -caséine ont été associées à l'amertume dans des fromages de type suisse (Grappin *et al.*, 1999).

Il existe d'autres enzymes dans le lait, mais elles ont un rôle négligeable dans la protéolyse des caséines, soit parce qu'elles sont en concentration très faible (phosphatase acide), soit parce que leur activité est limitée (phosphatase alcaline) dans les fromages (Bugaud, 2001d).

### **III.3.3. Effet d'autres constituants du lait**

La composition des protéines du lait est un facteur primordial dans la texture du lait. En effet l'aptitude à la coagulation du lait dicte les qualités de texture du fromage. Cependant la qualité et le type des caséines produites ne semblent pas liés au type d'alimentation, mais plutôt lié à la génétique (Coulon *et al.*, 2004 ; Martin *et al.*, 2003 ; Martin *et al.*, 1995a). Il existe en effet des variants génétiques de certaines caséines. Par exemple, le variant C de la caséine  $\beta$ , typique de la race Tarentaise, confère des caractéristiques de goût et de texture typique au Beaufort (Martin *et al.*, 2003).

Grandison *et al.* (1985) ont montré des différences de teneurs en caséines et en sels minéraux (calcium, phosphore et magnésium) et d'aptitude à la coagulation entre des laits issus de prairies de ray-grass ou de trèfle blanc. Ces différences sont toutefois mineures.

Dans une étude menée dans des conditions réelles de production du fromage de Reblochon, Martin et Coulon (1995a) ont observés qu'en période de pâturage, les gels les plus fermes étaient caractéristiques des laits d'alpages, et plus particulièrement lors du premier passage sur les parcelles lorsque le stade de l'herbe est peu avancé. Cet effet s'expliquerait en partie par la plus forte teneur en calcium et par le rapport calcium/azote plus élevé dans les laits d'alpages. L'influence de la teneur en calcium sur la fermeté des gels a été démontrée il y a longtemps (Grandison *et al.*, 1984 ; Remeuf *et al.*, 1991). Les études se contredisent cependant au sujet de l'évolution du taux de calcium au cours de la saison. Selon certains (Macheboeuf *et al.*, 1993), le taux de calcium du lait augmente à la mise à l'herbe, alors que selon Grandison *et al.* (1984), il diminue.

La teneur en urée dans le lait peut également être un facteur de variation des caractéristiques des fromages (Martin *et al.*, 1997). Des teneurs élevées en urée, liés à une alimentation riche en azote, en particulier lorsque le stade de l'herbe est peu avancé, sont associés à un ralentissement de la cinétique d'acidification pendant le pressage et une fermeté moindre des fromages affinés. Le pH joue un rôle essentiel dans la vitesse d'acidification des fromages (Martin *et al.*, 1995b) et semble influencé par la teneur en urée. Les fromages issus de ces laits avec une teneur en urée importante serait moins apprécié et présenterait des défauts d'ouverture de la pâte (défaut de texture). Une teneur élevée en urée pourrait également inhiber l'activité acidifiante de certaines bactéries (Podhorsky *et al.*, 1989).

#### **III.4. Influence de la nature des pâturages sur les caractéristiques microbiologiques des laits et impact sur les fromages**

Il est reconnu que la microflore adventice du lait joue un rôle prépondérant dans le processus biochimique d'affinage des fromages et la formation d'arômes (De Freitas *et al.*, 2005 ; Demarigny *et al.*, 1996 et 1997 ). La pasteurisation du lait induit de très fortes modifications de composition en composés volatils odorants responsables d'arômes particuliers (Cornu *et al.*, 2007). En effet les olfactogrammes des fromages au lait cru obtenus dans cette étude ont été globalement plus riches en intensité et en nombre de pics que ceux

des fromages au lait pasteurisé. Ceci montre bien que la flore du lait est responsable d'arômes particuliers. Le fait est qu'il est difficile de savoir si l'alimentation fournie aux animaux a un impact, qu'il soit direct ou indirect sur la flore spécifique du lait.

Une partie de la diversité des micro-organismes du lait d'une exploitation ou d'une fromagerie à l'autre pourrait être due à l'alimentation des animaux. Il existerait une micro flore spécifique à chaque zone de production, et celle-ci entraînerait des variations significatives de la qualité sensorielle des fromages (Demarigny *et al.*, 1997).

Il a été suggéré que les terpènes, dont on a vu que les variations dans le lait étaient liées à la nature des fourrages consommés, pouvaient avoir un effet indirect sur les caractéristiques sensorielles des fromages en modifiant la dynamique de l'écosystème microbien durant la fabrication fromagère et l'affinage. Cette hypothèse résulte d'observations indirectes concernant l'existence d'une corrélation négative entre la teneur en terpènes et la teneur en composés volatils (des fromages) issus de la protéolyse microbienne (Buchin *et al.*, 1999, Bugaud *et al.*, 2002, Martin *et al.*, 2002).

Par ailleurs, les travaux de Verdier-Metz *et al.* (2002b) suggèrent que certains effets des régimes sur les propriétés sensorielles des fromages pourraient avoir une origine microbienne : ainsi, sur du fromage de Cantal, des différences de flaveur marquées entre deux régimes alimentaires observées sur des fromages au lait cru disparaissent lorsque le lait est pasteurisé.

Buchin *et al.* (1999), en comparant la protéolyse et la composition en composés volatils de fromages issus de deux pâturages différents, ont suggéré une composition microbiologique différente liée à la zone de pâturage. Cette hypothèse repose sur le fait que tous les fromages étaient issus de laits collectés dans la même salle de traite et ont été fabriqués par le même producteur dans la même salle de fabrication et dans les mêmes conditions.

Concernant l'effet des laits de fin de lactation ou présentant une numération cellulaire élevée, Klei *et al.* (1998) ont émis l'hypothèse que la croissance des bactéries lactiques pouvait être inhibée par les composés antibactériens présents dans les cellules somatiques, contribuant ainsi à des modifications des caractéristiques des fromages. Les facteurs physiologiques et environnementaux seraient donc plus importants que le facteur alimentaire sur les propriétés microbiologiques des laits. L'hygiène de la traite et le lavage du matériel

sont des facteurs qui contrôlent en premier plan la flore microbienne du lait à l'origine de différences de transformation technologique (Michel *et al.*, 2001).

## CONCLUSION

Les caractéristiques des fromages affinés dépendent de nombreux facteurs : effet de la race, effet de la conduite du troupeau et de l'alimentation, effet de la technologie fromagère utilisée, effet des conditions et des durées d'affinage. Lorsque ces facteurs ne sont pas suffisamment contrôlés, il est difficile de mettre en évidence et d'interpréter les effets éventuels des facteurs de production. La majorité des essais rapportés dans cette synthèse ont été conduits dans des conditions de conduite de troupeau et de fabrication fromagère contrôlées, en particulier au niveau de l'affinage. Les résultats qui en sont issus permettent donc de montrer que le type d'alimentation offert aux animaux peut modifier sensiblement les propriétés sensorielles des fromages.

