

⁽¹⁾ ENITAC, Unité de Recherches Élevage
et production des ruminants, 63370
Lempdes

⁽²⁾ INRA, Unité de Recherches sur les
Herbivores, Theix, 63122 St Genès-
Champanelle

Courriel : agabriel@gentiane.enitac.fr

Composition chimique du lait et systèmes de production dans les exploitations du Massif central

L'aptitude fromagère du lait dépend de sa composition chimique, notamment des teneurs en protéines et en minéraux. En outre, la composition en acides gras et la teneur en enzymes protéolytiques du lait peuvent modifier les caractéristiques organoleptiques des fromages. Cet article montre la grande variabilité de l'importance de ces composants dans le lait. Ces variations sont mises en relation avec les conditions de production du lait de cinq systèmes d'élevage représentatifs du Massif Central.

Les caractéristiques des fromages affinés dépendent en partie des caractéristiques chimiques, physiques et bactériologiques des laits mis en fabrication. Dans certains cas, par exemple les fromages d'Appellation d'Origine Contrôlée, les modifications de la matière première lors de la fabrication sont limitées voire interdites. Ces caractéristiques revêtent alors une importance particulière, d'autant plus forte que les fromages sont fabriqués à

partir de petites quantités de lait issues de quelques troupeaux ou d'un seul dans le cas des produits fermiers.

Parmi les caractéristiques chimiques du lait, certaines ont fait l'objet de nombreux travaux. Il s'agit des taux butyreux et protéique dont les facteurs de variation sont bien connus (Sutton 1989, Hoden et Coulon 1991, Agabriel *et al* 1993), ainsi que leurs effets sur l'aptitude à la coagulation ou sur le rendement fromager (Hoden *et al* 1990, Remeuf *et al* 1991, Martin et Coulon 1995, Agabriel *et al* 1999).

Résumé

Vingt-cinq exploitations d'Auvergne ont fait l'objet d'un suivi d'élevage durant l'année 1998. Quatre enquêtes, réalisées pendant les différentes saisons, ont permis de caractériser la conduite des vaches laitières. Cinq prélèvements de lait de troupeaux, deux en hiver et trois au pâturage, ont été effectués afin d'analyser les fractions azotées (matières protéiques fromageables, urée), les teneurs en lactose et en minéraux (calcium, phosphore et citrates dans le lait et le sérum), la composition en acides gras, les activités des enzymes protéolytiques et le pH.

A partir des 89 échantillons de laits de troupeaux dont le stade moyen de lactation était compris entre 2 et 7 mois, six classes de lait ont été constituées. Elles s'opposent sur l'ensemble des caractéristiques analysées. La saison, la race et la conduite de l'alimentation des vaches sont les principaux facteurs d'explication des variations de la composition chimique du lait. Trois classes de lait retiennent une attention particulière : la première présente, a priori, les caractéristiques les moins favorables (faibles teneurs en protéines et en minéraux, faible acidité). Il s'agit de laits d'hiver produits généralement à partir de fourrages fermentés. A l'inverse, une autre classe rassemble des laits riches en protéines et en minéraux, et dont les proportions d'acides gras longs et insaturés dans la matière grasse sont les plus fortes. Il s'agit de laits de fin d'été, produits par des troupeaux de race Montbéliarde. Enfin une classe, spécifique de la race Salers, est caractérisée par un très faible taux butyreux et de très faibles activités des enzymes protéolytiques. Les aptitudes fromagères de ces différents types de lait restent à quantifier.

Mais l'aptitude fromagère du lait dépend aussi d'autres caractéristiques qui ont été beaucoup moins étudiées. Certaines agissent essentiellement sur la phase de coagulation et sur le rendement fromager. Il s'agit, en particulier, du pH initial du lait dont la diminution augmente la vitesse de coagulation et la fermeté du gel (Walstra 1990), de la qualité des protéines (proportion de protéines fromageables dans les protéines totales), et des caractéristiques minérales (calcium, phosphore et citrates) qui interviennent dans les équilibres ioniques et influent donc sur la structure des micelles de caséines (Le Graet et Brûlé 1993). Même si l'on admet généralement que les teneurs en phosphore et en calcium varient peu avec l'alimentation des animaux (Brûlé 1987), on observe cependant des variations saisonnières importantes, au moins pour le calcium (Martin 1993), qu'il est difficile d'expliquer. Par ailleurs, la composition en acides gras et la teneur en enzymes protéoly-

tiques du lait peuvent modifier sensiblement les caractéristiques sensorielles des fromages, en particulier leur texture (Fox 1989, Colin *et al* 1992, Visser 1993, Bugaud *et al* 2001). Ces éléments peuvent varier fortement en fonction du stade physiologique des animaux, de leur race ou de leur alimentation (Decean et Ghadaki 1970, Politis et Kwai Hang 1989, Benslimane *et al* 1990, Murphy et Connolly 1991, Palmquist *et al* 1993).

L'objectif de cette étude est d'une part, de décrire les variations des caractéristiques chimiques fines du lait à l'échelle de l'exploitation, en mettant l'accent sur celles qui sont peu connues et qui ont des conséquences sur l'aptitude fromagère des laits (fractions azotées, minéraux, enzymes, composition en acides gras), et d'autre part, d'analyser ces variations en fonction des conditions de production du lait, c'est-à-dire des caractéristiques des animaux (race, stade physiologique, état sanitaire ...) et de leur conduite (logement, alimentation, reproduction ...).

1 / Conduite de l'étude

1.1 / Données

Vingt-cinq exploitations laitières, situées dans le Cantal (10) ou le Puy-de-Dôme (15) ont été choisies. Situées à une altitude comprise entre 365 et 1150 m, elles correspondent à cinq systèmes de production, représentatifs de la diversité de la zone d'étude, définis sur la base de la race (Prim'Holstein, Montbéliarde ou Salers) et de l'alimentation hivernale (fourrage dominant de la ration de base : ensilage de maïs, ensilage d'herbe, foin), l'alimentation estivale étant, pour tous les systèmes, basée sur le pâturage. Leur surface agricole utile recouvrait en moyenne 72 ha. La surface toujours en herbe représentait la totalité de la SAU de 15 exploitations. Les cinq exploitations " Prim'Holstein-maïs " avaient toutes des surfaces en cultures (notamment en céréales à paille et en maïs ensilage) qui représentaient 15 à 32 % de la SAU. Parmi les cinq autres exploitations ayant des cultures, les céréales à paille occupaient 2 à 19 % de la SAU ; une exploitation cultivait du maïs grain. Les troupeaux étaient composés de 20 à 80 vaches laitières. La production laitière par vache était très variable, de 2325 kg/an (4477 kg/an en dehors des troupeaux Salers) à 8390 kg/an, les quotas allant de 38 000 à 485 000 l de lait avec une moyenne de 183 000 l.

