

Qualités du lait et transformation fromagère en races locales Tarine et Abondance

Races locales et filières fromagères AOP-IGP des Savoie

Face aux contraintes de la montagne et aux évolutions techniques et économiques à l'œuvre depuis les années 50, les agriculteurs des Savoie ont dû s'adapter afin de pérenniser leur métier et de maintenir la production laitière en alpage. Pour cela, ils et elles ont inscrit leurs pratiques, étroitement associées aux caractéristiques de leurs animaux, dans les cahiers des charges de leurs fromages sous signe de qualité AOP-IGP. Les races locales des Alpes du Nord, qui sont l'Abondance et Tarentaise ont ainsi été largement maintenues dans les Savoie. Dans de telles filières laitières, **la notion de qualité du lait est un élément central.**

LES 4 DIMENSIONS DE LA QUALITÉ DU LAIT

- **Sanitaire** : le lait ne doit présenter aucun risque pour la santé humaine (microbiologique et hygiénique).
- **Technologique** : capacité du lait à être correctement transformé en produit final.
- **Sensorielle** : capacité du lait à contribuer aux caractéristiques organoleptiques spécifiques du produit final.
- **Nutritionnelle** : capacité du lait (et de son produit final) à contribuer de manière significative à la couverture des besoins nutritionnels des consommateurs

La qualité du lait est principalement contrôlée pour assurer la **sécurité du consommateur**, mais aussi pour évaluer ses **propriétés technologiques**, qui conditionnent le bon déroulement de la transformation fromagère. De façon plus secondaire, la notion de qualité du lait recouvre également une dimension sensorielle et nutritionnelle. Ces caractéristiques sont liées aux pratiques d'élevage (alimentation, hygiène), mais aussi au patrimoine génétique des vaches laitières, décrit par une table de caractères synthétisée par l'Index de Synthèse Unique (ISU).

Certains de ces indices de sélection génétique sont liés à des critères sanitaires du lait, comme la sensibilité aux infections mammaires, suivie dans les caractères dits fonctionnels (cellules immunitaires dans le lait, fertilité et longévité). D'autres critères sont liés à la qualité technologique du lait, via les taux de matières grasses (TB) et protéiques (TP), inclus dans l'indice de production laitière (INEL).

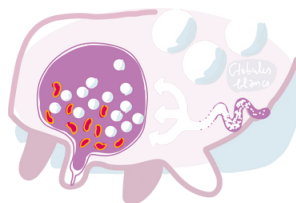
Chaque race possède son propre ISU, selon les objectifs de sélection spécifiques. Aujourd'hui, il n'existe pas d'index "fromageabilité du lait" en races Tarine et Abondance, qui permettrait d'axer directement l'amélioration génétique des animaux sur cet aspect. Cet index a toutefois été mis en place récemment (2022) en race Montbéliarde.

LA QUALITÉ SANITAIRE DU LAIT

Absence d'antibiotiques



- Risque antibiorésistance
- Inhibition de l'activité des bactéries lactiques (acidification)



Plafonnement du nombre de cellules immunitaires présentes dans le lait (CCS) à 400 000 CCS/mL

- Risque sanitaire à la consommation
- Dégradation de la fromageabilité du lait

Plafonnement de la quantité de germes totaux dans le lait à 100 000 UFC/ml

Bactéries lactiques et propioniques

- acidification du lait et du caillé
- formation du goût et de la texture
- ouverture de la pâte