L'utilisation d'ensilage de maïs dans la ration, qui n'a pas une bonne image auprès du consommateur, donne des fromages nettement plus blancs, une texture plus ferme et moins fondante, et des goûts moins aromatiques, une saveur moins prononcée (Carpino *et al.*, 2004 ; Hurtaud *et al.*, 2004 ; Houssin *et al.*, 2002 ; Gaborit *et al.*, 2002). On peut donc dire que ces fromages sont moins appréciés des consommateurs avec des différences assez nettes mêmes si parfois des fromages à base d'herbe comparativement à des fromages issus d'une alimentation au maïs sont plus rances, acides, ou amers (Gaborit *et al.*, 2002). L'effet du mode de conservation de l'herbe a un impact assez fort également. L'emploi d'herbe sous forme d'ensilage donne des fromages plus jaunes, légèrement moins fermes, avec un goût moins intense, moins typique, plus amer et moins plaisant (Verdier-Metz *et al.*, 1998 et 2002). Ces différences sont cependant moins nettes en fonction du type de fromage fabriqué, des fromages issus d'une alimentation à base d'ensilage d'herbe peuvent même plaire et présenter une odeur moins amère et plus fruitée (Verdier-Metz *et al.*, 2005). Un ensilage d'herbe de bonne qualité peut donc permettre l'élaboration de fromage de qualité, avec une légère dépréciation. Enfin le type de pâture peut également avoir son influence, les pâturages de montagne donnent des fromages qui présentent des arômes plus intenses, plus animal, plus piquant, plus fruité, plus diversifié globalement que les pâturages de plaine (Bosset *et al.*, 1999 ; Bugaud *et al.*, 2002 ; Martin *et al.*, 2001). Les attentes du consommateur semblent correspondre à ce type de fromage. L'utilisation de prairie monospécifique (de Dactyle par exemple) donnerait différentes odeurs désagréables, de moisi, de cave, et de rance (Verdier-Metz *et al.*, 2000b et 2002a). Ces différentes études montrent bien qu'il existe de grosses différences de texture et de saveur entre les différents types d'alimentation.

Ces effets sont dus à la présence dans la matière première de molécules ou de structures spécifiques issues directement de l'alimentation (caroténoïdes et terpènes) ou produits par l'animal (plasmine, acides gras, structure des micelles de caséines) sous l'influence de ses caractères génétiques, physiologique, ou sous l'effet du type d'alimentation. Nous avons vu que l'effet des caroténoïdes sur la couleur de la pâte semble évident (Coulon et Priolo, 2002). Celui des terpènes est moins évident. Il est clair que ces molécules spécifiques du monde végétal sont directement issues des plantes (Viallon et al., 2000), et il existe une certaine hétérogénéité de répartition de ces molécules en fonction de l'espèce. Les dicotylédones en sont largement pourvues, alors que les graminées, famille botanique que l'on retrouve en majorité dans les prairies de plaine, n'en ont presque pas (Mariaca *et al.*, 1997). Cependant il ne semble pas que la modification de leur teneur dans le fromage soit suffisante pour s'accompagner d'effet direct important sur la flaveur des fromages (Moio et al., 1996 ; Verdier-Metz *et al.*, 2000a ; Bugaud *et al.*, 2002), même si d'autres auteurs le pensent (Tornambe *et al.*, 2007a). L'effet de ces molécules sur la flore d'affinage reste toujours à démontrer. Les conditions de pâturages semblent avoir un intérêt également, notamment sur la teneur en plasmine et la composition en acides gras. Les pâturages de montagne pourraient ainsi influencer la texture et la flaveur du fromage non seulement à cause de la composition des plantes mais également à cause des conditions contraignantes de ce type de pâturage (Bugaud, 2001d).

Ces résultats constituent des éléments objectifs qui permettent de conforter l'opinion du consommateur quant à l'intérêt d'avoir des produits issus d'un cahier des charges strict qui interdit certains types d'aliments dans la ration. Le fait d'avoir une biodiversité naturelle au sein de nos prairies est également important, et dans un monde où l'homme cherche toujours à produire plus (et donc à standardiser) pour améliorer ses recettes, il serait important de prendre des mesures qui protègent cette biodiversité, qui permet l'élaboration de produits agricoles de qualité et qui reflètent au mieux le terroir dont ils sont issus.

## ANNEXE

Annexe I. Effet du type d'alimentation sur les caractéristiques sensorielles des fromages (Verdier-Metz *et al.*, 2005).

Fromages Régime	Cantalet				Saint-Nectaire			
	S	H	RSD <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>	S	H	RSD <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
<b>Appréciation</b>								
Texture (/5)	3.41	3.67	0.35	**	3.66	3.74	0.31	ns
Flaveur (/10)	6.44	6.95	0.69	**	6.69	6.95	0.67	ns
<b>Texture</b>								
Texture élastique	5.1	5.5	1.06	ns				
Texture ferme	4.6	4.7	1.11	ns	4.5	4.3	1.35	ns
Texture fondante	3.2	3.9	0.89	***	4.3	4.4	1.28	ns
Texture mure	2.7	3.3	0.95	**				
Texture granuleuse					0.9	0.6	0.74	*
Texture friable	3.4	3.6	1.26	ns				
<b>Odeur</b>								
Intensité	3.7	3.7	0.83	ns	5.0	4.9	1.13	ns
Citron	1.0	1.1	0.99	ns				
Aigre					0.4	0.5	0.59	ns
Alcool	0.3	0.02	0.36	***				
Ail	0.8	0.6	0.74	ns				
Beurre	2.3	3.0	1.36	*	1.4	1.0	0.99	ns
Caramel	0.6	0.5	0.99	ns				
Chimique	0.2	0.4	1.1	ns				
Crème fermentée	0.8	0.5	0.95	ns				
Crème fraîche	1.8	2.3	1.56	ns	1.3	1.6	0.99	ns
Ensilage					0.03	0.08	0.23	ns
Epicé	0.3	0.4	0.72	ns				
Acide lactique					0.7	1.0	0.87	ns
Foin	0.8	0.7	0.92	ns	0.2	0.2	0.51	ns
Fruité					0.8	0.7	0.99	ns
Herbe	0.6	1.1	0.93	*	0.09	0.06	0.22	ns
Moisi					0.2	0.2	0.41	ns
Noisette	0.8	1.2	1.26	ns				
Noix	0.4	0.5	0.92	ns				
Persistance					4.2	4.1	1.17	ns
Piquant					0.6	0.4	0.5	ns
Rance					0.3	0.2	0.66	ns
Vanille	0.9	1.1	1.24	ns				

## Annexe I. (suite).

Fromage	Cantalet				Saint-Nectaire			
	S	H	RSD <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>	S	H	RSD <sup>1</sup>	Sig. <sup>2</sup>
<b>Arome</b>								
Intensité	3.6	3.8	0.85	ns	5.4	5.2	0.76	ns
Citron	0.9	1.4	1.15	*				
Aigre					0.4	0.4	0.68	ns
Alcool	0.2	0.02	0.58	ns				
Ail	0.6	0.6	0.61	ns				
Beurre	2.4	2.8	1.30	ns	0.8	0.7	0.77	ns
Caramel	0.4	0.6	0.83	ns				
Champignon					0.14	0.06	0.33	ns
Chimique	0.5	0.1	0.78	*				
Crème fermentée	0.9	0.6	1.03	ns				
Crème fraîche	1.5	1.5	1.43	ns				
Ensilage					0.02	0.05	0.21	ns
Epicé	0.3	0.5	0.71	ns				
Foin	0.6	1.0	0.91	ns				
Fruité					0.7	0.7	1.03	ns
Herbe	0.6	0.6	1.10	ns	0.03	0.07	0.25	ns
Moisi					0.3	0.2	0.33	ns
Noisette	0.9	1.4	1.28	ns				
Noix	0.5	0.7	1.12	ns				
Lait frais					0.8	0.9	0.75	ns
Rance					0.05	0.3	0.41	*
Typique					5.3	5.3	0.83	ns
Vanille	1.1	1.2	1.4	ns				
<b>Flaveurs</b>								
Acide	0.2	0.2	0.49	ns	1.6	1.3	1.23	ns
Intensité	0.2	0.3	0.48	ns	0.9	1.0	0.99	ns
Salé	3.0	3.3	1.0	ns	5.2	5.1	0.57	ns
Doux	1.8	1.9	1.0	ns				
Astringent	0.4	0.6	0.57	ns	0.3	0.4	0.66	ns
Métallique	0.3	0.2	0.41	ns				
Piquant	0.2	0.2	0.49	ns	0.5	0.4	0.54	ns
Persistant	3.1	3.5	0.79	*	5.3	5.0	0.92	ns

1 : RSD : Residual standart deviation

2 : Signification des différences : \* p<0,05 ; \*\* p<0,01 ; \*\*\* p<0,001 ; ns : non significatif

S : régime à base d'ensilage

H : régime à base de foin

Annexe II. Composés volatils, propriétés olfactométriques, et composition absolue en composés volatils neutres dans des laits de brebis nourries sur prairie naturelle, pelouse alpine ou ration complète (Moio *et al.*, 1996).

