

# La qualité des laits et ses conséquences sur la qualité des produits de transformation : quelques techniques de mesure dans les essais zootechniques

C. HURTAUD (1), S. BUCHIN (2), B. MARTIN (3), I. VERDIER-METZ (4), J.L. PEYRAUD (1), Y. NOËL (2)

(1) INRA-ENSAR, UMR Production du Lait, 35590 Saint-Gilles

(2) INRA, Station de Recherches en Technologie et Analyses Laitières, 39801 Poligny

(3) INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès-Champagnelle

(4) INRA, laboratoire de Recherches Fromagères, 15000 Aurillac

**RESUME** - La qualité des laits représente une notion complexe parce qu'elle possède plusieurs dimensions telles que la qualité biochimique et microbiologique, l'aptitude fromagère et beurrière et qu'elle se décline différemment selon l'interlocuteur (producteur, transformateur et consommateur). La valeur d'un lait peut être jugée par son efficacité à la transformation en fromage ou en beurre. L'aptitude à la coagulation du lait dépend de son pH initial, puis de sa teneur en calcium colloïdal et en caséines qui jouent un rôle primordial dans la mise en place du gel. Le rendement fromager, qu'il soit de fabrication ou simulé en laboratoire, est fortement corrélé à la teneur en protéines ou caséines et en matières grasses du lait. L'aptitude beurrière est quant à elle fortement liée à la taille des globules gras, à la teneur en matières grasses et à la composition en acides gras de la crème.

Les caractéristiques sensorielles des produits laitiers se définissent par leur aspect, leur texture et leur flaveur et peuvent être appréciées par des jurys de dégustation ou par des méthodes instrumentales. La texture et la flaveur des fromages appréciées par des jurys sont fortement liées respectivement à la teneur en acides gras du lait, à la protéolyse et à l'activité microbiologique existant dans le fromage, l'analyse instrumentale confirmant ces paramètres. La texture du beurre est définie par 2 propriétés principales : la tartinabilité appréciée par des jurys de dégustation et la fermeté mesurée de façon instrumentale, les 2 mesures étant évidemment corrélées. Les 2 paramètres sont liés à la composition en acides gras du beurre et particulièrement au rapport acide palmitique sur acide oléique.

En conclusion, l'appréciation des propriétés technologiques des laits et des produits laitiers demeure un sujet d'actualité pour lequel des échanges doivent s'intensifier entre zootechniciens et technologues.

## Milk quality and consequences on quality of dairy products : several some measuring techniques of measure in dairy cows trials

C. HURTAUD (1), S. BUCHIN (2), B. MARTIN (3), I. VERDIER-METZ (4), J.L. PEYRAUD (1), Y. NOËL (2)

(1) INRA-ENSAR, UMR Production du Lait, 35590 Saint-Gilles

**SUMMARY** - Milk quality is a complicated subject due to its several ways as chemical and microbiological properties, cheese and butter making efficiency and its various interlocutors as farmers, industrials and consumers. Milk value is determined through its ability of cheese and butter making. Milk coagulating properties depend on initial pH, then on colloidal calcium and casein contents. Real or laboratory cheese yields are related to protein or casein contents and to fat content. Butter making efficiency is related to fat globule size, to cream fat content and fatty acid composition.

Sensory properties of dairy products are defined by appearance, texture and flavour and can be appreciated by special committee or by instrumental methods. Texture and flavour of cheese are related respectively to milk fatty acids, to proteolysis, and to microbial activity of cheese. Texture of butter is defined by 2 parameters: spreadability (consumers) and firmness (instrument) related to butter fatty acids and especially to palmitic acid on oleic acid ratio.

## INTRODUCTION

Aujourd'hui, les consommateurs recherchent des produits de meilleure qualité, plus typés dont l'origine est connue et présentant une bonne image quant aux méthodes de production en rapport avec l'environnement et le bien-être des animaux. La qualité des laits et des produits laitiers représente en fait une notion complexe, non seulement parce qu'elle possède plusieurs dimensions telles que le goût, l'odeur, l'arôme, la texture, la valeur hygiénique et la valeur nutritive pour l'homme, mais aussi parce que la notion de qualité se pose différemment selon les points de vue (producteur, transformateur, distributeur, consommateur) et le type de transformation. Ainsi, les exigences des transformateurs, qui ont des exigences vis à vis de la qualité des laits en dépendent fonction du produit visé, et ils pourraient aussi valoriser directement certaines propriétés des laits ou, au contraire, ajuster les conditions de fabrication aux caractéristiques des laits livrés.

Parallèlement à cette demande de plus en plus complexe, la notion de qualité des laits ne se réduit plus uniquement à la composition globale en protéines et en matières grasses dont les lois de variation sont d'ailleurs bien connues (Hoden et al, 1985) mais elle doit aussi prendre en considération des critères de plus en plus fins de la composition biochimique ainsi que les aptitudes du lait à la transformation et les propriétés des produits qui en sont issus. Il importe pour cela d'introduire de nouvelles techniques d'investigation dans les essais visant à mieux cerner les effets de l'alimentation, de la génétique et de la conduite d'élevage sur la qualité des produits.

L'objectif de cette revue est de faire le point sur les principaux tests actuellement développés pour caractériser les effets de l'alimentation, des animaux et de la saison sur la qualité des laits et des produits finis et de montrer les relations qui peuvent être établies avec les éléments les plus déterminants de la composition des laits. Nous nous limiterons volontairement à certains aspects de la qualité. Dans la première partie, nous aborderons les techniques permettant de caractériser les laits en vue de l'efficacité de transformation en fromage et en beurre. Dans la seconde partie nous aborderons les aspects relatifs à la caractérisation des produits en faisant porter l'accent sur les propriétés de texture, d'arôme et de goût. D'autres aspects de la qualité des produits, notamment ceux relatifs à la valeur nutritionnelle des produits pour l'homme et aux aspects sanitaires ne seront pas abordés. De même les techniques d'analyses biochimiques et microbiologiques ne seront pas abordées en tant que telles.

### 1. EFFICACITE DE LA TRANSFORMATION

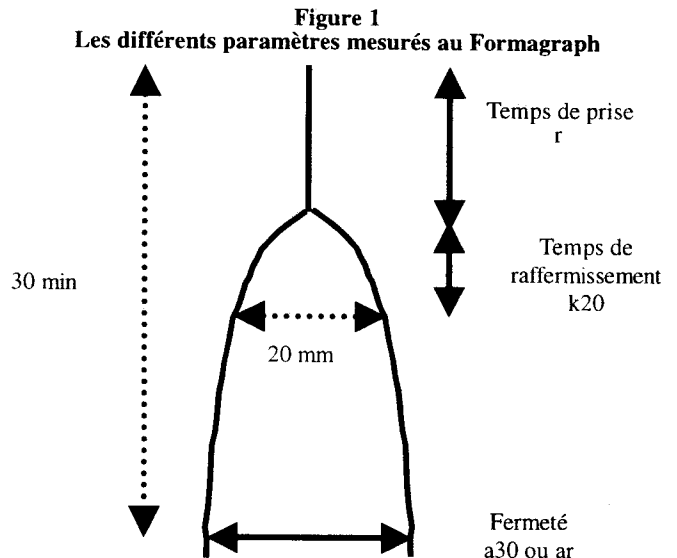
L'aptitude du lait à la transformation est un problème qui concerne le producteur de lait et le transformateur. Le producteur devra essayer de fournir au transformateur un lait qui corresponde à ses attentes et le transformateur devra quant à lui avoir des critères de jugement rapides des propriétés fonctionnelles de l'aptitude du lait à la transformation. La quantité de fromage ou de beurre produite à partir d'une quantité connue de lait est également d'une grande importance économique pour l'industrie de transformation.