Microcoques
Staphylocoques non-pathogènes

Coliformes

- gonflements précoces
- trous dans le caillé

Bactéries psychotrophes

- goût de rance
- amertume

E.Coli, Staphylocoque doré, Salmonelle, Listeria monocytogenes

- risque pathogène

Absence de colostrum

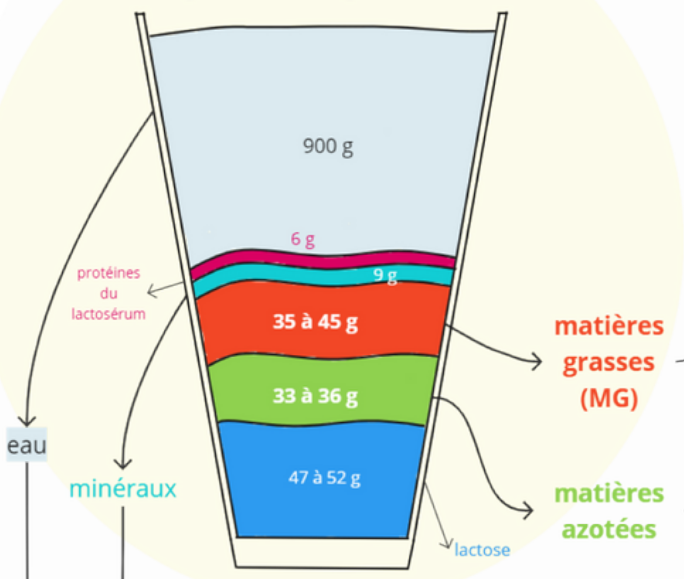
Lait produit dans les 6 jours après vêlage

- Réduction du rendement fromager
- Altération des qualités organoleptiques (goût de rance, coloration)

LES QUALITÉS TECHNOLOGIQUES ET SENSORIELLES DU LAIT

La qualité technologique du lait se traduit par son rendement fromager, par son aptitude à coaguler et à s'acidifier, et par l'égouttabilité du caillé. Ces caractéristiques découlent de différents paramètres, dont certains sont actuellement particulièrement suivis : le taux protéique (TP), le taux butyreux (TB), et le rapport entre ces deux grandeurs (TB/TP).

1 L de lait cru non standardisé
900 g d'eau + 130 g d'extrait sec



MG = quantité de matière grasse totale présente dans le lait, sous forme d'émulsion de globule gras. Constituées à 95% d'acides gras (AG), ces matières grasses participent à la texture (rétention d'eau) et au goût du fromage (lipolyse, fixation des odeurs extérieures)
Taux butyreux (TB) = quantité de MG dans 1 kg de lait, compris entre 35 et 45 g/kg

Constituées de matières protéiques et non protéiques
Matières protéiques (MP) = quantité totale de matière protéique du lait.
Taux protéique (TP) = quantité de MG dans 1 kg de lait, compris entre 33 et 36 g/kg

Rapport TB/TP
Ce rapport est corrélé au niveau d'égouttage, auquel sont fortement liées la texture et les qualités organoleptiques du fromage. Un rapport TB/TP optimal se situe entre 1,12 et 1,20. Selon le type de fabrication pour des pâtes pressées cuites ou le reblochon, par exemple, il ne faudrait pas passer en dessous de 1,14 (FDCL, 2023)

acides aminés libres...
Azote non protéique

Urée (0,3-0,4 g/L)
- Des taux importants d'urée dans le lait pourraient causer des anomalies sur le fromage (défauts de lainure)
+ Intérêt comme indicateur alimentaire et environnemental (suivi de la quantité d'azote excrétée)
+ ... mais des teneurs très faibles d'azote non protéique (constitué à 50% d'urée) induiraient un meilleur rendement fromager.

Protéines
80%
Caséines
+ Propriétés émulsifiantes, moussantes, visqueuses, d'hydratation et de gélification :
- favorisent une **coagulation du lait (caillage) rapide** et un **gel solide**
- permettent la fixation des globules gras au caillé, notamment pendant son découpage et les premières étapes du brassage, favorisant un **bon rendement fromager**