Peak <sup>1</sup> (no.)	Compound	LRI <sup>2</sup>		Identification <sup>3</sup>	Odor <sup>3</sup>	Concentration					
		Ref.	Obs.			Natural pasture	Grass meadow				Unifeed
							(ppm)				
Esters											
16	Ethyl butanoate	802	804	EI, CI	Apple-like, fruity, sweet	72	3.07	80	3.12	105	2.87
35	Ethyl hexanoate	1002	1003	EI, CI	Unripe fruity, green, sweet	70	2.97	62.7	2.13	42	2.1
42	3-Methyl butanoate	1063	1063	EI, CI		4.1	3.45	3.1	3.11	4.5	4.87
43	2-Methyl butanoate	1064	1064	EI, CI		2.0	3.01	1.1	2.44	1.9	2.91
47	Ethyl heptanoate		1083	EI, CI	Fruity	9.1	1.89	5.7	2.17	7.7	2.12
51	2-Ethylhexanoic acid		1123	EI		3.0	0.81	1.3	1.23	4.6	1.99
52	Ethyl hydroxy-3-hexanoate		1130	EI		3.2	2.89	1.6	3.72	2	4.52
56	Ethyl octanoate	1196	1197	EI, CI	Apple-like, sweet, fruity	50	4.13	62.4	4.09	58.8	5.01
65	Ethyl nonanoate	1319	1320	EI	Fruity	3.1	2.91	5.3	2.45	6	1.77
68	Methyl decanoate (IS)										
72	Ethyl decanoate	1397	1395	EI, CI	Fruity, apple-like	60	6.01	60	5.41	43	3.23
75	Isopropyl decanoate (IS)										
85	Ethyl dodecanoate		1591	EI, CI	Tallowy, soapy	6.1	6.70	6.6	4.3	7	5.09
94	Ethyl tetradecanoate		1790	EI	Tallowy, soapy	10	2.99	15	3.78	18	4.34
102	Ethyl hexadecanoate			EI	Tallowy, soapy	1.2	1.11	2	2.45	5.3	5.55
Aldehydes											
6	n-Pentanal	700	700	EI, CI	Herbaceous	40	2.13	27.3	3.67	22	2.18
25	Heptanal	898	898	EI, CI	Herbaceous, green, oily	10	5.02	8.2	3.21	25	2.11
29	Benzaldehyde		968	EI, CI	Almond-like, nutty	11	4.11	15.2	5.67	6.3	4.21
36	Octanal	1004	1004	EI, CI	Green, fatty	3.0	3.34	3	5.43	6	2.66
40	Phenylacetaldehyde	1050	1052	EI, CI	Floral, broom-like	3.1	1.17	1.5	1.56	0.8	3.88
49	Nonanal	1104	1103	EI, CI	Green, grass-like, fatty	30	2.25	27	2.21	60	3.23
59	Decanal	1209	1209	EI, CI	Herbaceous, orange peel-like	27	3.80	8.6	2.78	29	2.49
67	Undecanal		1310	EI	Aldehydic, herbaceous	1.1	7.94	1.8	3.21	7.4	4.32
Ketones											
1	2-Butanone			EI, CI	Varnish	1.2	4.66	0.9	4.11	1.7	3.33
4	3-Methyl-2-butanone			EI, CI	Sweetish, mint	7.0	3.87	5.4	2.12	5.2	2.18
5	2-Pentanone			EI, CI	Rotten, cheesy	3.1	5.11	4.3	5.31	3.1	2.43
7	3-Hydroxy-2-butanone	718	720	EI		2.1	4.05	3.3	3.21	0.5	3.23
14	2-Hexanone	792	793	EI, CI	Blue cheese	3.0	3.55	2.6	4.34	2.8	3.45
23	2-Heptanone	891	891	EI, CI	Blue cheese, moldy	2.1	4.77	3.7	4.98	2.8	4.32
24	Cyclohexanone		894	EI	Almond-like	3.0	2.59	2.3	4.31	2.1	2.12
46	2-Nonanone	1093	1093	EI, CI	Ketonic, varnishy	2.1	4.33	5.7	2.34	0.9	4.22
64	2-Undecanone	1295	1296	EI, CI	Oily, waxy	3.0	6.03	2.4	2.54	0.6	3.21
Alcohols											
12	1-Pentanol	764	766	EI, CI	Alcoholic, iodoform-like	5.1	3.11	1.7	3.89	8.3	2.11
20	1-Hexanol	859	861	EI, CI	Slightly fruity, green	3.0	2.01	1.5	4.01	5.5	2.34
30	1-Octen-3-ol	982	983	EI, CI	Mushroom, musty, and moldy	8.2	1.55	8.3	2.32	NE	
38	2-Ethyl-1-hexanol	1030	1030	EI		2.1	4.30	1.3	2.21	1.9	5.4
44	1-Octanol	1072	1072	EI, CI		3.2	2.22	7.9	1.11	6.6	2.33
61	Geraniol	1258	1259	EI	Floral, lemon	2.1	5.09	0.7	4.32	8.7	4.3
63	1-Decanol	1274	1273	EI, CI	Unripe fruit	1.1	2.34	1.1	3.23	2.4	1.5
87	1-Tetradecanol			EI	Green	2.2	1.67	3.5	3.67	17.6	3.21

## Annexe II. (suite)

		Sulfur compounds									
26	Dimethylsulfone	926	EI, CI	Sulfurous, hot milk, burnt	250	3.21	127	4.87	25.5	4.32	
		Lactones									
81	$\delta$ -Decalactone	1507	1504	EI, CI	Creamy, coconut-like	1.0	1.78	5.2	3.21	7	5.43
92	$\delta$ -Dodecalactone	1721	1720	EI, CI	Coconut-like	0.5	2.09	0.7	2.12	0.6	3.45
		Nitrogen compounds									
53	N-Formylpiperidine		1145	EI		80	3.44	67	3.56	85	2.11
58	Acetyl piperidine		1205	EI		0.5	5.46	1.3	4.32	0.9	2.67
60	Benzothiazole		1234	EI	Rubber-like	20	3.90	23	3.56	38	4.38
66	Indole	1328	1329	EI	Stable, jasmine, musty, rotten	6.1	2.10	6	4.67	5	5.78
88	Diphenylamine		1637	EI		30	4.22	35	5.12	33	4.35
		Aromatic compounds									
21	1,2-Dimethylbenzene		850	EI		0.1	4.35	0.1	2.12	0.9	2.22
32	1-Ethyl-2-methylbenzene		994	EI		5.2	4.33	3.4	1.23	tr	
45	4-Methylphenol ( <i>p</i> -cresol)	1080	1081	EI, CI	Stable, musty, rotten	3.1	4.03	3.5	2.78	2.6	2.57
55	Naphthalene	1192	1191	EI, CI	Camphoraceous	7.1	2.34	6.9	4.34	8.9	2.65
76	$\beta$ -Caryophyllene			EI		16	3.27	12	2.21	5.7	3.22
		Miscellaneous									
8	Diethoxy-1,1-ethane		730	EI		3.1	3.65	3.4	2.12	5	1.55
34	Decane	1000	1000	EI, CI		7.1	4.99	9.6	3.24	2.9	1.89
48	Undecane	1100	1100	EI, CI		3.2	3.23	8.2	4.32	5.3	3.87
71	$\beta$ -Damascenone + skatole		1390	EI, CI	Overripe fruit	6.0	4.55	7.2	3.78	3.5	3.58
73	Tetradecane	1400	1400	EI, CI		1.1	3.78	2.1	2.67	1.4	4.32
74	Sesquiterpene 206 (M)		1411	EI		30	4.13	22	3.56	ND	
78	Sesquiterpene 206 (M)		1512	EI		6.5	2.99	8.2	5.4	ND	
85	Phthalate		1593	EI		NE		NE		NE	
96	Phthalate			EI		NE		NE		NE	
98	Phthalate			EI		NE		NE		NE	

<sup>1</sup>The peak numbers on high resolution gas chromatography (GC).