#### 1.1. APTITUDE À LA COAGULATION DU LAIT

La coagulation du lait par la présure et/ou par acidification est la première étape de la fabrication d'un fromage qui peut être considéré comme le résultat d'un processus dans lequel la caséine et les matières grasses sont concentrées après élimination du lactosérum. Pour le fromager, le comportement du lait lors de la coagulation joue un rôle important sur le bon déroulement des étapes ultérieures de la fabrication fromagère (Martin et Coulon, 1995).

La mesure de l'aptitude à la coagulation permet de caractériser le comportement du lait lors de la mise en place formation du gel. Celle-ci peut être mesurée à l'aide d'un Formagraph qui est un viscosimètre de torsion composé d'un ensemble de 10 cuves de 10 ml. Dans chaque cuve, plonge un anneau relié à un miroir qui réfléchit un rayon lumineux sur un papier photosensible. Les cuves sont animées d'un mouvement oscillatoire de faible amplitude (4°45'). A la fin de chaque oscillation du support, il

ya une émission périodique d'un flash lumineux. A l'état liquide, l'anneau n'est pas entraîné ; lorsque la coagulation débute, l'anneau se trouve progressivement entraîné et le spot lumineux réfléchi par le miroir trace une courbe en forme de diapason sur le papier photosensible. Cet appareil permet de mesurer 1) le temps de prise ( $r$  en min), 2) le temps de raffermissement ( $k_{20}$  en min) qui correspond au temps nécessaire pour obtenir un écartement de 20 mm entre les 2 branches du tracé et qui représente l'inverse de la vitesse d'organisation du gel et enfin 3) la fermeté du caillé ( $a_{30}$  ou  $a_r$  en mm) qui est obtenue par la distance entre les 2 branches du diapason après 30 min ou une fois le temps de prise (figure 1). Cet appareil entièrement manuel a souvent été remplacé par d'autres techniques. Toutefois il reste utilisé en routine en Italie pour classer les laits avant leur transformation en Parmigiano (Zannoni et Annibaldi, 1981) dans la mesure où les paramètres observés sont reliés au rendement fromager (Hurtaud et al 1995).



Nous avons recherché les relations entre ces les différents paramètres mesurés au Formagraph et la composition des laits à partir d'une base de données constituée des résultats de 12 essais conduits à l'UMRPL (Tableau 1). Neuf essais correspondaient à des études en lot (151 données) et 3 essais ont permis d'isoler le facteur individu (61 données). Sept essais testaient la complémentation azotée dont 5 la supplémentation en acides aminés protégés, quatre essais testaient la nature de l'énergie et 1 essai considérait les interactions énergie x azote. Pour chaque essai, 11 paramètres biochimiques ont été mesurés (Hurtaud et al, 1995) : teneur en matières azotées et protéines totales, en caséines, rapport caséines sur protéines, matières azotées non protéiques (NPN), ou non caséiniques (NCN), teneur en calcium total, soluble et colloïdal, teneur en lactose, teneur en matière sèche. L'aptitude à la coagulation des laits a été mesurée à leur pH initial ( $r_i$ ,  $k_{20i}$  et  $a_{30i}$ ) ou à un pH standardisé à 6,6 ou 6,5 avec de l'acide lactique ( $r_s$ ,  $k_{20s}$  et  $a_{30s}$ ). La mesure au pH initial était un reflet du comportement technologique du lait à la sortie de la mamelle alors que la mesure au pH standardisé symbolisait rendait plutôt compte du comportement du lait en fromagerie après acidification.

**Tableau 1**  
**Caractéristiques moyennes des résultats d'aptitude à la coagulation**

	Moyenne		Minimum		Maximum	
	Lots	Ind.	Lots	Ind.	Lots	Ind
$r_i$	18,8	17,3	12,1	8,5	30,7	27,2
$k_{20i}$	9,5	8,2	4,7	3,1	25,4	22,6
$a_{30i}$	25,1	30,7	1,7	1,2	4,8	52,5
$r_s$	15,4	11,7	10,0	5,0	23,1	21,2
$k_{20s}$	7,3	5,6	3,1	2,5	15,4	12,2
$a_{30s}$	34,8	43,2	7,5	22,0	58,0	58,7

Le pH initial du lait a un effet déterminant sur les 3 paramètres de coagulation bien que pour bien que pour le temps de raffermissement, ce ne soit ce ne soit pas le paramètre statistiquement le plus significatif (Tableau 2). La teneur en calcium colloïdal intervient dans le début de la coagulation (ri), puis et la teneur en caséines joue un rôle primordial dans la mise en place du gel (k20 et a30). Aucune autre paramètre biochimique mesuré n'a d'influence significative sur le début de la coagulation à pH initial.

**Tableau 2**  
Liaison entre les paramètres biochimiques et les paramètres d'aptitude à la coagulation au pH initial du lait

	Effet Teneur en caséines	Effet pH initial	r <sup>2</sup>	Pente de la droite de régression (données corrigées)
<b>Lots</b>				
ri	/	< 0,001	0,67	50,6
k20i	< 0,001	/	0,51	- 0,59
a30i	/	< 0,001	0,61	-130,8
<b>Individus</b>				
ri	/	< 0,001	0,63	46,9
k20i	< 0,001	/	0,53	-0,61
a30i	/	< 0,001	0,60	-115,3

L'effet du pH sur le temps de prise et la fermeté avait déjà été décrit (Storry et Ford, 1982 ; Okigbo et al, 1985 ; Bastian et al, 1991 ; Remeuf et al, 1991 ; Hermansen et al, 1994 et Martin et Coulon, 1995). Il pourrait refléter reflèterait l'activation de la présure aux pH plus faibles. Le pH originel des laits pourrait aussi refléter certains aspects de leur composition : distribution du calcium et du phosphore entre les micelles de caséine et le sérum qui pourrait avoir un impact sur le temps de prise (Grandison et al, 1984). Martin et Coulon (1995) ont mis en évidence une relation linéaire entre la fermeté du gel mesurée à une fois le temps de prise (et non à 30 min) et la teneur en protéines fromageables (r<sup>2</sup> = 0,72). La mesure de la fermeté à une fois le temps de prise ne serait plus reliée au pH initial du lait.