Des prélèvements du lait de troupeau (deux en hiver – janvier et mars 1998, trois au pâturage – mai, juin et septembre 1998) ont été réalisés dans les tanks contenant le lait de quatre traites. Sur ces échantillons, les mesures ont concerné le pH (à 20°C), les teneurs en matières grasses, en protéines, en lactose (méthode infrarouge), la teneur en urée (méthode colorimétrique au diméthyl amino benzaldéhyde), la teneur en matières protéiques fromageables (différence entre taux protéique du lait et taux protéique du

sérum obtenu après une coagulation à la présure), les activités des enzymes protéolytiques (dosage de l'activité de la plasmine et de l'activité liée au plasminogène après activation par l'urokinase par spectrophotométrie), les teneurs en citrates (méthode enzymatique), en calcium (absorption atomique) et en phosphore (méthode colorimétrique). Dans cette étude, nous avons appelé calcium total le calcium contenu dans le lait, calcium soluble celui contenu dans le sérum après coagulation par la présure et calcium coagulable celui dont la teneur est obtenue par différence entre les teneurs en calcium total et soluble. Nous avons procédé de la même façon pour le phosphore. Par ailleurs, la composition en acides gras du lait a été analysée selon la méthode décrite par Bauchart et Duboisset (1983). Les acides gras dont le nombre d'atomes de carbone était inférieur ou égal à 14 ont été regroupés sous le terme acides gras courts, sous le terme d'acides gras moyens ceux dont le nombre d'atomes de carbone était égal à 16, sous le terme d'acides gras longs ceux dont le nombre d'atomes de carbone était égal à 18, et sous le terme acides gras insaturés l'ensemble des acides gras monoinsaturés (acide palmitique C16:1 et acide oléique C18:1) et des acides gras polyinsaturés (acide linoléique C18:2 et acide linoléique C18:3).

Sur chacune des exploitations, les informations zootechniques concernant la composition du troupeau, les caractéristiques des vaches laitières (race, âge, stade de lactation) et de leur conduite, en particulier alimentaire (nature des fourrages), ont été recueillies lors de quatre enquêtes (une par saison) ou à partir des données du contrôle laitier. Enfin, pour chaque troupeau, le pourcentage de variants B de la caséine kappa et de la bêta-lactoglobuline a été déterminé par chromatographie réalisée sur les prélèvements du lait de troupeau du mois de mai 1998.

1.2 / Analyse des données

Pour mettre en relation les caractéristiques des laits et les pratiques des éleveurs, la démarche a été de constituer des classes de laits présentant des caractéristiques homogènes, puis d'analyser les relations entre ces classes et les caractéristiques des animaux et de leur alimentation.

Une analyse préalable de l'ensemble des prélèvements réalisés a confirmé le poids prédominant du stade de lactation sur la plupart des caractéristiques du lait. En effet, les laits de début (mois moyen de lactation inférieure à deux) et de fin de lactation (mois moyen de lactation supérieur à sept) se différencient par leurs teneurs en protéines et en matières grasses, par l'activité des enzymes protéolytiques, le pH ou la composition des matières grasses. Afin de ne pas biaiser l'analyse par cet effet déjà largement décrit du stade physiologique (Benslimane *et al* 1990, Schultz *et al* 1990, Coulon *et al* 1991), la typologie finale a été réalisée uniquement avec les laits correspondant à un mois moyen de lactation du troupeau compris entre deux et sept, soit 89

L'étude a porté sur cinq systèmes de production laitière du Massif Central.

Tableau 1. Répartition des prélèvements de lait selon la saison. Le système de production est défini par la race du troupeau et le fourrage dominant de la ration de base hivernale.

| Système de production | Nb de troupeaux | Nb d'échantillons de lait ⁽¹⁾ | |
|----------------------------------|-----------------|--|----------|
| | | Hiver | Pâturage |
| Prim'Holstein - maïs | 5 | 10 | 9 |
| Prim'Holstein - ensilage d'herbe | 5 | 10 | 7 |
| Montbéliarde - ensilage d'herbe | 5 | 10 | 9 |
| Montbéliarde - foin | 5 | 9 | 12 |
| Salers - foin | 5 | 2 | 11 |

⁽¹⁾ Provenant de troupeaux dont le mois moyen de lactation est compris entre 2 et 7.

lait sur les 125 disponibles (tableau 1). Seulement deux échantillons de lait prélevés dans les troupeaux Salers en hiver ont donc pu être utilisés dans cette étude : dans ces troupeaux, les vêlages sont très groupés en hiver, ce qui se traduit par un stade moyen de lactation trop précoce durant cette saison. De même, seulement la moitié des prélèvements réalisés au pâturage dans les troupeaux Prim'Holstein a pu être considérée dans cette étude, en raison de vêlages souvent très groupés à l'automne dans ces troupeaux, se traduisant par un stade de lactation avancé lorsque les vaches sont au pâturage.

Parmi l'ensemble des vaches traitées, 28 % étaient des primipares et 17 % étaient au minimum à leur 6^{ème} lactation. Les troupeaux étaient en moyenne respectivement dans leur 5^{ème} et 6^{ème} mois de lactation pendant l'hiver et durant l'été. La quantité de lait produite par vache a peu varié selon les périodes de prélèvements (23,1 kg/j en janvier et 17,4 en septembre), mais, pour chaque mois de prélèvements, elle a été très différente selon les troupeaux (coefficient de variation (CV) allant de 18 à 40 %).

Les classes de laits ont été élaborées à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique (CAH, logiciel SPAD) construite à partir des résultats d'une analyse en composantes principales (ACP, les coordonnées des laits sur les 5 premiers axes de l'analyse expliquant 76 % de la variabilité). L'ACP a été réalisée à partir de la composition chimique fine des laits caractérisée par 14 variables : composition des matières azotées (teneur en protéines fromageables, proportion de protéines fromageables dans les protéines totales, teneur en urée), activités des enzymes protéolytiques (plasmine et plasminogène après activation), caractéristiques minérales (teneurs en citrates, calcium et phosphore du lait et du sérum), pH ainsi que taux butyreux et proportions massiques des acides gras courts et des acides gras insaturés. Une partition en six classes a été retenue.

Les différences de caractéristiques du lait et de caractéristiques des animaux et de leur conduite entre ces six classes ont été traitées par analyse de variance à un facteur (la classe de laits) pour les variables quantitatives et par le test du khi deux pour les variables qualitatives (Statgraphics + 1998).