<sup>2</sup>Linear retention indices determined on DB-5 column (30 mm  $\times$  0.32 mm i.d.; J & W Scientific, Inc., Folsom, CA). Ref = Reference; Obs = observed.

<sup>3</sup>EI = Electron impact mass spectrometry, CI = chemical ionization mass spectrometry using NH<sub>3</sub>, IS = internal standard, tr = trace, NE = not evaluated because the corresponding peak contained more than one component, ND = not detected, and M = molecular ion observed in the electron impact-mass spectrometry spectrum.

<sup>4</sup>Odors perceived at the sniffing port of the GC.

<sup>5</sup> $\bar{M}$  = Masses of triadicate analyses

Annexe III. Principales odeurs détectées par olfactométrie dans les laits de brebis nourries à base de rations différentes (Moio *et al.*, 1996).

Peak <sup>1</sup> (no.)	Compound <sup>2</sup>	LRI <sup>3</sup>	Odor description <sup>4</sup>	Charm value <sup>5</sup>					
				Natural pasture		Grass meadow		Mixed grain ration	
				$\bar{X}$	(%) <sup>6</sup>	$\bar{X}$	(%)	$\bar{X}$	(%)
1	Ethyl butanoate	804	Fruity, fragrant, sweet	831	24	1057	30	1066	27.7
2	Unknown	825	Hot milk, smoked cheese	31	0.9	12	0.34	40	1
3	Heptanal	897	Herbaceous, green, oily	274	7.7	186	5.5	868	22.4
4	Dimethylsulfone	924	Sulfurous, hot milk, burnt	248	7	127	3.6	33	0.9
5	1-Octen-3-ol	980	Mushroom-like, musty, earthy	461	13	477	13.7	215	5.6
6	Ethyl hexanoate	1003	Vegetable-like, unripe fruit	1248	35.4	1019	29.3	909	23
7	Octanal	1004	Freshly cut-grass, oily	6	0.17	5	0.14	13	0.3
8	4-Methylphenol	1082	Phenolic, musty, stable	11	0.31	18	0.51	18	0.5
9	Nonanal	1103	Green, grass-like, tallowy, oily	107	3	109	3.21	247	6.4
10	Unknown	1164	Earthy	112	3.1	98	2.9	53	1.4
11	Unknown	1225		9	0.23	22	0.8	207	5.3
12	Unknown	1247	Mutton, lamb, pungent	3	0.08	93	2.8	19	0.5
13	Indole	1340	Fragrant, jasmine, stable	169	4.8	150	4.4	135	3.5
14	Unknown	1453	Peach-like	11	0.31	98	2.8	50	1.5

<sup>1</sup>Peak numbers: 1 = ethyl butanoate, 3 = heptanal, 4 = dimethylsulfone, 5 = 1-octen-3-ol, 6 = ethyl hexanoate, 7 = octanal, 8 = 4-methylphenol, 9 = nonanal, 13 = indole; all others are unknown.

<sup>2</sup>Each compound was identified by comparing it with the reference substances.

<sup>3</sup>Linear retention index was determined on a DB-5 column (J & W Scientific, Inc., Folsom, CA), mass spectrum was obtained by electron impact, and chemical ionization and odor quality were perceived at the sniffing port.

<sup>4</sup>Odor description assigned during Charm analysis.

<sup>5</sup>Area under the peaks in the Charm chromatogram. Values are means of triplicate analyses.

<sup>6</sup>Relative percentage of the total Charm value

Annexe IV. Composition en acides gras, en vitamines A et E et en caroténoïdes de la Tomme de Savoie selon la saison de fabrication (Lucas et al., 2004).

	Hiver <sup>1</sup>			Printemps <sup>2</sup>		Eté <sup>3</sup>		Effet saison <sup>4</sup>		
	1 <sup>er</sup> décile	moyenne	9 <sup>e</sup> décile	1 <sup>er</sup> décile	moyenne	9 <sup>e</sup> décile	1 <sup>er</sup> décile	moyenne	9 <sup>e</sup> décile	
<b>Acides gras (mg.g<sup>-1</sup> de fromage frais)</b>										
∑ saturés	167	<b>186<sup>b</sup></b>	208	152	<b>172<sup>a</sup></b>	192	153	<b>178<sup>a</sup></b>	203	**
∑ C12:0 + C14:0 + C16:0	110	<b>126<sup>b</sup></b>	147	94,5	<b>112<sup>a</sup></b>	133	95,6	<b>114<sup>a</sup></b>	136	***
∑ <i>trans</i>	5,73	<b>6,88<sup>a</sup></b>	8,34	7,22	<b>13,4<sup>b</sup></b>	21,4	8,05	<b>12,0<sup>b</sup></b>	16,6	***
CLA	1,24	<b>1,73<sup>a</sup></b>	2,34	1,72	<b>4,03<sup>b</sup></b>	7,29	1,82	<b>3,75<sup>b</sup></b>	5,70	***
C18:2 (ω6)	3,50	<b>4,16<sup>a</sup></b>	5,43	3,12	<b>4,11<sup>a</sup></b>	5,07	3,68	<b>4,55<sup>a</sup></b>	5,51	ns
C18:3 (ω3)	1,44	<b>1,96<sup>a</sup></b>	2,60	1,75	<b>2,25<sup>ab</sup></b>	3,03	1,32	<b>2,58<sup>b</sup></b>	3,97	*
<b>Caroténoïdes (μg.g<sup>-1</sup> de fromage frais)</b>										
β-carotène	0,97	<b>1,62<sup>a</sup></b>	2,49	1,28	<b>3,41<sup>b</sup></b>	4,81	2,57	<b>3,99<sup>b</sup></b>	5,10	***
lutéine	0,07	<b>0,10<sup>a</sup></b>	0,14	0,10	<b>0,16<sup>b</sup></b>	0,24	0,09	<b>0,14<sup>b</sup></b>	0,19	***
<b>Vitamines (μg.g<sup>-1</sup> de fromage frais)</b>										
Vitamine A	0,78	<b>1,22<sup>a</sup></b>	1,81	0,96	<b>1,62<sup>b</sup></b>	1,97	0,93	<b>1,36<sup>ab</sup></b>	1,74	*
Vitamine E	2,45	<b>3,52<sup>a</sup></b>	4,82	2,67	<b>5,96<sup>b</sup></b>	7,83	4,09	<b>5,87<sup>b</sup></b>	8,93	***

<sup>1</sup>n=36; <sup>2</sup>n=18; <sup>3</sup>n=35; <sup>4</sup>ns=non significatif, \*: P<0,05, \*\*: P<0,01, \*\*\*: P<0,001

Annexe V. Composition en acides gras des laits au cours de la saison estivale (Saulnier et al., 2007).

	Monta-gnette <sup>1</sup>	Alpage			Si <sup>2</sup>	SE <sup>3</sup>
		début	milieu	fin		
Date préél.	6-juin	21 juin	19 juil	26 aout		
Altitude (m)	1200	1613	1913	1863		
<b>Acides gras</b>						
C4:0-C10:0	7,9a	7,6a	7,5ab	6,9b	*	0,2
C12:0-C16:0	44,4a	40,3b	41,6ab	39,3b	*	1,2
C18:0	10,1	10,9	11,3	10,9	ns	0,3
C18:1 <i>cis</i>	22,1a	23,7ab	23,4ab	25,4b	+	0,8
C18:1 <i>trans</i>	3,7	3,8	3,7	3,5	ns	0,3
C18:2	3,7a	3,8a	3,9ab	4,2b	+	0,2
C18:2 c9t11	1,4	1,5	1,5	1,7	ns	0,1
C18:3 n-3	1,0a	1,1a	1,2b	1,2b	*	0,1
∑ AGS	65,4a	62,6ab	63,2ab	60,6b	*	0,9
∑ AGMI	28,1a	30,1ab	29,6ab	31,6b	+	0,8
∑ AGPI	5,0a	5,1a	5,3ab	5,7b	*	0,3
∑ AG <i>trans</i>	5,7	6,0	5,8	5,8	ns	0,4
∑ AG n-3	1,1a	1,2a	1,3ab	1,3b	*	0,1

<sup>1</sup> Zone d'altitude intermédiaire où les animaux pâturent au printemps avant la montée en alpage, <sup>2</sup> Signification, ns: non significatif, + : p<0,10, \* : p<0,05, \*\*:p<0,01, <sup>3</sup> Erreur Standard, les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes (P<0,05).