L'ajustement du pH conduit en général à réduire les temps de prise et de raffermissement et à augmenter la fermeté (Tableau 1). A pH standardisé (Tableau 3), le temps de raffermissement et la fermeté du caillé sont essentiellement sous la dépendance de la teneur en caséine comme cela avait déjà été montré (Marziali et Ng-Kwai-Hang, 1986 ; Bastian et al, 1991 ; Remeuf et al, 1991). Certains éléments de composition du lait comme la teneur en citrate peuvent influencer négativement sur ces paramètres (Grandison et al, 1984). Le temps de prise dépend du rapport Ca colloïdal/caséine ou plus simplement de la seule teneur en calcium colloïdal. Le sodium, minéral non mesuré lors de nos études, aurait un effet négatif sur ce paramètre (Grandison et al, 1984). La teneur en caséine a été dans tous les cas un prédicteur plus précis que la teneur en protéines totales. Les variants génétiques des protéines (caséines ou protéines solubles) peuvent également avoir un impact sur l'aptitude à la coagulation. Sur des laits individuels à teneurs en caséines comparables, le variant B de la caséine K conduit à un gel plus ferme de 46 % par rapport au variant A (Macheboeuf et al, 1993). Sur des laits de troupeau où les écarts de variants sont plus faibles, Martin et Coulon (1995) ont confirmé que, à même teneur en protéines coagulables, les laits pour lesquels le variant B de la caséine K est plus fréquent conduisent à un gel plus ferme. De la même façon, le polymorphisme de la b-lactoglobuline a un effet sur le temps de prise.

L'ensemble de ces relations traduit à la fois les variations entre traitements et entre individus puisque les pentes varient peu entre les 2 types d'essai. Elle semblent aussi assez robustes en fonction du facteur initial de variation puisque les interactions de pente covariable – essai ne sont que rarement significatives.

**Tableau 3**  
Liaison entre les paramètres biochimiques et les paramètres d'aptitude à la coagulation au pH standardisé (6,6 ou 6,5) du lait

	Effet Teneur en caséines	Effet Calcium colloïdal	r <sup>2</sup>	Pente de la droite de régression (données corrigées)
<b>Lots</b>				
rs		< 0,001	0,70	-0,008
k20s	< 0,001		0,60	- 0,45
a30s	< 0,001		0,59	1,49
<b>Individus</b>				
rs	/	NS	0,67	0,45
k20s	< 0,001	/	0,61	-0,44
a30s	< 0,001	/	0,70	1,53

La mesure de l'aptitude à la coagulation avec le Formagraph présente certains biais. Un lait très riche en caséines et coagulant donc très vite présente des phases de rétraction (synérèse) avant les 30 min qui correspondent à la lecture de la fermeté. Dans ce cas, la mesure de la fermeté à 30 min est sous estimée et il n'existe pas véritablement de moyens de correction. De plus, toutes les mesures sont manuelles et l'effet opérateur peut être important si la technique de mesure du tracé n'est pas définie correctement. Ce problème peut être partiellement résolu par l'utilisation d'un témoin interne (nous avons utilisé dans tous nos essais un lait en poudre témoin) ou par l'utilisation de la version informatisée de l'appareil actuellement en vente sur le marché italien (Lattodynamographo, Foss Electric, Italie). Il existe également des méthodes optiques équivalente (proche infra-rouge, Optigraph) ou des méthodes thermiques (Coagulomètre SGT-INRA) pour la mesure du temps de prise et l'évaluation du temps de décaillage qui permettent de mesurer des paramètres de coagulation analogues (ces 2 appareils étant commercialisés par la société Ysebaert, France)

## 1.2. EVALUATION DES RENDEMENTS FROMAGERS

### 1.2.1. Rendements fromagers de fabrication

Les rendements fromagers correspondent à la quantité de fromage que l'on peut obtenir avec une quantité fixée de lait. Ils varient principalement en fonction de la quantité d'eau retenue dans le fromage, définie par les paramètres technologiques et de la teneur du lait en protéines et en matières grasses. De nombreux auteurs ont proposé des équations de prévision des rendements fromagers en fonction des taux butyreux et protéiques des laits (Banks et al, 1984, Emmons et al, 1990). Afin d'étudier cette relation dans le cas de laits extrêmes (très pauvres ou très riches), nous avons utilisé les résultats de 189 fabrications de fromages à pâte pressée non-cuite, réalisées dans le cadre de 8 essais zootechniques différents, en conditions contrôlées dans une fromagerie expérimentale. Les laits, de haute qualité hygiénique, étaient partiellement écrémés de manière à avoir un rapport TB/TP de 1,15. La teneur en matière utile des laits utilisés a varié de 55 à 85 g/kg (taux protéique de 25,6 à 39,5 g/kg). Sur cette large plage de variation, la relation entre la teneur des laits en matière utile et le rendement fromager a été linéaire. La teneur en matière utile explique à elle seule 77 % du rendement frais et 87 % du rendement en matière sèche (Figure 1).

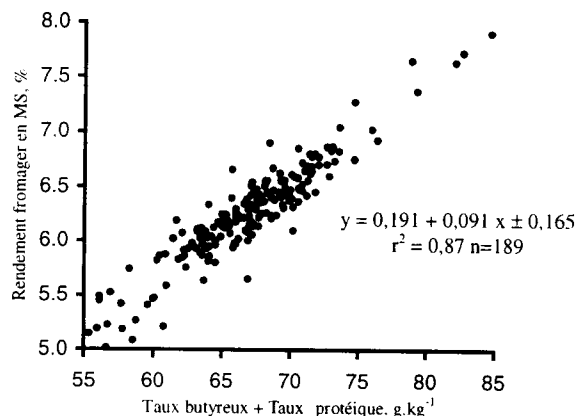
Une fois pris en compte la teneur en matière utile, d'autres caractéristiques du lait (pH, variants de la caséine k) peuvent modifier le rendement fromager, mais de manière marginale. Ainsi, dans le cas de laits de bonne qualité hygiénique, les seuls taux butyreux et protéiques constituent de très bons prédicteurs des rendements fromagers.

### 1.2.2. Rendements de laboratoire

La mesure de « rendement fromager » de laboratoire obtenu par centrifugation d'un caillé présure est un test très simple. Il

consiste à centrifuger pendant 10 min à 2700 g un gel emprésuré pré-tranché après caillage à l'étuve à 35°C pendant une heure. Cette centrifugation permet une séparation du caillé qui forme un culot au fond du tube et du lactosérum qui reste en surface. Le « rendement fromager en frais » est calculé par le rapport poids de caillé / poids de caillé et lactosérum. Ce rendement fromager peut également être évalué en matière sèche et en azote.

**Figure 1**  
Relation entre la teneur en matière utile du lait et le rendement fromager en MS



Les « rendements fromagers » ainsi calculés sont étroitement corrélés aux rendements fromagers de fabrication des camemberts ( $r^2 = 0,70$  à  $0,90$ ) (Hurtaud et al, 1995) mais sont surestimés.

Nous avons recherché les relations entre les différents « rendements fromagers » et la composition des laits à partir des bases de données précédentes, la variabilité des données étant donnée dans le tableau 4.