2 / Résultats

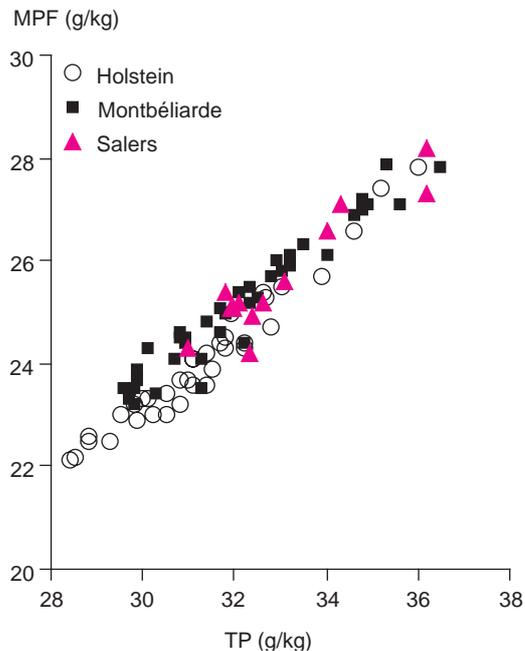
2.1 / Caractéristiques des laits

En moyenne, un kilogramme de lait contenait 0,32 g d'urée et 24,8 g de matières protéiques fromageables (MPF), 1,16 g de calcium, 0,89 g de phosphore et 1,57 g de citrates. Les acides gras comprenaient 25 % d'acides gras courts et 40 % d'acides gras longs. Le niveau moyen d'activité de la plasmine et du plasminogène après activation a été respectivement de 39 et 146 nmoles de paranitroaniline/ml/h. La variabilité a été très différente selon les constituants. Le pH, la teneur en lactose et la part des MPF dans les protéines totales (MPF/TP) ont été stables aussi bien au cours de l'année qu'intra période de prélèvement (CV < 3 %). La teneur en urée et les activités de la plasmine et du plasminogène ont été très variables au cours de l'année ainsi qu'intra période de prélèvement (CV variant de 15 à 45 %). La composition des matières grasses a été également très variable selon la saison, mais avec une hétérogénéité intra période de prélèvement moins importante. La proportion d'acides gras longs et d'acides gras insaturés a été plus faible en hiver (respectivement 33 et 25 %) qu'au pâturage (respectivement 46 et 34 %). La variabilité des autres caractéristiques (taux protéique et butyreux, matières protéiques fromageables, teneurs en minéraux) a été intermédiaire, aussi bien au cours de l'année qu'intra période de prélèvement (CV variant de 5 à 11 %).

La mise à l'herbe s'est accompagnée de modifications très importantes de la plupart des caractéristiques du lait, et en particulier de la teneur en urée (+0,12 g/kg entre les prélèvements de mars et de mai), du rapport MPF/TP (-2 points), des activités de la plasmine et du plasminogène (respectivement -12 et -41 nmoles de paranitroaniline/ml/h) et des teneurs en minéraux (respectivement +0,06 g/kg, +0,09 g/kg et -0,26 g/kg pour le calcium, le phosphore et les citrates).

Sur l'ensemble des 89 prélèvements, la teneur en MPF a été liée de manière linéaire et très étroite à la teneur en protéines du lait ($R^2 = 0,92$; figure 1).

Figure 1. Liaison entre les matières protéiques fromageables (MPF) et le taux protéique (TP) des laits.



2.2 / Typologie des laits selon leurs caractéristiques

L'ACP réalisée sur les 89 laits provenant des troupeaux dont le mois moyen de lactation était compris entre 2 et 7 mois permet de dégager deux grands axes de variation (figure 2). Le premier oppose des laits riches en minéraux (calcium et phosphore), en azote (matières protéiques fromageables et urée) et dont la proportion d'acides gras insaturés est importante, à des laits riches en acides gras courts et dont le rapport MPF/TP est élevé. Le second axe oppose des laits dont les activités des enzymes protéolytiques (plasmine et plasminogène après activation) sont importantes, les teneurs en matières grasses, citrates et calcium soluble sont fortes à des laits dont le pH est plus élevé.

La classification des laits selon leurs caractéristiques fines a permis de définir 6 classes (figure 3, tableau 2). Les caractéristiques des troupeaux, race, saison et conduite de l'alimentation, diffèrent selon les types de laits (tableau 3). Les deux premières classes sont composées d'échantillons prélevés principalement durant l'hiver alors que les quatre dernières comportent surtout des laits produits au pâturage.

Figure 2. Cercle des corrélations des 14 variables actives de l'ACP.

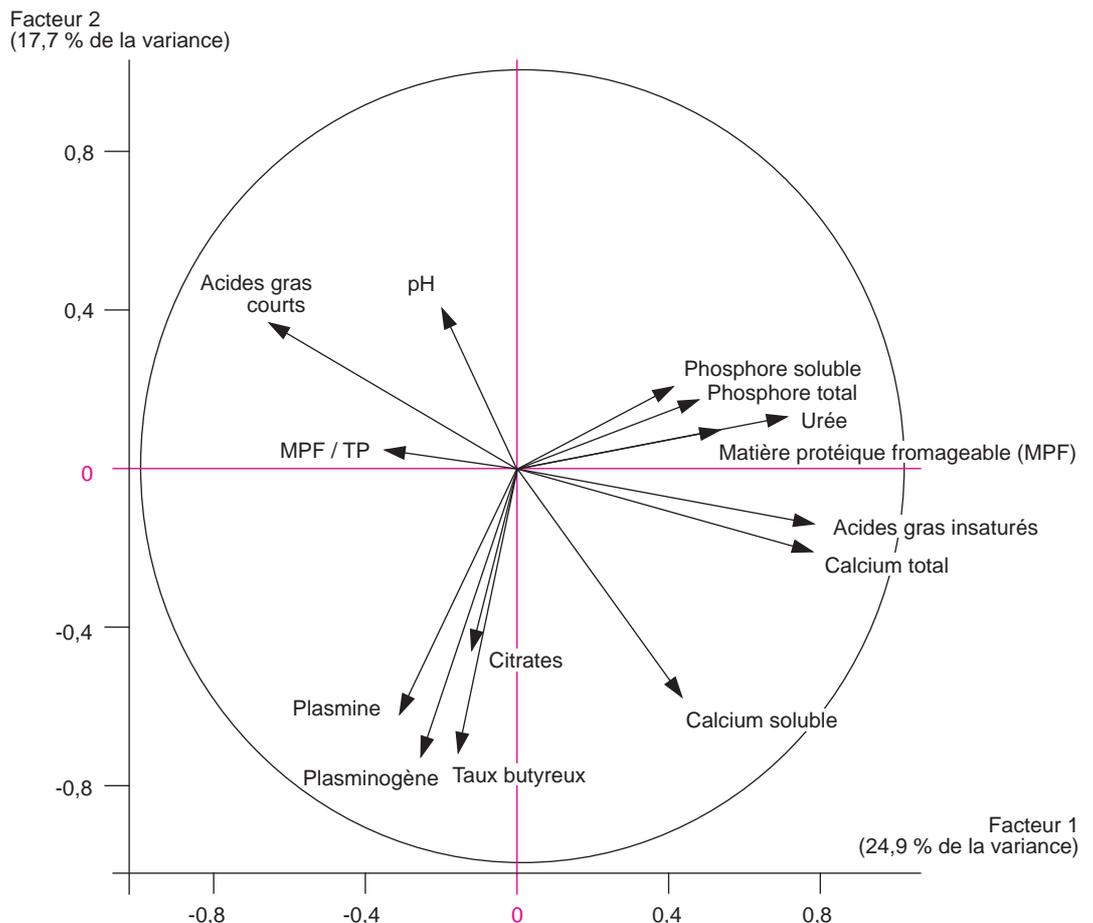
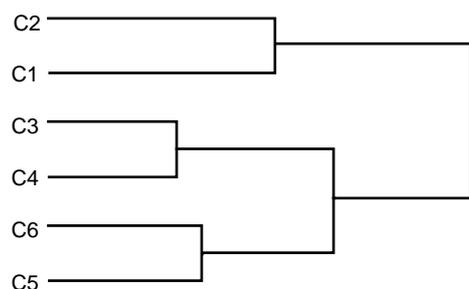