Annexe VI. Comparaison des teneurs en acides gras (en % des AG totaux) de la prairie et des laits correspondants, en fonction de la composition floristique de la prairie (à partir d'une compilation bibliographique).

**Gra (RGA) : graminées dont ray-grass anglais ; Leg : légumineuses ; Div : diverses ; Ns : nombre d'espèces recensées ; Is : indice de Shannon ; MG : matière grasse ; AGS : somme des acides gras saturés ; AGMI : somme des acides gras monoinsaturés ; AGPI : somme des acides gras polyinsaturés ; C18:2 : acide linoléique ; C18:3 : acide linoléique ; C18:1t11 : acide vaccénique ; CLA : acide linoléique conjugué C18:2c9t11 ; \* : somme des CLA ; \*\* : somme des CLA ; \*\* : C18:1t10 + C18:1t11 ; \*\*\* : tous isomères du C18:2.**

Auteur	Intitulé des prairies	Caractéristique de la prairie				Herbe				Lait				
		Gra (RGA)/Leg/Div	Ns	Is	% MG	C18:2	C18:3	AGS	AGMI	AGPI	C18:2	C18:3	C18:1t11	CLA
Morel <i>et al</i> 2006	Trèfle violet en culture pure		-	-	-	15,1	64,4	58	29	4,5	1,3	0,8	1,9	1,0*
	Prairie très riche en graminées	99 (36)/1/0	-	-	-	19,9	55,3	59	30	5,0	1,6	1,1	1,7	0,9*
Tomambé <i>et al</i> 2007b	Prairie peu diversifiée	76 (29)/7/17	17	2,3	2,0	14,0	61,2	-	-	-	0,84b	0,63ab	2,81b	1,88
	Prairie moyennement diversifiée	74 (0)/19	31	3,7	1,8	14,6	60,9	-	-	-	0,76c	0,57b	3,10ab	1,73
Collomb <i>et al</i> 2002b	Prairie très diversifiée	52 (0)/2/46	50	4,1	1,6	18,7	54,0	-	-	-	1,04a	0,72a	3,62a	1,62
	Vallée	65/36/0	6	2,1	-	-	-	-	-	-	1,1b	0,8b	2,1c**	0,8c
	Montagne	65/7/29	52	4,1	-	-	-	-	-	-	1,4a	0,8b	3,7b**	1,5b
Bugaud <i>et al</i> 2000	Haute montagne	42/10/48	53	4,3	-	-	-	-	-	-	1,3a	1,2a	5,1a**	2,2a
	Vallée (3 prairies) min et max	29/19/15 63/26/43	16 29	- -	2,4 2,9	17,9 25,4	42,8 53,2	- -	- -	- -	4,2*** 4,5***	0,8 1,1	- -	- -
	Montagne (4 prairies) min et max	39/4/22 54/24/58	23 26	- -	1,9 2,2	15,118,1	47,153,8	- -	- -	- -	5,4*** 7,3***	1,3 1,6	- -	- -
Lourenço <i>et al</i> 2005	Prairie peu diversifiée (Ens.)	96 (6)/ 0/4	-	-	1,2	13,9	39,1	-	-	-	0,86a	0,55a	0,50a	0,26a
	Prairie diversifiée (Ens.)	55 (4)/ 11/34	-	-	1,3	14,6	38,6	-	-	-	0,95b	0,59b	0,82b	0,44b
Guichard <i>et al</i> 2006	Prairies peu diversifiées à graminées	88 (10)/ 6/6	-	-	-	-	-	66,6	29,1	4,4a	1,3a	0,8	4,3	1,7a
	Prairies diversifiées à plantes aromatiques	66 (13)/ 8/27	-	-	-	-	-	66,8	28,8	4,4a	1,4a	0,9	4,2	1,5a
	Prairies diversifiées à légumineuses	59 (5)/ 20/21	-	-	-	-	-	64,3	30,4	5,3b	1,5b	0,9	5,4	2,2b
Astier <i>et al</i> 2004	Prairies de ray-grass de Bretagne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73a
	Prairies permanentes d'Auvergne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,44b

## **BIBLIOGRAPHIE**

AGABRIEL C., COULON J.B., JOURNAL C. et al., Variabilité des caractéristiques des fromages Saint Nectaire fermiers : relations avec la composition du lait et les conditions de production, *Lait*, 1999, 79, 291-302.

AGABRIEL C., COULON J.B., SIBRA C. et al., Variabilité des caractéristiques des fromages Saint Nectaire fermiers : relations avec la composition du lait et les conditions de production, *Renc. Rech. Rum.*, 2000, 7, 311.

AGABRIEL C., COULON J.B., JOURNAL C. et al., Evolution de la composition chimique des laits de troupeau de cinq systèmes de production du Massif Central, *Renc. Rech. Rum.*, 2001, 8, 93.

ALBENZIO M., CAROPRESE M., SANTILLO A. et al., Effects of somatic cell count and stage of lactation on the plasmin activity and cheese making properties of ewe milk, *J. Dairy Sci.*, 2004, 87, 533-542.

ARRIGO Y., Influence de la conservation de l'herbe sur la teneur en graisse et la composition en acides gras, Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, 2007.

ASTIER C., ROCK E., CHARDIGNY J.M. et al., Effet de l'origine géographique et du traitement thermique du lait de vache sur sa qualité nutritionnelle, *Renc. Rech. Rum.*, 2004, 11, 75.

AULDIST M.J., COATS S., SUTHERLAND B.J. et al., Effect of somatic cell count and stage of lactation on raw milk composition and the yield and quality of Cheddar cheese, *J. Dairy Res.*, 1996, 63, 269-280.

BEN LAWLOR J., DELAHUNTY C.M., WILKINSON M.G. et al., Relationships between the sensory characteristics, neutral volatile composition and gross composition of ten cheese varieties, *Lait*, 2001, 81, 487-507.

BERDAGUE J.L., GRAPPIN R., Affinage et qualité du gruyère de Comté VI. Caractéristiques sensorielles des fromages, *Le Lait*, 1988, 68 (2), 189-204.

BONNEFOY J.C., SIBRA C., AGABRIEL C. et al., Effet des systèmes de production sur les caractéristiques sensorielles de fromages Cantal : étude à l'échelle d'une entreprise, *Renc. Rech. Rum.*, 2002, 9, 368.

BOSSET J.O., JEANGROS B., BERGER T. et al., Comparaison de fromages à pâte dure de type Gruyère produits en région de montagne et de plaine, *Rev. Suisse Agric.*, 1999, 31, 17-22.

BUCHIN S., DELAGUE V., DUBOZ G. et al., Influence du type de fourrage et du traitement thermique du lait sur les caractéristiques biochimiques et sensorielles d'un fromage de type morbier, Du terroir au goût des fromages, 5th plenary meeting AIR 2039- COST'95, 27-28 sept. 1997, Besançon, France, 138-152.

BUCHIN S., DELAGUE V., DUBOZ G. et al., Influence of pasteurization and fat composition of milk on the volatile compounds and flavor characteristics of a semi-hard cheese, *J. Dairy Sci.*, 1998, 81, 3097-3108.