**Tableau 4**  
Caractéristiques moyennes des rendements de laboratoire

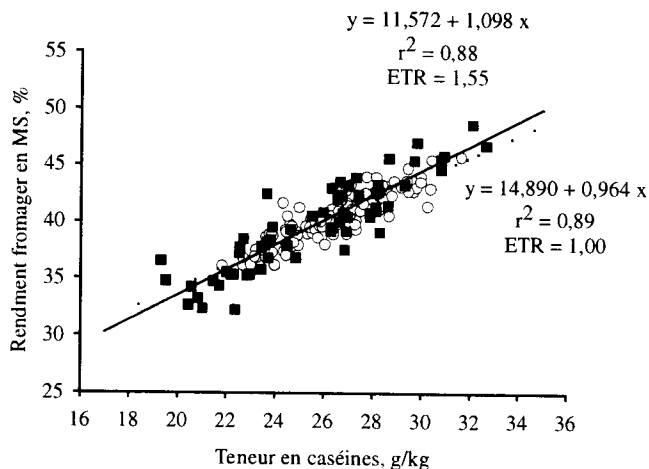
	Moyenne		Minimum		Maximum		Ecart-type	
	Lots	Ind.	Lots	Ind.	Lots	Ind.	Lots	Ind.
Rendement								
Frais	17,5	16,6	13,1	11,1	25,4	23,7	2,3	3,1
MS	40,3	39,6	33,8	32,1	47,3	47,7	2,7	4,0
Azote	78,2	77,6	74,7	72,2	88,1	80,8	1,5	2,1

La teneur en caséine explique à elle seule près de 90% de la variance totale des rendements en frais et en sec (Figure 2) et 70 % de la variabilité des rendements en azote. Les pentes des relations ne diffèrent pas entre des données moyennes de lots ou entre individus. Les protéines totales sont des covariables légèrement moins précises que la caséine ( $r^2 = 0,86$ , ETR = 1,7). L'effet prépondérant de la caséine avait déjà été bien décrit (Remeuf et al, 1991, Colin et al 1992). Nos données confirment que la relation reste linéaire jusqu'à des teneurs en caséines très élevées (34 g/kg lait).

Il faut noter que, dans ces essais, il s'agit toujours de rendements pour des laits écrémés. Pour du lait entier, les rendements s'expliquent presque pour moitié par la matière grasse et pour l'autre moitié par les protéines ou les caséines (Colin et al, 1992).

Le seul défaut de la technique de mesure du rendement fromager au laboratoire est une insuffisance d'égouttage, la technique de centrifugation ne permettant pas une évacuation totale du lactosérum. De plus le gel ainsi égoutté par centrifugation n'est pas acidifié avant emprésurage et est donc moins perméable que le gel de fromagerie, dont le pH descend régulièrement au cours de la fabrication (Weber, 1987). De ce fait le caillé reste humide, est plus minéralisé du fait de l'absence d'acidification et les rendements mesurés en frais sont fortement surestimés (presque du double, Hurtaud et al, 1995). Ce défaut est compensé par le calcul des rendements en matière sèche qui sont du même ordre de grandeur pour les mesures en laboratoire et dans les fabrications fromagères.

**Figure 2**  
Relation entre la teneur en caséines du lait et le rendement fromager de laboratoire en MS (○ : données en lots, ■ : données individuelles)

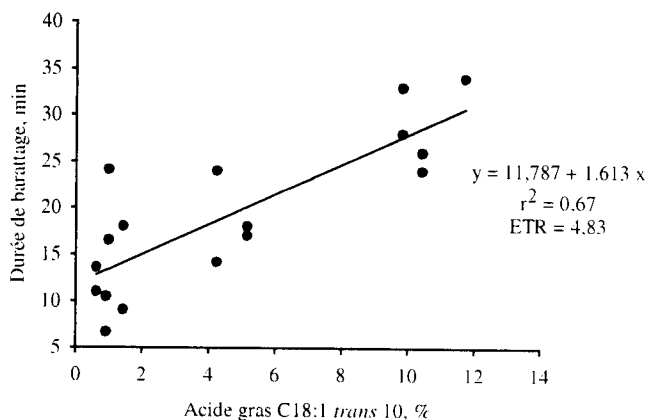


### 1.3. APTITUDE BEURRIÈRE DE LA CRÈME

Le beurre est une émulsion de type eau dans huile. Le beurre peut être obtenu selon 2 méthodes : méthode classique de barattage de crème maturée au pH acide ou méthode NIZO (la plus fréquente dans l'industrie beurrière, environ 90 %) qui consiste en un barattage continu d'une crème douce, non maturée, le réensemencement intervenant en fin de fabrication. La fabrication du beurre de baratte qui peut être réalisée en laboratoire comprend 4 étapes principales bien décrites par Pointurier et Adda (1969) : maturation physique, maturation biologique, barattage et malaxage. Brièvement, la maturation physique de la crème a pour but d'établir un rapport optimal entre les composants solides et liquides de la matière grasse pour obtenir une bonne inversion de phase au cours du barattage et pour diriger la solidification de la matière grasse en vue d'obtenir un beurre de bonne consistance. La maturation biologique est une fermentation lactique qui a pour objectifs de développer dans le beurre un arôme marqué et typique et d'abaisser le pH afin de favoriser l'inversion de phase. Le barattage permet de réaliser l'inversion de phase par une agglomération des globules entre eux. Son but est d'obtenir des grains de beurre dont la taille et la consistance permettront les traitements ultérieurs d'égouttage, de lavage, de malaxage, avec une séparation facile d'un babeurre fluide contenant très peu de matière grasse.

Aucun test de laboratoire n'a été développé jusqu'à présent pour analyser l'aptitude beurrière d'une crème à l'image de ce qui a été réalisé pour l'aptitude à la transformation fromagère des laits. Le seul moyen disponible est la détermination de la composition en acides gras des laits. Il est connu depuis longtemps que la durée de barattage est déterminée par le point de fusion des acides gras.

**Figure 3**  
Liaison entre le pourcentage en C18:1 trans10 et la durée de barattage de la crème (Hurtaud, non publié)

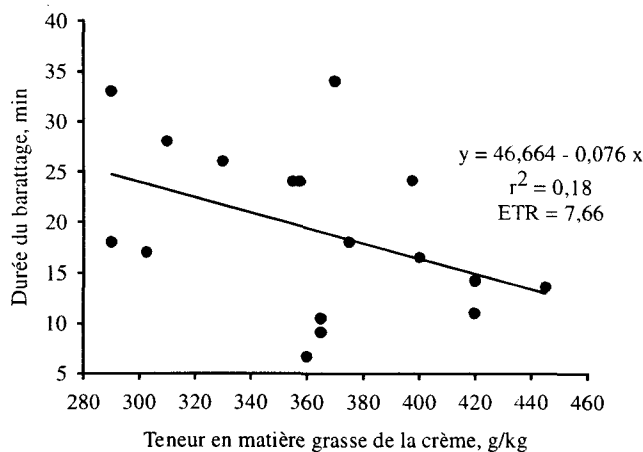


Elle est dès lors d'autant plus courte que le point de fusion des acides gras constitutifs des triglycérides est bas (Pointurier et Adda, 1969) et donc que l'on a des acides gras insaturés ou à chaîne très courtes.

Des travaux récents montrent que la durée de barattage est d'autant plus longue que le lait est riche en acides gras de forme trans (notamment le C18:1 *trans* 10) (Hurtaud, non publié) qui sont des acides à point de fusion élevés bien que mono insaturés (Figure 3).