Figure 3. Dendrogramme de la classification hiérarchique.



Les classes 1 et 2 regroupent les laits ayant la plus forte proportion d'acides gras courts (28 %) et la plus faible proportion d'acides gras insaturés (25 %). Ils sont pauvres en calcium et en urée. Dans ces laits, l'activité liée au plasminogène est élevée. Dans la classe 1 (n=29), les laits sont également pauvres en phosphore, matières protéiques fromageables et lactose. Ces laits ont un pH élevé. Les laits de la classe 2 (n=13) se distinguent de ceux de la classe 1 par leur richesse en phosphore, matières protéiques fromageables et matières grasses. Ces laits ont aussi un pH faible et une très forte activité de la plasmine.

Ces deux classes regroupent des laits prélevés essentiellement en janvier et mars. Les troupeaux, qui comportent la plus forte pro-

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des laits des six classes.

| Classe de laits Effectif d'échantillons de laits | C1 29 | C2 13 | C3 14 | C4 8 | C5 16 | C6 9 | P ⁽¹⁾ | Moyenne 89 |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------|
| Taux protéique (g/kg) | 30,6 ^a | 32,5 ^b | 31,3 ^a | 34,5 ^c | 32,8 ^b | 32,8 ^b | *** | 32,0 |
| Taux butyreux (g/kg) | 39,1 ^b | 43,2 ^d | 41,8 ^{cd} | 40,2 ^{bc} | 38,9 ^b | 30,7 ^a | *** | 39,3 |
| Leucocytes (médiane, milliers/ml) | 114 | 147 | 115 | 167 | 161 | 141 | ns (sur log) | 141 |
| pH | 6,72 ^c | 6,69 ^a | 6,68 ^a | 6,71 ^{abc} | 6,72 ^{bc} | 6,69 ^{ab} | *** | 6,70 |
| Citrates (g/kg) | 1,58 ^b | 1,61 ^{bc} | 1,61 ^{bc} | 1,71 ^c | 1,39 ^a | 1,59 ^{bc} | *** | 1,57 |
| Lactose (g/kg) | 48,2 ^a | 48,6 ^{ab} | 48,2 ^a | 48,4 ^{ab} | 49,1 ^b | 50,8 ^c | *** | 48,7 |
| Calcium total (g/kg) | 1,11 ^a | 1,14 ^b | 1,18 ^{bc} | 1,27 ^d | 1,19 ^c | 1,18 ^c | *** | 1,16 |
| Calcium soluble (g/kg) | 0,31 ^a | 0,32 ^{ab} | 0,34 ^c | 0,36 ^d | 0,31 ^a | 0,33 ^{bc} | *** | 0,32 |
| Calcium coagulable (g/kg) | 0,80 ^a | 0,82 ^{ab} | 0,83 ^b | 0,91 ^d | 0,88 ^{cd} | 0,86 ^{bc} | *** | 0,84 |
| Phosphore total (g/kg) | 0,84 ^a | 0,96 ^c | 0,86 ^a | 0,91 ^d | 0,92 ^b | 0,94 ^{bc} | *** | 0,89 |
| Phosphore soluble (g/kg) | 0,36 ^a | 0,43 ^d | 0,37 ^{ab} | 0,40 ^{bc} | 0,39 ^c | 0,45 ^d | *** | 0,39 |
| phosphore coagulable (g/kg) | 0,47 ^a | 0,53 ^c | 0,49 ^{ab} | 0,51 ^{bc} | 0,52 ^{bc} | 0,49 ^{abc} | ** | 0,50 |
| MPF ⁽²⁾ (g/kg) | 24,0 ^a | 25,1 ^b | 24,2 ^a | 27,0 ^c | 25,1 ^b | 25,6 ^b | *** | 24,8 |
| Urée (g/kg) | 0,27 ^a | 0,25 ^a | 0,32 ^b | 0,38 ^{bc} | 0,39 ^c | 0,35 ^{bc} | *** | 0,32 |
| MPF/TP (%) | 78,3 ^c | 77,3 ^{ab} | 77,4 ^b | 78,3 ^{bc} | 76,6 ^a | 77,7 ^{bc} | *** | 78 |
| Activité de la plasmine ⁽³⁾ | 39 ^{bc} | 54 ^d | 46 ^{cd} | 38 ^{bc} | 33 ^b | 12 ^a | *** | 39 |
| Activité du plasminogène ⁽³⁾ | 153 ^c | 162 ^c | 204 ^d | 143 ^{bc} | 106 ^{ab} | 74 ^a | *** | 146 |
| Acides gras courts (%) | 28,1 ^c | 28,7 ^c | 21,8 ^a | 21,1 ^a | 23,2 ^{ab} | 25,0 ^b | *** | 25,3 |
| Acides gras longs (%) | 34,2 ^b | 31,5 ^a | 46,7 ^{cd} | 48,6 ^d | 45,0 ^c | 45,5 ^{cd} | *** | 40,1 |
| Acides gras monoinsaturés (%) | 23,6 ^b | 21,2 ^a | 31,8 ^c | 33,0 ^c | 30,9 ^c | 30,9 ^c | *** | 27,4 |
| Acides gras polyinsaturés (%) | 2,2 ^b | 1,8 ^a | 2,8 ^c | 2,9 ^c | 2,9 ^c | 2,5 ^{bc} | *** | 2,4 |
| Acides gras insaturés (%) | 25,7 ^b | 23,0 ^a | 34,5 ^c | 35,9 ^c | 33,8 ^c | 33,4 ^c | *** | 29,8 |

Les laits analysés ont été regroupés en six classes se différenciant par leur composition, notamment les proportions d'acides gras.