BUCHIN S., MARTIN B., DUPONT D. et al., Influence of the composition of alpine highland pasture on the chemical, rheological and sensory properties of cheese, *J. Dairy Res.*, 1999, 66, 579-588.

BUGAUD C., BORNARD A., HAUWUY A. et al., Relation entre la composition botanique de végétations de montagne et leur composition en composés volatils, *Fourrages*, 2000, 162, 141-155.

BUGAUD C., BUCHIN S., COULON J.B. et al., Influence of the nature of alpine pastures on plasmin activity, fatty acid and volatile compound composition of milk, *Lait*, 2001a, 81, 401-414.

BUGAUD C., BUCHIN S., HAUWUY. et al., Relationships between flavor and chemical composition of Abondance cheese derived from different types of pastures, *Lait*, 2001b, 81, 757-773.

BUGAUD C., BUCHIN S., NOEL Y. et al., Relationships between Abondance cheese texture, its composition and that of milk produced by cows grazing different types of pastures, *Lait*, 2001c, 81, 593-607.

BUGAUD C., Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage : cas du fromage d'Abondance, thèse universitaire de Bourgogne, 2001d, 120p.

BUGAUD C., BUCHIN S., HAUWUY A. et al., Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage : cas du fromage d'Abondance, *INRA Prod. Anim.*, 2002, 15, 31-36.

CARPINO S., HORNE J., MELILLI C. et al., Contribution of native pasture to the sensory properties of Ragusano cheese, *J. Dairy Res.*, 2004, 87, 308-315.

CAVANI C., BIANCONI L., MANFREDINI M. et al., Effects of a complete diet on the qualitative characteristics of ewe milk and cheese, *Small Ruminant Res.*, 1991, 5, 273-284.

CHAUVEAU DURIOT B., THOMAS D., PORTELLI J. et al., Effet du mode de conservation sur la teneur en caroténoïdes des fourrages, *Renc. Rech. Rum.*, 2005, 12, 117.

CHENAIS F., RICHOUX R., HOUSSIN B., Nature des fourrages et qualité nutritionnelle de la matière grasse du lait, *Renc. Rech. Rum.*, 2004, 11, 71.

CHILLIARD Y., FERLAY A., MANSBRIDGE R.M. et al., Ruminant milk fat plasticity : nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans conjugated fatty acids, *Ann. Zootech.*, 2000, 49, 151-205.

CHILLIARD Y., FERLAY A., DOREAU M., Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids, *Livestock Prod. Sci.*, 2001, 70, 31-48.

CHUNG T.Y., EISERICH J.P., SHIBAMOTO T., Volatile compounds isolated from edible Korean Chamchwi (*Aster scaber* Thunb), *J. Agric. Food Chem.*, 1993, 41, 1693-1697.

CLAPS S., RUBINO R., FEDELE V. et al., Effect of concentrate supplementation on milk production, chemical features and milk volatile compounds in grazing goats, *Options méditerranéennes, Série A, Séminaire méditerranéen*, FAO, 2005, 67, 201-204.

COLLOMB M., BUTIKOFER U., SPAHNI M. et al., Fatty acid and glyceride composition of cow's milk fat in high- and lowland regions, *Sciences des Alim.*, 1999, 19, 97-110.

COLLOMB M., BUTIKOFER U., SIEBER R. et al., Composition of fatty acids in cow's milk fat produced in the lowlands, mountains and highlands of Switzerland using high-resolution gas chromatography, *Int. Dairy J.*, 2002a, 12, 649-659.

COLLOMB M., BUTIKOFER U., SIEBER R. et al., Correlation between fatty acids in cows' milk fat produced in the Lowlands, Mountains and Highlands of Switzerland and botanical composition of the fodder, *Int. Dairy J.*, 2002b, 12, 661-666.

CORNU A., CARNAT A.P., MARTIN B. et al., Analyse des terpènes de plantes de prairie naturelle d'Auvergne, *Renc. Rech. Rum.*, 2000, 7, 310.

CORNU A., KONDOYAN N., MARTIN B. et al., Vers une reconnaissance des principaux régimes alimentaires des vaches à l'aide des profils terpéniques du lait, *Renc. Rech. Rum.*, 2002, 9, 370.

CORNU A., KONDOYAN N., CARNAT A.P. et al., Nature des composés terpéniques de laits de vaches alimentées avec différents régimes, *Renc. Rech. Rum.*, 2003, 10, 236.

CORNU A., RABIAU N., PRADEL P. et al., Contribution de la pasteurisation, de la durée d'affinage et de l'alimentation des vaches à la formation des composés d'arôme de fromages de type Cantal, *Renc. Rech. Rum.*, 2007, 14.

COULON J.B., PRADEL P., VERDIER I., Effect of forage type on milk yield, chemical composition and clotting properties of milk, *Lait*, 1995, 75, 513-521.

COULON J.B., PRADEL P., COCHARD T. et al., Effect of extreme walking conditions for dairy cows on milk yield, chemical composition, and somatic cell count, *J. Dairy Sci.*, 1998, 81, 994-1003.

COULON J.B., MARTIN B., VERDIER-METZ I. et al., Etude du lien entre terroir et produit dans le cas des fromages AOC : influence de la composition floristique des fourrages sur les caractéristiques chimiques et sensorielles des fromages affinés, *Renc. Rech. Rum.*, 2000, 7, 304.

COULON J.B., PRIOLO A., La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux, *INRA Prod. Anim.*, 2002, 15, 333-342.

COULON J.B., DELACROIX-BUCHET A., MARTIN B. et al., Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses : a review, *Lait*, 2004, 84, 221-241.

COULON J.B., DELACROIX-BUCHET A., MARTIN B. et al, Facteurs de production et qualité sensorielle des fromages, INRA Prod. Anim., 2005, 18(1), 49-62.

DE FREITAS I., PINON N., LOPEZ C. et al., Microstructure, physicochemistry, microbial populations and aroma compounds of ripened Cantal cheeses, Lait, 2005, 85, 453-468.

DEMARIGNY Y., BEUVIER E., DASEN A. et al., Influence of raw milk microflora on the characteristics of Swiss type cheeses. I. Evolution of microflora during ripening and characterization of facultatively heterofermentative lactobacilli, Lait, 1996, 76, 371-387.

DEMARIGNY Y., BEUVIER E., BUCHIN S. et al., Influence of raw milk microflora on the characteristics of Swiss type cheeses. II. Biochemical and sensory characteristics, Lait, 1997, 77, 151-167.

DEMARQUILLY C., Ensilage et contamination du lait par les spores butyriques, INRA Prod. Anim., 1998, 11, 354-359.

DEMEYER D., DOREAU M., Pourquoi et comment modifier les lipides du lait et de la viande bovine, Cah. Nutr. Diét., 1999, 34, 301-308.

DUBROEUCQ H., MARTIN B., FERLAY A. et al., L'alimentation des vaches est susceptible de modifier les caractéristiques sensorielles du lait, Renc. Rech. Rum., 2002, 9, 351.

DUPONT D., REMOND B., COLLIN J.C., ELISA determination of plasmin and plasminogen in milk of individual cows managed without the dry period, Milchwissenschaft, 1998, 53, 66-69.

FARRUGGIA A., MARTIN B., BAUMONT R. et al., Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ?, INRA Prod. Anim., 2008, 21(2), 181-200.

GABORIT P., RAYNAL-LJUTIVAC K., LAURENT A. et al., Flavour of goat milk and cheeses according to feeding : alfalfa hay or maize silage with oleic sunflower or linseed oil supplementation, British Grassland Society, 2002, 562-563.

GAGNAIRE S., VANHAECKE C., Quelle relation peut on envisager entre la nature de la flore pâturée et la qualité sensorielle des fromages, Revue des ENIL 216, 1998, 14-15.

GRAPPIN R., BEUVIER E., BOUTON Y. et al., Advances in the biochemistry and microbiology of Swiss-type cheeses, Lait, 1999, 79, 3-22.