Au delà de la composition en acides gras, les caractéristiques des globules gras interviennent. Les gros globules se barattent plus vite. Sirks (cité par Pointurier et Adda, 1969) donne des durées de barattage de 31 et 80 min pour des globules ayant respectivement des diamètres moyens de 3 et 2  $\mu\text{m}$ . Enfin, la durée de barattage tend à diminuer lorsque la teneur en matière grasse de la crème s'accroît (Figure 4), sans doute du fait de la proximité des globules gras entre eux, (Pointurier et Adda, 1969).

**Figure 4**  
Liaison entre la teneur en matières grasses de la crème et la durée de barattage (Hurtaud, non publié)



Très peu de données sont disponibles sur les déterminants du rendement beurrier. Celui-ci est assez naturellement bien corrélé à la teneur en matière grasse de la crème ( $r^2 = 0,61$ ), mais il semble aussi assez étroitement relié à la teneur en acide gras insaturés ( $r^2 = 0,44$ ) (Hurtaud, non publié). Il faut cependant souligner que la modification de certaines techniques beurrières (nature des ferments, température de barattage, température de l'eau de lavage...) permet de s'adapter plus ou moins bien aux crèmes un peu particulières liées aux changements d'alimentation des animaux.

## 2. APPRECIATION DES CARACTERISTIQUES SENSORIELLES DES PRODUITS

### 2.1. GÉNÉRALITÉS

Les qualités sensorielles d'un produit sont appréhendées différemment selon les acteurs : les consommateurs s'attacheront au côté hédonique du produit, alors que les transformateurs chercheront une caractérisation plus objective de leur produit. De même, les transformateurs s'attacheront à différentes propriétés selon la filière : recherche d'un produit constant ou au contraire d'une certaine diversité, absence de défauts, ... Il existe une diversité de méthodologies d'analyse sensorielle selon le type de réponse attendue.

La qualité sensorielle d'un fromage ou d'un beurre se définit par son aspect, sa texture, et ses propriétés olfacto-gustatives (également connues sous le terme de flaveur). L'aspect peut être évalué par l'œil mais aussi de façon instrumentale, comme c'est le cas pour la couleur. La texture peut être évaluée en bouche, mais aussi au toucher et également de façon instrumentale par mesures rhéologiques. Les propriétés olfacto-gustatives, ou flaveur, se décomposent ainsi : l'odeur, évaluée par le nez, l'arôme, évalué en bouche par voie rétronasale, la saveur évaluée par différents récepteurs de la cavité buccale.

Les méthodes d'évaluation sensorielle progressent en permanence, y compris celles faisant appel à l'utilisation de jurys d'analyse sensorielle, qui peuvent être plus ou moins complexes selon l'objectif recherché (SSHA et ISHA, 1990). L'utilisation en complément de techniques instrumentales permet d'explorer en détail quantitativement les effets de la qualité des laits sur la qualité finale des fromages.

La mise en relation des caractéristiques sensorielles des fromages avec des facteurs d'amont tels que la qualité des laits ou les facteurs technologiques fait intervenir classiquement la méthode dite du « profil sensoriel ». C'est une méthode descriptive objective. L'évaluation sensorielle est réalisée par un jury de dégustateurs entraînés qui donnent pour chaque échantillon une note d'intensité à des descripteurs sensoriels choisis préalablement. Chaque descripteur est objectif et fait référence à une définition précise (caractère ferme ou arôme de noisette, par exemple). Il existe des techniques de description détaillée et précise de la texture et de la flaveur telle celle mise au point dans le cadre d'un programme d'actions européennes (FLAIR COST 902, AIR 2039) en collaboration avec l'INRA, qui permet l'utilisation d'une certaine de descripteurs (Lavanchy et al, 1993 ; Bérodière et al, 1997).

L'analyse rhéologique est une méthode intéressante pour caractériser certaines dimensions de la texture, comme les propriétés mécaniques (Couarraze et Grossiord, 1991 ; IDF, 1991). Elle apporte des informations complémentaires à l'analyse sensorielle. Etant une méthode instrumentale, elle présente l'avantage de ne pas solliciter un jury de dégustateurs, et donc d'être moins lourde, moins coûteuse et plus sensible.

De nombreuses études ont été entreprises ces dernières années sur différents modèles de fromages AOC à pâte pressée cuite ou non cuite (Abondance, Beaufort, Comté, Morbier, Saint Nectaire), pour déterminer les relations entre la composition des laits et les caractéristiques sensorielles des fromages. Le principe commun à toutes ces études est de mettre en relation les caractéristiques de texture et de flaveur des fromages, mesurées par analyse sensorielle et rhéologique, avec la composition physico-chimique des laits et des fromages (composition de base, composition en acides gras, en composés volatils, teneur en enzymes) et leur composition microbiologique.

## 2.2. ANALYSES SENSORIELLES

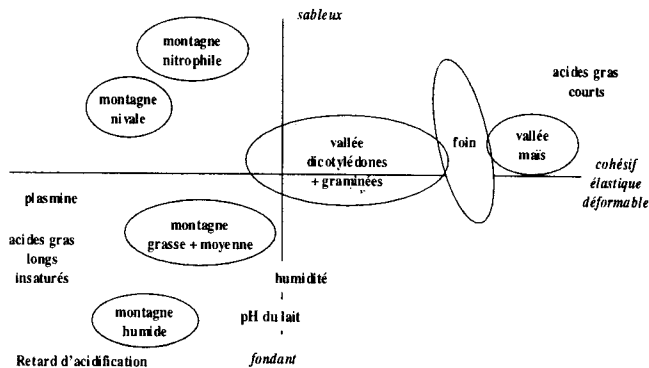
### 2.2.1 Des fromages

#### 2.2.1.1. Texture

Un ensemble d'expérimentations a été réalisé par l'URH (de l'INRA de Theix) et le LRF (INRA Aurillac) sur le (modèle Saint-Nectaire), en collaboration avec l'unité SRTAL (de l'INRA de Poligny) sur les (modèles Abondance et, Beaufort), pour déterminer l'influence de la nature des fourrages ingérés par les animaux sur la composition du lait et, en conséquence, sur les caractéristiques sensorielles des fromages. Dans deux expérimentations sur le fromage d'Abondance, nous avons constaté qu'à un stade de lactation équivalent, la nature des pâturages induit dans le lait des variations de la teneur en une protéase endogène, la plasmine, et de la composition en acides gras. Ces variations ont un impact sur la texture des fromages (Buchin et al., 1999 ; Bugaud et al., 2001b). Quand les laits sont plus riches en plasmine, la protéolyse primaire des fromages est plus forte, avec pour conséquence une moindre résistance mécanique et une moindre élasticité de ces fromages, due à des modifications de la matrice protéique. Par ailleurs, plus les laits sont riches en acides gras insaturés, moins la résistance mécanique des fromages est forte, car la présence de ces acides gras augmente la fluidité de la matière grasse. Cette influence de la composition en acides gras sur la texture des fromages a été décrite par quelques auteurs sur l'Emmental suisse (Steffen, 1975), le Morbier (Buchin et al., 1997), et le Camembert (Houssin et al., 2000). Par ailleurs, Bugaud et al. (2001b) ont observé que le pH du lait à l'emprésurage, lié au type de pâturage, influence la texture des fromages d'Abondance. Par modification de la minéralisation des caséines, le pH influence à la fois le temps de prise, l'égouttage et la fermeté du coagu-

lum (Mietton et al, 1994 ; Martin et Coulon, 1995). Ces mêmes auteurs ont également observé que sur certains alpages, les laits présentaient une baisse du pH sous presse plus lente, avec pour conséquence un égouttage moins poussé et une texture moins ferme. Cette modification de la cinétique du pH pourrait être liée à la présence dans ces laits de molécules à activité antimicrobienne, ou à une plus grande concentration de molécules agissant sur le pouvoir tampon du lait, tels que les phosphates ou les carbonates (Figure 5).