⁽¹⁾ Signification statistique de l'analyse de variance : ns : non significatif, ** significatif à 1%, *** significatif à 1%. Sur une même ligne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 1%.

⁽²⁾ Matière protéique fromageable

⁽³⁾ En nmole de paranitroaniline par ml de lait et par heure. Pour le plasminogène mesure après activation.

Tableau 3. Caractéristiques des troupeaux et de leur conduite par classe de laits.

| Classe de laits | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | P ⁽¹⁾ | Total |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|
| Effectif d'échantillons de laits | 29 | 13 | 14 | 8 | 16 | 9 | | 89 |
| Nombre d'exploitations | 15 | 8 | 10 | 8 | 14 | 4 | | |
| Races (nombre de troupeaux) | | | | | | | *** | |
| Prim'Holstein | 11 | 11 | 7 | - | 7 | - | | 36 |
| Montbéliarde | 18 | 2 | 6 | 6 | 8 | - | | 40 |
| Salers | - | - | 1 | 2 | 1 | 9 | | 13 |
| Ration de base (nombre de troupeaux) | | | | | | | *** | |
| Ensilage de maïs | 1 | 9 | - | - | - | - | | 10 |
| Herbe fermentée | 10 | 3 | 1 | - | - | - | | 14 |
| Foin + herbe fermentée | 9 | 1 | - | - | - | - | | 10 |
| Fourrage sec | 5 | - | 2 | - | - | 2 | | 9 |
| Pâturage + foin | 1 | - | 2 | 1 | 3 | 2 | | 9 |
| Pâturage + herbe fermentée | - | - | 1 | 1 | 1 | - | | 3 |
| Pâturage + ensilage de maïs | 1 | - | 1 | - | 2 | - | | 4 |
| Pâturage précoce | 1 | - | 4 | 3 | 10 | 5 | | 23 |
| Pâturage tardif | 1 | - | 3 | 2 | - | - | | 6 |
| Mois de prélèvement (nombre de laits) | | | | | | | *** | |
| Janvier | 10 | 8 | 1 | - | - | - | | 19 |
| Mars | 15 | 4 | 1 | - | - | 2 | | 22 |
| Mai | 2 | - | 3 | - | 13 | 4 | | 22 |
| Juin | 2 | - | 3 | 1 | 2 | 3 | | 11 |
| Septembre | - | 1 | 6 | 7 | 1 | - | | 15 |
| Lactation (moyenne) | | | | | | | | |
| Stade de lactation (mois) | 4,6 ^{bc} | 4,6 ^b | 5,4 ^{cd} | 5,6 ^d | 5,9 ^d | 3,4 ^a | *** | 5,0 |
| Rang de lactation (ans) | 3,2 ^{ab} | 2,7 ^a | 3,6 ^b | 3,7 ^{bc} | 3,5 ^b | 4,3 ^c | *** | 3,4 |
| Production moyenne (kg/j par vache) | 21,8 ^{bc} | 25,3 ^d | 21,4 ^{bc} | 18,8 ^b | 23,3 ^{cd} | 11,3 ^a | *** | 22,3 |
| Nombre de vaches traites | 33 | 37 | 27 | 27 | 29 | 28 | ns | 31 |
| % de primipares | 30 ^{cd} | 35 ^d | 26 ^{bc} | 19 ^{ab} | 31 ^{cd} | 14 ^a | *** | 28 |
| Alimentation (moyenne) | | | | | | | | |
| Quantité de concentré (kg/j/VL) | 4,0 ^d | 4,0 ^{cd} | 2,8 ^b | 2,8 ^{bc} | 3,1 ^{bcd} | 1,3 ^a | *** | 3,3 |
| Valeur énergétique du concentré (UFL/kg) | 1,00 ^{bc} | 0,99 ^{bc} | 1,01 ^{bc} | 0,99 ^b | 1,01 ^c | 0,95 ^a | *** | 1,00 |
| Valeur azotée du concentré (g PDIN/kg) | 127 ^a | 185 ^b | 120 ^a | 129 ^a | 125 ^a | 116 ^a | *** | 134 |
| Valeur azotée du concentré (g PDIE/kg) | 126 ^a | 155 ^b | 125 ^a | 130 ^a | 128 ^a | 113 ^a | ** | 130 |

⁽¹⁾ Signification statistique du test du Khi2 ou de l'analyse de variance : ns : non significatif, ** significatif à 1%, *** significatif à 1%. Sur une même ligne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 1%.

portion de primipares (32 %), sont en milieu de lactation (4,6 mois). Ils sont principalement alimentés avec des fourrages fermentés complétés par 4 kg de concentré par jour et par vache en moyenne. L'apport de complément minéral est systématique. Dans la classe 1, plus de 60 % de la ration est composée d'herbe fermentée et 62 % des laits proviennent de troupeaux de race Montbéliarde. Dans la classe 2, les laits proviennent principalement de troupeaux de race Prim'Holstein (85 %), alimentés avec de l'ensilage de maïs (9 laits/13), complété par un concentré riche en azote.

INRA Productions Animales, mai 2001

Les classes 3 à 6 regroupent les laits ayant une faible proportion d'acides gras courts (très faible pour les classes 3 et 4) et une forte proportion d'acides gras insaturés (34 %). Ils sont également riches en calcium et en urée.

Les classes 3 (n=14) et 4 (n=8) réunissent des laits ayant une forte teneur en calcium soluble. Ces deux classes se différencient par les teneurs en matières azotées (TP et MPF faibles dans la classe 3 et fortes dans la 4), en calcium coagulable (élevée pour la classe 4) et l'activité des enzymes protéolytiques (importante dans la classe 3).

Les classes 5 (n=16) et 6 (n=9) associent des laits riches en lactose et en phosphore soluble et dont l'activité des enzymes protéolytiques est faible (très faible pour la classe 6). La classe 5 regroupe des laits qui sont, de plus, pauvres en citrates et en calcium soluble. Pour ces laits, le rapport MPF/TP est en moyenne le plus faible, alors qu'il est élevé pour ceux de la classe 6. Dans cette classe 6, les laits sont très pauvres en matières grasses.