GRANDISON A.S., FORD G.D., MILLARD D. et al., Chemical composition and coagulating properties of renneted milks from cows during early lactation, J. Dairy Res., 1984, 51, 407-416.

GRANDISON A.S., MANNING D.J., THOMSON D.J. et al., Chemical composition, rennet coagulation properties and flavour of milks from cows grazing ryegrass or white clover, J. Dairy Res., 1985, 52, 33-39.

GROUX M., MOINAS M., La flaveur des fromages II. Etude comparative de la fraction volatile neutre de divers fromages, *Le lait*, 1974, 531-532, 44-52.

GUICHARD H., Contribution au développement de méthodes instrumentales pour la caractérisation sensorielle des fromages à pâte pressée cuite de type Emmental, Comté, Beaufort : Etude de la fraction volatile et de la fraction azotée soluble dans l'eau, thèse, Université de Bourgogne, 1995.

GUICHARD H., LECONTE D., PICOCHÉ B. et al., Influence de la composition floristique des prairies permanentes normandes sur les caractéristiques des laits crus dérivés, *Fourrages*, 2006, 188, 457-475.

HOLLAND R., LIU S.Q., CROW V.L. et al., Esterases of lactic acid bacteria and cheese flavour : milk fat hydrolysis, alcoholysis and esterification, *Int. Dairy J.*, 2005, 15, 711-718.

HOUSSIN B., FORET A., CHENAIS F. et al., Effect of winter diet (corn vs. grass silage) of dairy cows on the organoleptic quality of butter and camembert cheese, *Grassland Science in Europe*, 2002, 7, 572-573.

HOUSSIN B., CHENAIS F., FORET A., Influence du régime hivernal des vaches laitières sur la qualité organoleptique des beurres et des camemberts, *Renc. Rech. Rum.*, 2003, 10, 219.

HOUSSIN B., CHENAIS F., HARDY A., Utilisation du foin par les vaches laitières. Influence sur les performances zootechniques, sur la composition de la matière grasse du lait et sur les qualités organoleptiques des Camemberts, *Renc. Rech. Rum.*, 2005, 12, 414.

HURTAUD C., BERTHELOT D., DELABY L. et al., Winter feeding systems and dairy cows breed have an impact on Camembert and Pont l'Eveque PDO cheeses in Normandy, *Grassland Science in Europe*, 2004, 8, 1145-1147.

JEANGROS B., SCEHOVIC J., TROXLER J., La composition de l'herbe des pâturages de montagne est-elle différente de celle des prairies de plaine ?, *Revue Suisse Agric.*, 2000, 32 (2), 63-68.

KLEI L., YUN J., SAPRU A. et al., Effects of milk somatic cell count on cottage cheese yield and quality, *J. Dairy Sci.*, 1998, 81, 1205-1213.

LACY-HULBERT S.J., WOOLFORD M.W., NICHOLAS G.D. et al., Effects of milking frequency and pasture intake on milk yield and composition of late lactation cows, *J. Dairy Sci.*, 1999, 82, 1232-1239.

LAVANCHY P., BERODIER F., ZANNONI M. et al., L'évaluation sensorielle de la texture des fromages à pâte dure ou semi-dure, étude interlaboratoires, *Lebensm.-Wiss. U. Technol.*, 1993, 26, 59-68.

LAWRENCE R.C., CREAMER L.K., GILLES J., Texture development during cheese ripening, *J. Dairy Sci.*, 1987, 70, 1748-1760.

L'Enseignement de Bromatologie à l'Ecole Vétérinaire de Lyon. (Page consultée le 7 décembre 2009). Site écrit et supervisé par Laurent ALVES de OLIVEIRA, Maître de

Conférences en Alimentation des animaux à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, [en ligne]. Adresse URL : <http://www2.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmlait/compolai.html>

LOURENCO M., VLAEMINCK B., BRUINENBERG M. et al., Milk fatty acid composition and associated rumen lipolysis and fatty acid hydrogenation when feeding forages from intensively managed or semi-natural grasslands, *Anim. Res.*, 2005, 54, 471-484.

LUCAS A., MICHEL V., FERLAY A. et al., Variabilité de composition en acides gras, en vitamines liposolubles et en caroténoïdes dans le fromage : exemple de la Tomme de Savoie, *Renc. Rech. Rum.*, 2004, 11, 76.

MACHEBOEUF D., COULON J.B., D'HOUR P., Effect of breed, protein genetic variants and feeding on cows' milk coagulation properties, *J. Dairy Res.*, 1993, 60, 43-54.

MARIACA R.G., BERGER T.F.H., GAUCH R., Occurrence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products, *J. Agric. Food Chem.*, 1997, 45, 4423-4434.

MARTIN B., COULON J.B., Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. I. Influence des facteurs de production sur l'aptitude à la coagulation des laits de troupeaux, *Lait*, 1995a, 75, 61-80.

MARTIN B., COULON J.B., 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*, 1995b, 75, 133-149.

MARTIN B., COULON J.B., CHAMBA J.F. et al., Effect of milk urea content on characteristics of matured Reblochon cheeses, *Lait*, 1997, 77, 505-514.

MARTIN B., BUCHIN S., HAUWUY A. et al., Effet de la nature botanique des pâturages sur les caractéristiques sensorielles du fromage de Beaufort, In : *I formazzi d'alpeggio e loro tracciabilità*, ANFOSC (ed), Bella, 2001, 230-237.

MARTIN B., HURTAUD C., MICOL D., Le rôle des fourrages dans la qualité des produits animaux : comment répondre aux attentes du consommateur ? *Fourrages*, 2002, 171, 253-264.

MARTIN B., BUCHIN S., HURTAUD C., Conditions de production du lait et qualités sensorielles des fromages, *INRA Prod. Anim.*, 2003a, 16 (4), 283-288.

MARTIN B., BUCHIN S., HAUWUY A. et al., Effet des systèmes de production sur la qualité sensorielle des fromages – Etude à l'échelle d'une coopérative produisant du Beaufort, *Renc. Rech. Rum.*, 2003b, 10, 237.

MARTIN B., VERDIER-METZ I., BUCHIN S. et al., How do the nature of forages and pasture diversity influence the sensory quality of dairy livestock products? *Anim. Sci.*, 2005, 81, 205-212.

MASSON C., ROUSSEAUX P., DECAENC., Variations géographiques et saisonnières de la qualité du fromage de Comté, *Lait*, 1981, 61, 31-48.

MCSWEENEY P.L.H., FOX P.F., OLSON N.F., Proteolysis of bovine caseins by cathepsine D : preliminary observations and comparison with chymosin, *Int. Dairy J.*, 1995, 5, 321-336.

MCSWEENEY P.L.H., SOUSA M.J., Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening : a review, *Lait*, 2000, 80, 293-324.

MICHALSKI M.C., GASSI J.Y., FAMELART M.H. et al., The size of native milk fat globules affects physico-chemical and sensory properties of Camembert cheese, *Lait*, 2003, 83, 131-143.

MICHEL V., HAUWUY A., CHAMBA J.F., La flore microbienne de laits crus de vache : diversité et influence des conditions de production, *Lait*, 2001, 81, 575-592.

MOINAS M., GROUX M., HORMAN I., La saveur des fromages. III. Mise en évidence de quelques constituants mineurs de l'arôme du camembert, *Le lait*, 1975, 547, 414-417.

MOIO L., RILLO L., LEDDA A. et al., Odorous constituent in ovine milk in relationship to diet, *J. Dairy Sci.*, 1996, 79, 1322-1331.

MOIO L., PIOMBINO P., ADDEO F., Odour-impact compounds of Gorgonzola cheese, *J. Dairy Res.* 2000, 67, 273-285.

MULVIHILL D.M., MCCARTHY A., Relationships between plasmin levels in rennet caseins and proteolytic and rheological changes on storage of cheese analogues made from these caseins, *J. Dairy Res.*, 1993, 60, 431-438.