**Figure 5**  
Influence de la nature des fourrages et des pâturages sur la composition du lait et sur la texture des fromages d'Abondance (Bugaud et al, 2001b)



Sur le même principe, des études ont été menées sur la microflore endogène du lait, en comparant des fromages où la microflore originelle du lait était présente à des fromages où la presque totalité de cette microflore avait été éliminée. La présence de cette microflore semble avoir sur la texture un impact assez faible, dont l'origine serait une libération accrue de petits peptides et d'acides aminés libres (Grappin et Beuvier, 1997).

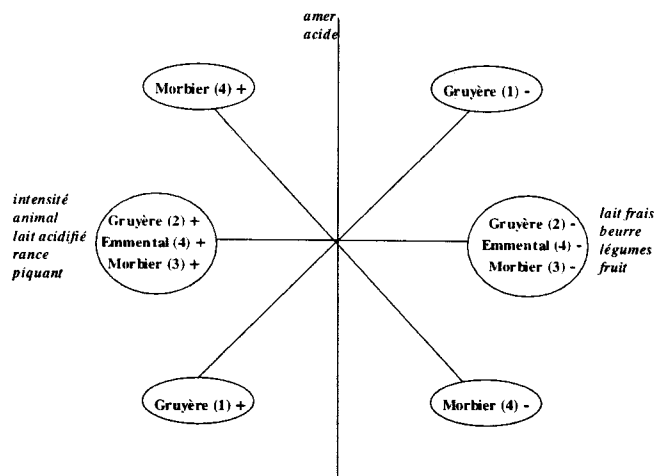
### 2.2.1.2. Flaveur

Dans la formation de la flaveur des fromages, l'activité microbologique paraît fondamentale. En effet, la plupart des composés volatils présents dans le fromage, parmi lesquels se trouvent les plus aromatiques, sont d'origine microbologique. Parmi les microorganismes présents dans le fromage, la microflore endogène du lait semble avoir une influence plus déterminante sur la flaveur que sur la texture. D'une façon générale, la présence de cette microflore entraîne une intensité globale de l'arôme plus forte, ainsi qu'une maturation des fromages accélérée (Grappin et Beuvier, 1997). Elle influence également les caractéristiques d'arôme des fromages en modifiant leur composition en volatils. Buchin et al (1998) ont montré dans des fromages au lait cru une production accrue de composés à fort potentiel aromatique comme les alcools, les acides gras volatils ou les composés soufrés, avec comme conséquences un arôme plus fort. Demarigny et al (1997) et Beuvier et al (1997) ont par ailleurs montré que non seulement la présence, mais aussi l'origine de cette microflore influence les caractéristiques des fromages, sans doute vraisemblablement à cause d'une composition différente selon la provenance du lait. Ainsi, la composition de la microflore endogène du lait, de par sa complexité, contribuerait à la diversité aromatique des fromages, notion de première importance essentielle pour les fromages AOP (Figure 6).

En ce qui concerne la composition physico-chimique du lait, son influence sur la flaveur des fromages serait en majeure partie d'origine indirecte, bien que Buchin et al (1999) aient trouvé une relation positive entre la teneur en plasmine et l'amertume des fromages, cette enzyme ayant sans doute favorisé l'apparition de peptides ou d'acides aminés amers dans les fromages étudiés. D'après Bugaud et al (2001a), les variations de facteurs tels que le pH, la quantité de terpènes et de molécules à activité anti-microbienne des laits pourraient influencer la flaveur des fromages de façon indirecte, en agissant sur l'activité microbienne. En ce qui concerne les terpènes, nous avons montré qu'il existe un transfert direct de ces composés

des plantes vers le fromage, via le lait, confirmant les observations de Viallon et al (1999, 2000). Ainsi, la composition botanique des pâturages influence la composition et la teneur en terpènes des laits, les graminées étant très pauvres en ces composés. Bien que les terpènes soient des composés potentiellement aromatiques, ils semblent être en quantités trop faibles dans les fromages pour avoir un rôle significatif sur l'arôme. Par contre, il semble exister une relation négative entre leur présence et la perception d'arômes forts tels que « fermenté » (Buchin et al, 1999), « chou » (Bugaud et al, 2001a) ou « animal » (Martin et al, 2001). Ainsi, il semblerait que leur présence puisse inhiber la synthèse de certains composés d'origine protéique par les microorganismes.

**Figure 6**  
Influence de la présence de la microflore endogène du lait sur les caractéristiques de flaveur de différents fromages à pâte pressée et à pâte pressée cuite (1) Beuvier et al. (1997), (2) Demarigny et al. (1997), (3) Buchin et al. (1998), (4) Buchin et al. non publié  
+ : microflore endogène présente  
- : microflore endogène éliminée par microfiltration (1) (2) (4) ou pasteurisation (1) (3)



Dans les fromages traditionnels où le lait est utilisé avec peu ou pas de transformation préalable, la diversité de la microflore endogène du lait ainsi que la diversité des pâturages peuvent contribuer à la diversité des caractéristiques des fromages. Mais l'influence de ces facteurs, et en particulier le facteur alimentation, peut être modulée par le travail du fromager, qui adapte sa technique de fabrication à la composition de la matière première.

### 2.2.2. Des beurres

L'analyse sensorielle des beurres va dans la plupart des cas, permettre de discerner une préférence grâce à un test de classement numérique. Ce test permet un classement d'après diverses caractéristiques : aspect, structure, consistance odeur et goût. Des relations ont ainsi pu être mises en évidence entre l'arôme du beurre et sa teneur en diacétylène ou en acides gras volatils, entre le goût de rance et la teneur en acides gras libres de la matière grasse (Pointurier et Adda, 1969). La taille des globules gras peut aussi modifier les caractéristiques sensorielles des beurres. Un beurre réalisé avec une crème riche en gros globules (> 2 µm) est plus onctueux et moins dur qu'un beurre de référence avec une distribution aléatoire des globules. Par contre, le beurre réalisé avec une crème riche en petits globules (< 2 µm) est plus huileux (Goudédranche et al, 2000).

## 2.3. ANALYSE INSTRUMENTALE

### 2.3.1. Des fromages

#### 2.3.1.1. Texture

L'analyse instrumentale des fromages mobilise des techniques rhéologiques qui ont été décrites en détail par un groupe d'experts de la FIL (IDF, 1991). La compression uniaxiale à

vitesse constante est le test le plus utilisé. Il est adapté pour les fromages à pâte dure et semi-dure, dont il évalue les propriétés élastiques et les propriétés à la fracture par compression d'un échantillon de géométrie définie.