Les classes 3 à 6 regroupent des laits prélevés quasi exclusivement au cours des mois de mai, juin et septembre (91 %). Les échantillons des classes 3, 4, et 5 proviennent de troupeaux dont la lactation est la plus avancée (5,6 mois de lactation). Dans la classe 3, 11 laits sur 14 proviennent de troupeaux alimentés au pâturage dont 4 reçoivent un complément de fourrage. Les troupeaux sont pour moitié de race Prim'Holstein et pour l'autre moitié de race Montbéliarde. La classe 4 regroupe des laits prélevés en septembre (7/8) et issus de troupeaux essentiellement de race Montbéliarde (6/8). La classe 5 regroupe beaucoup de laits prélevés en mai (13/15). Dans la classe 6, les troupeaux sont tous de race Salers, avec peu de primipares (14 %) ; le stade de lactation y est le moins avancé (3,4 mois) et la production individuelle la plus faible (11,3 kg de lait/jour). Plus de la moitié des troupeaux de cette classe ne reçoit pas de complément minéral.

3 / Discussion - conclusion

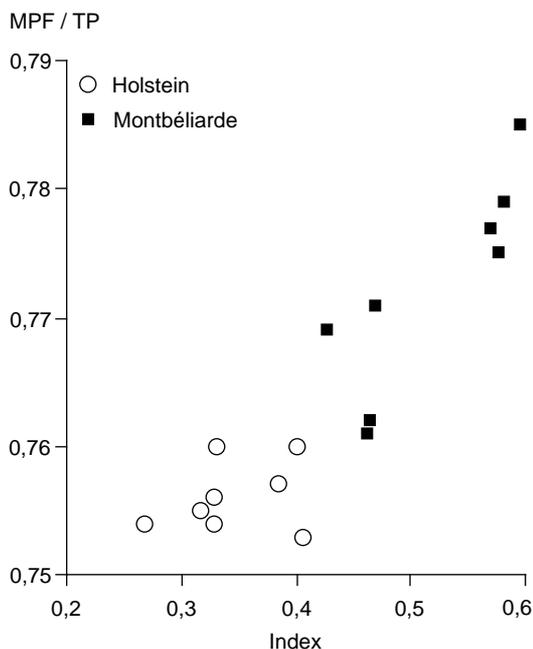
Dans cette étude, bien que nous nous soyons affranchis de l'influence des stades de lactation extrêmes, la composition chimique du lait a été très variable pour la majorité des constituants. Cette variabilité ne peut pas être attribuée de façon importante à des facteurs sanitaires, et en particulier aux affections mammaires, connues pour modifier sensiblement certains paramètres du lait, comme la teneur en minéraux (Brûlé 1987) et en enzymes protéolytiques (Politis et Kwai Hang 1989, Verdi et Barbano 1991) ou la proportion de protéines fromageables dans les protéines totales (Coulon *et al* 1998). En effet, dans la grande majorité (80 %) des prélèvements de cette étude, les numérations cellulaires étaient inférieures à 200 000/ml, seuil à partir duquel les effets deviennent sensibles, et les enquêtes n'ont pas montré la présence importante de mammites.

La variabilité observée est d'abord due à des facteurs génétiques et alimentaires. Bien que, dans le cas des troupeaux Salers, il soit difficile de séparer formellement l'effet de la saison de celui de la race en raison de la répartition des vélages observée dans ce système, il est très vraisemblable que l'essentiel des particularités de la classe 6 soit lié à l'origine génétique des animaux et à leur conduite en système traditionnel. Les teneurs faibles en matières grasses du lait de ces vaches sont connues (Hoden *et al* 1973, Institut de l'élevage et France Contrôle Laitier 1999), mais les faibles teneurs en plasminine et plasminogène, dont on sait qu'elles dépendent fortement de

la génétique (Richardson 1983, Chiofalo *et al* 2000), n'avaient jusqu'à présent pas été décrites, de même que la forte teneur en lactose (Chiofalo *et al* 2000). Dans le cas de la classe 6, le stade de lactation, le moins avancé, pourrait accentuer les écarts observés : activités des enzymes protéolytiques très faibles et proportion d'acides gras courts la plus forte parmi les classes de laits produits au pâturage. Les facteurs génétiques expliquent, par ailleurs, les différences de taux protéique (3,2 g/kg) entre la classe 4 (composée essentiellement de troupeaux Montbéliards) et la classe 3 (composée à 50 % de troupeaux Prim'Holstein). Enfin, cette étude a montré que le polymorphisme des lactoprotéines du lait pouvait expliquer les différences inter-troupeaux du rapport MPF/TP : les différences sensibles observées entre les troupeaux Prim'Holstein et Montbéliard disparaissent lorsque l'on tient compte du pourcentage de variant B de la caséine kappa et de la beta-lactoglobuline dans les laits de troupeaux (figure 4).

Figure 4. Relation entre le rapport matières protéiques fromageables/protéines (MPF/TP) et un index combinant les proportions de variant B de la β lactoglobuline et de la caséine κ .

Pour les autres différences entre classes,



les effets sont dus à des facteurs alimentaires ou à des interactions entre facteurs alimentaires et génétiques. Ainsi l'opposition entre les classes 1 et 2 d'une part et 3, 4, 5 et 6 d'autre part en matière de teneur en urée et de composition en acides gras est directement à relier à la nature de l'alimentation : les régimes à base d'herbe pâturée sont en effet connus pour entraîner une augmentation de la teneur en urée du lait, en raison de leur richesse en PDIN -protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote- en particulier au printemps (Coulon *et al* 1988). Ces régimes

Les écarts de composition du lait sont d'abord dus à des facteurs alimentaires et génétiques, en particulier pour le taux butyreux et la part relative des protéines fromageables.

La composition en acides gras du lait et la teneur en urée varient selon la nature du fourrage consommé.

entraînent aussi une augmentation de la proportion des acides gras longs et des acides gras insaturés dans le lait (Decaen et Ghadiki 1970, Coulon *et al* 1988). Cet effet est dû à la fois à la modification des fermentations ruminales, moins favorables à la production d'acides acétique et butyrique et donc à la synthèse d'acides gras courts et moyens par la mamelle, et à la teneur élevée en lipides de l'herbe jeune favorisant l'activité de prélèvement des acides gras longs de la ration (Bauchart *et al* 1985). Les écarts observés à l'échelle de laits de troupeaux sont très importants et peuvent avoir des conséquences sensibles sur la texture et le goût des produits transformés (Buchin *et al* 1997, Bugaud 2001). Des différences plus faibles ont été observées entre les classes 1 et 2 : elles peuvent être attribuées là aussi à la nature de la ration hivernale (essentiellement à base d'ensilage de maïs dans la classe 2 alors que l'ensilage d'herbe domine dans la classe 1) dont les effets ont déjà été mis en évidence de manière expérimentale (Hoden *et al* 1985, Coulon *et al* 1995).