MUNRO G.L., GRIEVE P.A., KITCHEN B.J., Effects of mastitis on milk yield, milk composition, processing properties and yield and quality of milk products, *Aust. J. Dairy Technol.*, 1984, 39, 7-16.

O'FARRELL I.P., SHEEHAN J.J., WILKINSON M.G. et al, Influence of addition of plasmin or mastitic milk to cheesemilk on quality of smear-ripened cheese, *Lait*, 2002, 82, 305-316.

PODORSKY M., CVAK Z., The influence of non-protein nitrogen on hygiene and processing properties of milk, *Prumysl Potravin*, 1989, 40, 83-81.

POVOLO M., CONTARINI G., MELE M. et al., Study on the influence of pasture on volatile fraction of ewes' dairy products by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry, *J. Dairy Sci.*, 2007, 90, 556-569.

Protéines alimentaires. (Page consultée le 7 décembre 2009). Site de l'université d'agronomie de Lille 1, [en ligne]. Adresse URL : [http://biochim-agro.univ-lille1.fr/proteines/co/Module\\_Proteines\\_18.html](http://biochim-agro.univ-lille1.fr/proteines/co/Module_Proteines_18.html)

REMEUF F., COSSIN V., DERVIN C. et al., Relations entre les caractères physico-chimiques des laits et leur aptitude fromagère, *Lait*, 1991, 71, 397-421.

SAULNIER M., FERLAY A., MICHEL V. et al., Composition en acides gras des laits et des fromages de la zone Beaufort, *Renc. Rech. Rum.*, 2007, 14, 346.

TORNAMBE G., CORNU A., VERDIER-METZ I. et al., Effet de l'addition dans le lait d'une huile essentielle de plantes de prairie naturelle sur les caractéristiques sensorielles de fromage de type Cantal, Renc. Rech. Rum., 2007a, 14, 100.

TORNAMBE G., FERLAY A., FARRUGGIA A. et al., Effet de la diversité floristique des pâturages de montagne sur le profil en acides gras et les caractéristiques sensorielles des laits, Renc. Rech. Rum., 2007b, 14, 333.

TOSSO B., STEPHANON B., Effect of ration composition on sensory properties of matured Montasio cheese, *Scienza e tecnica latterio casearia*, 2001, 52, 257-268.

TRANA A., FEDELE V., CIFUNI G.F. et al., Relationships among diet botanical composition, milk fatty acid and herbage fatty acid content in grazing goats, *Options Méditerranéennes, Série A, Séminaire méditerranéen*, FAO, 2005, 67, 269-273.

URBACH G., Effect of feed on flavor in dairy food, *J. Dairy Sci.*, 1990, 73, 3639-3650.

URBACH G., The flavor of milk and dairy products : II Cheese : contribution of volatile compounds, *Int. J. Dairy Technol.*, 1997, 50, 79-89.

VERDIER I., COULON J.B., PRADEL P. et al., Effect of forage type and cow breed on the characteristics of matured Saint-Nectaire cheeses, *Lait*, 1995, 523-533.

VERDIER-METZ I., COULON J.B., PRADEL P. et al., 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.*, 1998, 65, 9-21.

VERDIER-METZ I., COULON J.B., VIALLON C. et al., Effet de la conservation du fourrage sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fromages, Renc. Rech. Rum., 2000a, 7, 318.

VERDIER-METZ I., COULON J.B., PRADEL P. et al., Effect of the botanical composition of hay and casein genetic variants on the chemical and sensory characteristics of ripened Saint Nectaire type cheeses, *Lait*, 2000b, 80, 361-370.

VERDIER-METZ I., PRADEL P., COULON J.B., Influence of the forage type and conservation on the cheese sensory properties, 2002a, In : DURAND J.L., EMILE J.C., HUYGHE C. et al., Multifonction grassland : quality forages, animal products and landscapes, *British Grassland Society, La Rochelle, France*, 2002, 592-593

VERDIER-METZ I., MARTIN B., PRADEL P., COULON J.B., Effet conjoint de la race et de la nature du fourrage sur les caractéristiques des fromages : interaction avec la technologie mise en œuvre, Renc. Rech. Rum., 2002b, 9, 355-358.

VERDIER-METZ I., MARTIN B., PRADEL P. et al., Effect of grass-silage vs. Hay diet on the characteristics of cheese : interactions with the cheese model, *Lait*, 2005, 85, 469-480.

VIALLON C., VERDIER-METZ I., DENOYER C. et al., Desorbed terpenes and sesquiterpenes from forages and cheeses, *J. Dairy Res.*, 1999, 66, 319-326.

VIALLOON C., MARTIN B., VERDIER-METZ I. et al., Transfer of monoterpenes and sesquiterpenes from forages into milk fat, *Lait*, 2000, 80, 635-641.

WIKIPEDIA. (Page consultée le 1er septembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/lait>

WIKIPEDIA. (Page consultée le 2 décembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/présure>

WIKIPEDIA. (Page consultée le 1er septembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/fromage>

WIKIPEDIA. (Page consultée le 1er septembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/texture>

WIKIPEDIA. (Page consultée le 1er septembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/flaveur>

WIKIPEDIA. (Page consultée le 8 décembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : [http://fr.wikipedia.org/wiki/coagulation\\_du\\_lait](http://fr.wikipedia.org/wiki/coagulation_du_lait)

WIKIPEDIA. (Page consultée le 2 décembre 2009). Site de Wikipédia, l'encyclopédie libre, [en ligne]. Adresse URL : [http://fr.wikipedia.org/wiki/type\\_de\\_fromage](http://fr.wikipedia.org/wiki/type_de_fromage)

ZEPPA G., GIORDANO M., BERTOLINO M. et al., Use of mono- and sesquiterpenes for characterisation of mountain cheeses, *Acta Agri. Slovenica*, 2004, 84, 17-23.

Toulouse, 2010

NOM : VOISIN

Prénom : Aurélien

TITRE : Influence du type d'alimentation sur la texture et la flaveur du fromage.

RESUME : L'alimentation donnée aux animaux joue un rôle secondaire sur les qualités gustatives du fromage, mais présente aux yeux du consommateur une place fondamentale. Ainsi une alimentation à base d'ensilage de maïs donne des pâtes moins jaunes, et des arômes moins prononcés. La faible teneur en caroténoïde est responsable de la pâleur de la pâte. Lorsque l'herbe est conservée sous forme d'ensilage, si celui-ci est réalisé dans de bonnes conditions, en dehors de la couleur de la pâte, les fromages ne présentent que des différences mineures. Un lait issu de pâturage de montagne comparativement à des prairies de plaine donne des fromages aux arômes plus intenses, plus diversifiés, plus fruités. Ces différences seraient dues à la plasmine, une enzyme présente dans le lait, ou encore aux terpènes, molécules présente dans certains types de plante. La composition en acides gras serait sous l'influence des conditions de pâturage, et celle-ci aurait un impact sur la texture des fromages.

MOTS-CLES : FROMAGE, TEXTURE, FLAVEUR, ALIMENTATION, TERPENES, CAROTENOIDES, ACIDES GRAS, PLASMINE

---

ENGLISH TITLE : Influence of feeding on texture and flavour of cheese

ABSTRACT : Animal feeding is not the main factor influencing sensory quality of cheese, but it is very important in consumers' opinion. Animal feeding with maize silage results in a less yellow paste with less intense aromas. The small content of carotenoid gives paste paleness. When grass is conserved as silage, provided it is made in good conditions, cheeses have only a few differences, apart from paste colour. Milk resulting of mountain pasture, comparatively with plain pasture gives cheeses with aromas more intense, more diversified, more fruity. These differences could be due to plasmin, an enzyme contained in milk, or terpens, molecules we can find in some kinds of plants. Pasture diversity influences fatty acids composition, wich has an impact on cheese texture.

KEYWORDS : CHEESE, TEXTURE, FLAVOR, FEEDING, TERPENES, CAROTENOIDS, FATTY ACIDS, PLASMIN