L'influence de la nature des pâturages (montagne ou vallée) sur les propriétés rhéologiques (élasticité, propriétés à la fracture) de l'Abondance a été mise en évidence par Bugaud et al (2001b), en relation avec la composition en acides gras des laits et la protéolyse dans les fromages.

### 2.3.1.2. Couleur

La couleur est une caractéristique directement identifiable par le consommateur. La mesure objective de la couleur des fromages est effectuée avec un colorimètre à trois filtres. Les trois filtres rouge, vert et bleu utilisés pour mesurer la couleur reproduisent la sensibilité spectrale de nos cellules visuelles. Les degrés de réflectance spectrale sont ensuite convertis en valeurs colorimétriques : L qui est un indice de luminosité, et a et b qui sont 2 indices de chromaticité allant respectivement du vert au rouge (indice a) et du bleu au jaune (indice b).

Les différences de couleur sont essentiellement dues aux teneurs des fromages en caroténoïdes qui sont des pigments naturels du lait provenant des aliments ingérés par les animaux. Ainsi, les fromages réalisés avec des laits de printemps sont beaucoup plus jaunes que ceux réalisés avec des laits d'hiver en raison de la teneur élevée de l'herbe verte en pigments caroténoïdes et en hiver, les fromages réalisés avec des laits d'ensilage d'herbe sont plus jaunes que ceux réalisés avec des laits de foin (Coulon et al, 2000). L'ensilage de maïs, très pauvre en carotènes, conduit à des fromages très blancs.

## 2.3.2. Des beurres

### 2.3.2.1. Texture

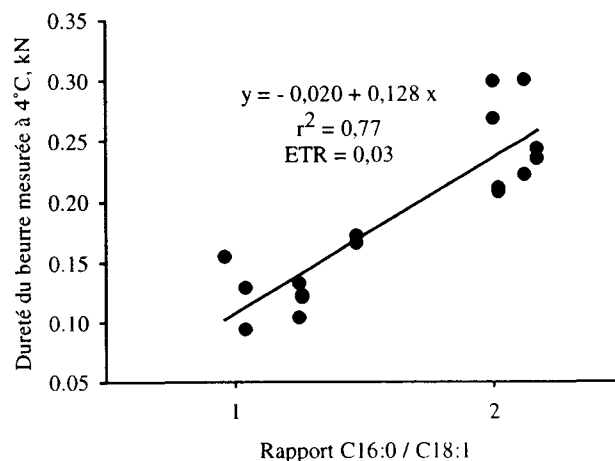
La texture des beurres est définie par deux propriétés principales : la tartinabilité et la fermeté (Prentice cité par Vélez-Ruiz et al 1997). La tartinabilité est la propriété physique la plus importante pour le consommateur. Elle reflète l'état de dispersion entre les cristaux de matière grasse et la matière grasse liquide et est souvent décrite par des paramètres de résistance du beurre à la déformation. Elle est jugée par la facilité d'étalement du beurre sur un biscuit ou sur un papier filtre mais ce test n'est pas standardisé. La fermeté est liée à la réponse structurale du beurre à une force externe ; elle représente l'aptitude élastique de la matière pour répondre à une force de compression. Quatre méthodes ont été identifiées pour évaluer la fermeté du beurre : pénétration (mesure de la déformation du beurre à une force connue), découpe (mesure de la force de section d'un fil métallique coupant), extrusion (mesure de la force nécessaire au passage du beurre à travers un orifice), compression (mesure de la force nécessaire à l'enfoncement d'un capteur à une profondeur définie). Parmi les 4 méthodes référencées, la compression et l'extrusion sont actuellement les plus utilisées pour des raisons de précision, reproductibilité et simplicité (Vélez-Ruiz et al, 1997).

Certains acides gras ont un effet spécifique sur la dureté et la tartinabilité des beurres. Une relation de type linéaire existe entre la fermeté du beurre et le pourcentage en acide palmitique (C16:0) (Cullinane et al, 1984 ; Hurtaud non publié). A partir de lait de mélange un travail réalisé dans différentes régions de France (Arilait, 1989) a montré que 3 acides gras ont un rôle prédominant : l'acide palmitique (C16:0), l'acide stéarique (C18:0) et l'acide oléique (C18:1). Une augmentation de la teneur en acide palmitique couplée à une diminution des acides gras courts entraîne une moindre tartinabilité. Wood et al (1975) ont également mis en évidence une relation de type curvilinéaire entre la dureté du beurre à 4°C et le pourcentage d'acide linoléique (C18:2). La dureté du beurre décroît de 12,9 à 0,1 kg/4cm<sup>2</sup> (taille de l'échantillon mesuré) quand la teneur en C18:2 de la matière grasse passe de 1,8 % à 21,8 %.

En pratique, les notions de dureté et de tartinabilité ont été associées à des valeurs limites d'acide oléique et palmitique. Un beurre dont la teneur en acide oléique est inférieure à 23 % et la teneur en acide palmitique supérieure à 30 % est

considéré comme dur. Un beurre dont les teneurs en acide oléique et palmitique varient de 23 à 30 % est considéré comme mou. C'est notamment le cas pour les beurres d'été. Il y a donc intérêt à calculer le rapport C16:0 / C18:1 pour avoir une idée de la dureté (Arilait, 1989). Dans un travail récent (Hurtaud, non publié) nous avons également confirmé que le rapport palmitique / oléique était l'indicateur le plus précis de la fermeté du beurre (Figure 7) comparé au C16:0 ( $r^2 = 0,65$ , ETR = 0,04), au C18:0 ( $r^2 = 0,61$ , ETR = 0,04) et au C18:1 pris seuls ( $r^2 = 0,69$ , ETR = 0,04).

Figure 7  
Relation entre le rapport C16:0/C18:1  
et la fermeté du beurre (Hurtaud, non publié)



Les mesures de fermeté du beurre sont assez simples à réaliser. Il faut toutefois être très vigilant sur les conditions opératoires : température de la pièce, hygrométrie, et surtout température de l'échantillon. Des variations de quelques degrés de la température de l'échantillon peuvent entraîner des variations non négligeables de la fermeté liées essentiellement aux points de fusion des acides gras. Les mesures de pénétrométrie peuvent être associées à des paramètres d'appréciation de la tartinabilité par un jury de consommateurs (Tableau 5) (Arilait, 1989).

Tableau 5  
Relation entre l'appréciation de la tartinabilité par un jury  
de consommateurs et une mesure de pénétrométrie  
(Arilait, 1989)

Classification par le consommateur	Pénétrométrie, kPa
Mou	< 80
Tartinable	80 à 110
Critique	110 à 170
Trop dur	> 170

### 2.3.2.2. Couleur

La technique de mesure instrumentale de la couleur des beurres est identique à celle décrite pour les fromages. Les différences de couleur mesurées selon la nature des régimes distribués aux animaux sont au moins aussi importantes que celles mesurées pour les fromages (Houssin et al, 2000) et elles reflètent également la teneur des laits en pigments caroténoïdes.