En ce qui concerne les taux butyreux et protéique, la comparaison des classes 1 et 2 permet de bien illustrer les phénomènes d'interactions entre facteurs génétiques et alimentaires : dans la classe 2, le taux butyreux élevé est lié au cumul d'un effet génétique (les animaux Prim'Holstein présentent des taux butyreux supérieurs à ceux des autres races présentes dans cette étude) et alimentaire, en raison de la prédominance des rations à base d'ensilage de maïs (Hoden et Coulon 1991). Dans cette classe, le taux protéique est supérieur de près de 2 g/kg à celui de la classe 1 dans laquelle la majorité des troupeaux sont pourtant de type Montbéliard : cet écart est dû à la nature de la ration hivernale dont les apports énergétiques, qui constituent un facteur prédominant de variation du taux protéique (Coulon et Rémond 1991), sont certainement largement inférieurs à ceux des rations à base d'ensilage de maïs de la classe 2.

Les classes se différencient aussi par les teneurs en minéraux ; globalement, ces teneurs sont d'autant plus élevées que les teneurs en protéines le sont aussi. Ce résultat est cependant plus marqué pour le calcium ($R^2 = 0,31$ sur les 89 prélèvements) que pour le phosphore ($R^2 = 0,14$) pour lequel on observe les écarts les plus élevés entre les classes 1 et 2. S'il est couramment admis que la teneur en phosphore dépend peu de l'alimentation (Guégen *et al* 1988), des travaux récents ont cependant mis en évidence des différences significatives en fonction de la nature de l'alimentation, foin vs ensilage d'herbe (Coulon *et al* 1997) : il est donc possible que les écarts observés entre les classes 1 et 2 soient à mettre en relation avec le type de ration

dominant de ces deux classes (herbe conservée vs ensilage de maïs). Les valeurs extrêmes des teneurs en citrates du lait ont été observées dans les classes 4 et 5 qui se différencient essentiellement par la période de pâturage (mai vs septembre).

En définitive, même en excluant les laits de début et de fin de lactation, nous avons obtenu des types de lait dont les caractéristiques physico-chimiques peuvent être très différentes. Il reste maintenant à quantifier l'effet de ces différences de composition chimique sur les aptitudes du lait à la transformation (qualité du caillé, rendement fromager) et sur les caractéristiques sensorielles du fromage affiné. Trois classes de lait retiennent une attention particulière : d'une part la classe 1 qui présente, a priori, les caractéristiques les moins favorables (faibles teneurs en protéines et en minéraux, faible acidité) ; d'autre part la classe 4 qui rassemble, à l'inverse, des laits riches en protéines et en minéraux, dont les proportions d'acides gras longs et insaturés dans la matière grasse sont les plus fortes ; enfin la classe 6, spécifique de la race Salers, caractérisée par un très faible taux butyreux et de très faibles activités des enzymes protéolytiques. Ces classes sont associées à des conditions de production distinctes regroupant des facteurs saisonniers, alimentaires, génétiques et physiologiques, qui peuvent interagir entre eux. S'il est donc difficile, à partir des résultats de cette étude, de hiérarchiser l'effet propre de chacun de ces facteurs de production, on peut cependant penser que les facteurs alimentaires au sens large (incluant le changement de nature de ration lié à la saison) jouent un rôle prépondérant, au moins pour les classes 1 à 5. La modification éventuelle de certains de ces facteurs, dans le cadre d'une réflexion sur l'évolution des systèmes de production, doit cependant prendre en compte non seulement leurs conséquences sur les caractéristiques chimiques des laits mais aussi sur les quantités de lait produites et les contraintes induites au niveau de l'exploitation : investissements nécessaires, répercussions sur le travail, etc.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Pôle fromager AOC Massif Central, avec le concours financier du FNADT et de l'association GALA. Nous tenons à remercier les vingt-cinq producteurs, les six entreprises laitières et les deux syndicats de contrôle laitier qui ont permis sa réalisation. Nous remercions aussi D. Bauchart et G. Miranda pour leur appui dans la réalisation et l'interprétation des analyses de composition de matières grasses du lait et de la détermination des variants génétiques des lactoprotéines.