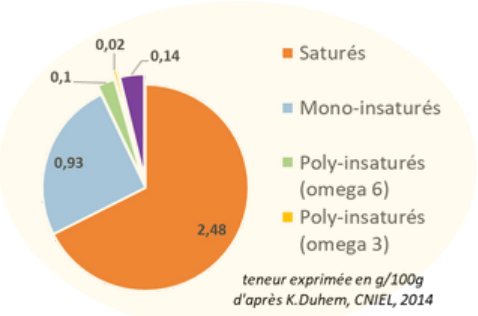
Calcium (Ca)
+ L'élément Ca est présent dans la solution du lait sous forme soluble (35%) et liée (65%) aux protéines du lait (ponts calciques), participant ainsi à la formation du caillé et à sa consistance, aux côtés des caséines. Le rôle d'autres éléments comme le sodium et le phosphore ne sont pas exclus, mais leurs effets n'ont pas encore été éclaircis.

Micro-organismes
+ flore utile
+ butyriques
- Défauts de goûts
La capacité du lait à coaguler est liée à l'activité des bactéries lactiques. L'acide lactique produit par ces dernières permet l'acidification du lait et est partiellement responsable de la formation du caillé. Les propriétés d'égouttage de celui-ci seront fonction de la consistance de gel et du temps de coagulation.
- Responsables du gonflement et de l'éclatement des fromages à pâte pressée cuite

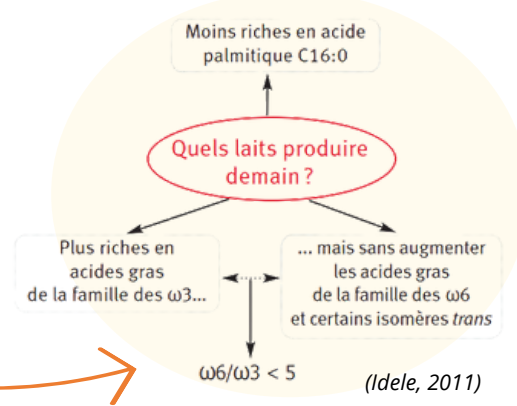
DE NOUVEAUX CRITÈRES DE SÉLECTION POUR LA QUALITÉ DU LAIT ?

Les acides gras (AG)

Les AG du lait représentent 95% de ses matières grasses. Le profil d'AG du lait de vache est relativement éloigné des préconisations pour la santé humaine : 75% de ceux-ci sont des AG saturés et insaturés trans, qui sont associés à des risques cardio-vasculaires. Des pistes d'amélioration du profil d'AG du lait sont cependant à l'étude.



Profil d'AG moyen du lait de vache (CNIEL, 2014)



Leviers ?

- Alimentaire (La composition du lait de vache, Idele 2011, ed. l'Essentiel)
- Génétique (programme PhénoFinlait, 2010-2014)

Les variants des caséines

Essentielles pour le caillage et le rendement fromager, les caséines sont classées en 3 familles : α S1-caséines, β -caséines et κ -caséines. Chacune de ces catégories présente des variants.

α S1-caséines 45% des caséines totales

Non favorables à la fermeté du gel mais ramollissent la pâte lors de l'affinage.

3 variants :

- **Variant B** : le plus fréquent pour toutes les races laitières
- **Variant C** : Effet positif sur TP et TB. *Fréquent notamment en races Abondance, Tarine et Normande.*
- **Variant D**

κ -caséines 15% des caséines totales

Favorables à la coagulation et à la fermeté du gel.

4 variants :

- **Variant E** : *peu fréquent, présent uniquement en race Prim'Holstein.*
- **Variant A** : *le plus fréquent en races Simmental, Vosgienne, Abondance et Prim'Holstein.*
- **Variant B** : **effet positif sur les TP et TB, et amélioration de la fromageabilité : rendements de + 4 à 8% pour les individus homozygotes.** *Le plus fréquent pour les races Normande et Tarine.*
- **Variant I** : *lié à des défauts de coagulation. Rare, présent à moins de 20% de fréquence en race Salers.*

Nombreux intérêts sans contrepartie

Bien qu'elles soient indexées et utilisées chez certaines races caprines, l'utilisation des caséines comme critères de sélection est encore peu mobilisée chez les bovins, y compris en races Tarine et Abondance. En effet, les caséines semblent être un critère délicat à sélectionner, car il y a peu de connaissances sur les interactions entre caséines et leurs bénéfices certains sur la qualité du lait. Est-il plus intéressant de se focaliser sur un seul variant ou de travailler sur la conservation d'un équilibre diversifié ?