La mesure directe de la couleur pourrait être une solution de remplacement à la détermination de la teneur en caroténoïdes d'autant plus que celle-ci n'explique pas toujours les variations de couleur.

## CONCLUSION

Les connaissances scientifiques sur les effets de l'alimentation sur la qualité des laits en vue de la transformation ont progressé ces dernières années et des techniques relativement simples d'emploi ont été développées pour caractériser plus

complètement les laits et les produits qui en sont issus. Les connaissances acquises restent toutefois encore partielles notamment vis à vis de la composition fine des laits et des caractéristiques sensorielles et technologiques des produits élaborés. Dans le contexte actuel d'évolution des systèmes de production et de segmentation des marchés, l'amélioration des connaissances à ce niveau est indispensable pour aider les filières à raisonner ces évolutions. Ce travail nécessite plus que jamais des échanges étroits entre les zootechniciens et les technologues.

- Arilait, 1989.** In Les beurres français. Tartinabilité et composition. Paris, France. 1-89
- Banks, J.M., Muir, D.D., Tamine, A.Y., 1984.** Dairy Ind. Int. 49, 14-17
- Bastian, E. D., Brown, R. J., Ernstrom, C. A., 1991.** J. Dairy Sci., 74, 3677-3685
- Bérodier, F., Lavanchy, P., Zannoni, M., Casals, J., Herrero, L., Adamo, C., 1997.** Lebensm. Wiss. Technol., 30, 653-664.
- Beuvier, E., Berthaud, K., Cegarra, S., Dasen, A., Pochet, S., Buchin, S., Duboz, G., 1997.** Int. Dairy J., 7, 311-323.
- Buchin, S., Delague, V., Duboz, G., Berdagué, J.L., Beuvier, E., Pochet, S., Grappin, R., 1997.** Influence du type de fourrage et du traitement thermique du lait sur les caractéristiques biochimiques et sensorielles d'un fromage de type Morbier. Colloque « Du terroir au goût des fromages », Besançon, 27-28 nov, 138-152
- Buchin, S., Delague, V., Duboz, G., Berdagué, J.L., Beuvier, E., Pochet, S., Grappin, R., 1998.** J. Dairy Sci., 81, 3097-3107.
- Buchin, S., Martin, B., Dupont, D., Bornard, A., Achilleos, C., 1999.** J. Dairy Res., 66, 579-588.
- Bugaud, C., Buchin, S., Coulon, J.B., Hauwuy, A., 2001a.** Lait, 81, (6), sous presse.
- Bugaud, C., Buchin, S., Noël, Y., Tessier, L., Pochet, S., Martin, B., Chamba, J.F., 2001b.** Lait, 81, 593-607.
- Colin, O., Laurent, F., Vignon, B., 1992.** Lait, 72, 307-319
- Coulon, J.B., Martin, B., Verdier-Metz, I., Buchin, S., Viallon, C., 2000.** Renc. Rech. Rum., 7, Paris, 6-7 décembre, 304-307.
- Cullinane, N., Condon, D., Eason, D., Phelan, J.A., Connolly, J.F., 1984.** Ir. J. Fd. Sci. Technol., 8, 13-25
- Demarigny, Y., Beuvier, E., Buchin, S., Pochet, S., Grappin, R., 1997.** Lait, 77, 151-167.
- Emmons, D.B., Ernstrom, C.A., Lacroix, C., Verret, P., 1990.** J. Dairy Sci. 73, 1365-1394
- Goudédrange, H., Fauquant, J., Maubois, J.L., 2000.** Lait 80, 93-98
- Grandison, A. S., Ford, G. D., Owen, A. J., Millard, D., 1984.** J. Dairy Res., 51, 69-78
- Grappin, R., Beuvier, E., 1997.** Int. Dairy J., 12, 751-761.
- Hermansen, J. E., Ostensen, S., Aaes, O., 1994.** J. Dairy Res., 61, 179-189
- Hoden, A., Coulon, J.B., Dulphy, J.P., 1985.** Bull. Tech. C.R.Z.V., 62, 69-79
- Houssin, B., Foret, A., Chenais, F., Cotinot, A., Besnier, F., 2000.** Renc. Rech. Ruminants, 7, 296-299.
- Hurtaud, C., Rulquin, H., Delaite, M., and Vérité, R. 1995.** Ann. Zootech., 44, 385-398
- IDF, 1991,** Bulletin n° 268
- Lavanchy, P., Bérodier, F., Zannoni, M., Noël, Y., Adamo, C., Squella, J., Herrero, L., 1993.,** Lebensm. Wiss. Technol., 26, 59-68.
- Macheboeuf, D., Coulon, J.B., D'Hour, P., 1993.** J. Dairy Res., 60, 43-54
- Martin, B., Coulon, J. B., 1995.** Lait, 75, 61-80
- Martin, B., Buchin, S., Hauwuy, A., 2001.** Effet de la nature botanique des pâturages sur les caractéristiques sensorielles du fromage de Beaufort. 3<sup>rd</sup> international meeting « Mountain cheeses and their traceability », Potenza, Italie, 30 août.
- Marziali, A. S., Ng-Kwai-Hang, K. F., 1986.** J. Dairy Sci., 69, 1193-1201
- Mietton, B., Weber, F., Desmazeaud, M., de Roissart, H., 1994.** Transformation du lait en fromage. In Lorica (Editeur), Bactéries lactiques, Uriage, France, 55-134
- Okigbo, L. M., Richardson, G. H., Brown, R. J., Ernstrom, C. A., 1985.** J. Dairy Sci. 68, 3135-3142
- Pointurier, H., Adda, J., 1969.** In La Maison Rustique (Editeur), Beurrerie Industrielle, Science et Technique de la Fabrication du beurre, Paris, France. 1-433
- Remeuf, F., Cossin, V., Dervin, C., Lenoir, J., Tomassone, R., 1991.** Lait, 71, 397-421
- SSHA, ISHA, 1990.** In Tec. et doc. Lavoisier (Editeur), Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique. Paris, France. 1-328
- Steffen, C., 1975.** Schweizerische Milchzeitung, 101, 72; 74; 78, 569-570; 584; 619-620.
- Storry, J. E., Ford, G. D. 1982.** J. Dairy Res., 49, 469-477
- Thompson, S. Y., Henry, K. M., Kon, S. K., 1964.** J. Dairy Res., 31, 1-25
- Vélez-Ruiz, J. F., Barbosa Canovas, G. V., 1997.** Critical rev. Food Sci. Nutr., 37, 311-359
- Viallon, C., Verdier-Metz, I., Denoyer, C., Pradel, P., Coulon, J.B., Berdagué, J.L., 1999.** J. Dairy Res., 66, 319-326.
- Viallon, C., Martin, B., Coulon, J.B., Berdagué, J.L., Pradel, P., Garel, J.P., 2000.** Lait, 80, 635-641.
- Weber, F., 1987.** Chapitre 2 ; L'égouttage du coagulum. In A. Eck (Editor), Le Fromage. Paris, France. 22-36
- Wood, F.W., Murphy, M.F., Dunckley, W.L., 1975.** J. Dairy Sci., 58, 839-845
- Zannoni, M. and Annibaldi, M. 1981.** Sci. Tec. Latt. Casearia, 32, 79-94