Références

- Agabriel C., Coulon J.B., Marty G., Bonaïti B., 1993. Facteurs de variation de la composition chimique du lait dans des exploitations à haut niveau de production. *INRA Prod. Anim.*, 6, 53-60.
- Agabriel C., Coulon J.B., Journal C., Sibra C., Albouy H., 1999. Variabilité des caractéristiques des fromages saint-nectaire fermiers : relations avec la composition du lait et les conditions de production. *Lait*, 79, 291-302.
- Bauchart D., Dubois F., 1983. Utilisation de colonnes capillaires de verre pour l'analyse des acides gras du lait. *Cahiers techniques de l'INRA*, 1, 37-46.
- Bauchart D., Doreau M., Legay-Carmier F., 1985. Utilisation digestive des lipides et conséquences de leur introduction sur la digestion du ruminant. *Bull. Tech. CRZV de Theix, INRA*, 61, 65-77.
- Benslimane S., Dognin-Bergeret M.J., Berdagué J.L., Gaudemer Y., 1990. Variation with season and lactation of plasmin and plasminogen concentrations in Montbeliard cows'milk. *J. Dairy Res.*, 57, 423-435.
- Brûlé G., 1987. Les minéraux. In : *Le lait matière première de l'industrie laitière*, 87-98. INRA CEPIL, Paris.
- 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 (FRA), 27-28 nov, 138-152.
- Bugaud C., 2001. Influence de la nature des pâturages sur les caractéristiques de texture et de flaveur des fromages. Thèse de doctorat, université de Bourgogne, 120 p.
- Bugaud C., Buchin S., Noël Y., Tessier L., Pochet S., Martin B., Chamba J-F., 2001. Relationships between Abundance cheese texture, its composition and that of milk produced by cows grazing different types of pastures. *Lait, sous presse*.
- Chiofalo V., Maldonato R., Martin B., Dupont D., Coulon J.B., 2000. Chemical composition and coagulation properties of Modicana and Holstein cows'milk. *Ann. Zootech.*, 49, 497-503.
- Colin O., Laurent F., Vignon B., 1992. Variations du rendement fromager en pâte molle. Relations avec la composition du lait et les paramètres de la coagulation. *Lait*, 72, 307-319.
- Coulon J.B., Rémond B., 1991. Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow : a review. *Livest. Prod. Sci.*, 29, 31-47.
- Coulon J.B., D'Hour P., Petit M., 1988. Influence of transition feeding pattern on milk production at the turnout of cows to pasture. *Livest. Prod. Sci.*, 20, 119-134.
- Coulon J.B., Chilliard Y., Rémond B., 1991. Effets du stade physiologique et de la saison sur la composition chimique du lait de vache et ses caractéristiques technologiques (aptitude à la coagulation, lipolyse). *INRA Prod. Anim.*, 4, 219-228.
- Coulon J.B., Pradel P., Verdier I., 1995. Effect of forage type on milk yield, chemical composition and clotting properties of milk. *Lait*, 75, 513-521.
- Coulon J.B., Pradel P., Verdier I., 1997. Effect of forage conservation (hay or silage) on chemical composition of milk. *Ann. Zootech.*, 46, 21-26.
- Coulon J.B., Hurtaud C., Rémond B., Vérité R., 1998. Facteurs de variation de la proportion de caséines dans les protéines du lait de vache. *INRA Prod. Anim.*, 11, 299-310.
- Decean C., Ghadaki M.B., 1970. Variation de la sécrétion des acides gras des matières grasses du lait de vache à la mise à l'herbe et au cours des six premières semaines d'exploitation du fourrage vert. *Ann. Zootech.*, 19, 399-411.
- Fox P.F., 1989. Dairy foods research papers. Proteolysis during cheese manufacture and ripening. *J. Dairy Sci.*, 72, 1379-1400.
- Guégen L., Lamand M., Meschy F., 1988. Nutrition minérale. In : R. Jarrige (ed), *Alimentation des bovins ovins et caprins*, 95-111. INRA, Paris.
- Hoden A., Coulon J.B., 1991. Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la qualité et les taux de matières grasses et protéiques. *INRA Prod. Anim.*, 4, 361-367.
- Hoden A., Colleau J.J., Journet M., Garel J.P., 1973. Utilisation comparée des races frisonne, montbéliarde et salers pour la production de lait en zone de montagne. *Bull. Tech. CRZV de Theix, INRA*, 13, 37-43.
- Hoden A., Coulon J.B., Dulphy J.P., 1985. Influence de l'alimentation sur la composition du lait. 3. Effets des régimes alimentaires sur les taux butyreux et protéique. *Bull. Tech. CRZV de Theix, INRA*, 62, 69-79.
- Hoden A., Garel J.P., Coulon J.B., Laurent F., 1990. Influence de quelques facteurs zootechniques sur l'aptitude fromagère du lait de vache (synthèse de résultats expérimentaux obtenus à l'INRA). *INRA Prod. Anim.*, 3, 299-304.
- Institut de l'élevage, France Contrôle Laitier, 1999. Résultats de contrôle laitier des espèces bovine et caprine - France 1998, 74 p.
- Le Graet Y., Brûlé G., 1993. Les équilibres minéraux du lait : influence du pH et de la force ionique. *Lait*, 73, 51-60.
- Martin B., 1993. Influence des pratiques d'élevage et de fabrication fromagère sur les caractéristiques du lait et du fromage - cas du reblochon fermier. Thèse ENSAM, 84 p.
- Martin B., Coulon J.B., 1995. 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*, 75, 61-80.
- Murphy J.J., Connolly J.F., 1991. Supplementing cows with full fat rapeseed at pasture. Effects on production and chemical and physical properties of milk fat. EAAP 42nd Annual Meeting, September 8-12, Berlin, 5 p.
- Palmquist D.L., Beaulieu A.D., Barbano D.M., 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.*, 76, 1753-1771.
- Politis I., Kwai Hang K.F.N.G., 1989. Environmental factors affecting plasmin activity in milk. *J. Dairy Sci.*, 72, 1713-1718.
- Remeuf F., Cossin V., Dervin C., Lenoir J., Tomassone R., 1991. Relations entre les caractères physico-chimiques des laits et leur aptitude fromagère. *Lait*, 71, 397-421.
- Richardson B.C., 1983. The proteinases of bovine milk and the effect of pasteurization on their activity. *N. Z. J. Dairy Sci. Tech.*, 18, 233-245.
- Schultz M.M., Hansen L.B., Steuernagel G.R., Kuck A.L., 1990. Variation of milk fat, protein and somatic cells for dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 73, 484-493.
- SPAD version 4 (2000). "CISIA-CERESTA.
- Statgraphics Plus (1998) UNIWARE "Christian R. Charles Analyses statistiques et graphiques.
- Sutton J.D., 1989. Altering milk composition by feeding. *J. Dairy Sci.*, 72, 2801-2814.
- Verdi R.J., Barbano D.M., 1991. Effect of coagulants, somatic cell enzymes, and extracellular bacterial enzymes on plasminogen activation. *J. Dairy Sci.*, 74, 772-782.
- Visser S., 1993. Symposium : proteolytic enzymes and cheese ripening. Proteolytic enzymes and their relation to cheese ripening and flavour : an overview. *J. Dairy Sci.*, 76, 329-350.
- Walstra P., 1990. On the stability of casein micelles. *J. Dairy Sci.*, 73, 1965-1979.

Abstract

Chemical composition of herd milk and farming system in the Massif central.

Twenty-five farms in Auvergne were followed up in 1998. Four studies, performed during the different seasons, made it possible to characterise the management of dairy cows. Five samples were taken from cattle milk, 2 in winter and 3 at grazing, in order to analyse nitrogen fractions (paracasein, urea), lactose and mineral content (calcium, phosphorus and citrates in milk and serum), fat composition, proteolytic enzyme activities and pH. The 89 herd milk samples whose herd mean lactation stage lasted between 2 and 7 months formed six classes of milk which contrasted for all the analysed characteristics. Season, race and feeding are the main factors accounting for variation in the chemical composition of milk. Three classes deserve our

attention. The first one groups together milks produced during the winter generally by herds fed with fermented forage; they present the less favorable characteristics. Conversely, another class assembles milks with high levels of protein, minerals and polyunsaturated fatty acids. These milks are produced by Montbeliard herds at the end of summer. Finally, a class of milks, produced by Salers herds, presents a very low level of fat concentration and very weak proteolytic enzyme activities. Cheese-making properties of these different types of milk must be quantified.

AGABRIEL C., COULON J.B., JOURNAL C., DE RANCOURT B., 2001. Composition chimique du lait et systèmes de production dans les exploitations du Massif central. INRA Prod. Anim., 14, 119-128.