DE NOUVEAUX OUTILS POUR SÉLECTIONNER LA QUALITÉ FROMAGÈRE DU LAIT ?

• Spectrophotométrie MIR

Outil très prometteur d'identification et de quantification de la composition chimique d'un liquide ou d'un solide, la spectrophotométrie MIR permet de **mesurer la composition fine du lait, directement liée à sa fromageabilité**, par des mesures d'absorbance d'ondes émises dans le moyen infrarouge (MIR), produisant un signal différent selon les substances présentes.

Des **équations permettant d'estimer la fromageabilité d'un lait à partir de ses propriétés spectrophotométriques ont pu être établies**, et ont été appliquées sur des spectres MIR issus de laits de vaches de race Montbéliarde.

• Détection des portions de génome codant pour des caractères quantitatifs : QTL

Dans le cadre du programme PhénoFinLait (2010-2014), un travail de détection des QTL (Quantitative Trait Loci) affectant la composition fine du lait a été lancé dans les 3 principales races bovines laitières (Prim'Holstein, Normande et Montbéliarde). La détection de ces portions de génome repose sur la recherche d'associations entre le niveau de performance des descendants d'un reproducteur donné, et la transmission d'un allèle marqué (*sélection assistée par marqueurs*)

β -caséines 30% des caséines totales

Favorables au gel.

6 variants :

- **Variant A1** : améliore significativement le rendement, mais rend le lait moins digestible. *Dominant en race Tarine.*
- **Variant A2** : effet négatif sur les taux mais sans problèmes de digestibilité. *80% de fréquence en race Abondance.*
- **Variant A3** : rare.
- **Variant C** : à fréquence élevée, diminue l'aptitude à la coagulation, le rendement et le ratio gras/sec. Goût particulier, toutefois recherché à fréquence maîtrisée pour la typicité des produits (Beaufort). *Rare chez les autres races mais 12.7% de fréquence en race Tarine (Idele, 2021).*
- **Variants B et I** : améliorent la fromageabilité et effet positif sur les taux. *Quasi inexistantes en races Abondance et Tarine.*

• Résultats satisfaisants **pour les laits individuels et selon certains paramètres**

• Héritabilité élevée (37% à 48%) des paramètres de l'équation : une **amélioration de la fromageabilité des laits par sélection génétique semble tout à fait envisageable.**

• **Réalisation en temps réel**, à haut débit, et à **moindre coût.**

• **Larges possibilités d'application** (évaluation des caséines et de leur variants, des acides gras, de la lactoferrine...).

• Équations **peu satisfaisantes sur laits de troupeaux et laits de cuves**

• Équations actuelles non utilisables pour les races **Abondance et Tarine** (faibles effectifs), mais programme en cours pour les adapter.

Programme FROMMIR, 2014-2018

Plusieurs études ont mis en évidence des effets significatifs des QTL suivis : *"l'écart entre les deux groupes de filles ayant reçu l'un ou l'autre allèle paternel d'un QTL donné est de l'ordre de 300 à 500 kg de lait et d'1,5 à 2 g de taux butyreux"* (Boichard et al., 1999).

L'utilisation de ces QTL comme outils de pilotage de la sélection pourrait ainsi permettre d'identifier des gènes d'intérêts pour l'amélioration de l'aptitude à la transformation des laits.

CONCLUSION

Dans un contexte où la transformation fromagère sous signe de qualité est majoritaire, comme celui des Savoie, la qualité de lait constitue un élément pivot de la filière. La notion de qualité du lait se décline sous différents aspects (sanitaire, technologique, sensoriel, nutritionnel) : tous sont importants, même si l'ordre de priorité dans lequel ils sont cités peuvent différer selon le point de vue de la personne qui en parle (filière de consommation, filière fromagère, consommateurs).

Pour les acteurs de la filière fromagère, c'est actuellement la qualité technologique du lait influencée par sa composition physico-chimique, qui importe le plus, avec les critères principaux du TB et TP, et plus secondairement les les taux de caséines et la taille des micelles, les variants des caséines, et enfin le calcium et l'urée.

D'autres critères voient le jour en réponse aux attentes sociétales, notamment la qualité nutritionnelle. Pour estimer ces critères, des outils simples, utilisables en routine et peu coûteux sont progressivement mis en place, en utilisant la spectrométrie MIR (PhénoFinlait, Agramir, From'mir...). Enfin, pour la sélection, de nouvelles méthodes comme la détection de QTL peuvent être développées.

Ce document ne détaille pas les dimensions sanitaires et microbiologiques de la qualité du lait. Ces paramètres sont toutefois très importants, puisque de nombreux fromages fabriqués en Savoie sont à base de lait cru. Or, celui-ci et ses produits dérivés sont sensibles à la contamination par des bactéries pathogènes, lors d'infections mammaires chez l'animal ou d'incidents à la traite - et ce malgré les précautions prises par les professionnels. Ces bactéries peuvent être dangereuses pour la santé humaine et peuvent faire l'objet de rappel ou retrait du lait et ses éventuels produits dérivés.

Des projets comme From'Mir ouvrent de nouvelles pistes de pilotage de la fromageabilité du lait, en impliquant des facteurs génétiques dans le pilotage de ce paramètre. Mais la génétique n'est pas le seul levier de pilotage : la qualité des fourrages, le niveau d'ingestion, la prévention des troubles métaboliques sont également des leviers dont l'impact est important sur la qualité fromagère du lait.

Concernant les races Tarine et Abondance, le travail réalisé pour rédiger cette synthèse a surtout permis de constater une **absence de bibliographie scientifique récente permettant d'étayer l'hypothèse d'un intérêt particulier de ces races**, dans le cadre de la production de lait destiné à la fabrication de fromages sous signe de qualité dans les territoires des Savoie. Les derniers travaux à disposition traitant spécifiquement de l'impact de la race de ces vaches savoyardes sur les qualités fromagères du lait, ou les qualités du fromage une fois affiné, datent en effet des années 90 à 2000. Les schémas de sélection actuels favorisent surtout le volume, les taux, les critères dits fonctionnels (reproduction, fertilité, santé) et morphologiques (aplombs, mamelle, corps).

Si la question qui a motivé la production de ce document est bien "Le lait des races locales des Alpes du Nord Tarine et Abondance présente-t-il des qualités particulière vis-à-vis de la transformation fromagère, et si oui, lesquelles ?", alors une réactualisation des travaux menés dans les années 90 pourrait s'avérer nécessaire. Toutefois, de nombreuses données sont collectées et sont disponibles auprès des OSUE, en attente d'une demande des filières fromagères pour les mobiliser de façon opérationnelle.



BIBLIOGRAPHIE

ABOUTAYEB, 2018. Technologie de fabrication du fromage.
ANONYME, sd. Qualité du lait - Du lait aux fromages
ANONYME, 2016. Production des vaches laitières : soutenir le taux butyreux.
AOUAMEUR, 2018. La fromageabilité du lait
ARNOULD *et al.*, 2009. Genetic variability of milk fatty acids. AURIVA, 2022. Comité PRODUIT.
BARBANO *et al.*, 1987. Rapid method for determination of milk casein content by infrared analysis.
BARBEY *et al.*, 2014. Performances zootechniques et aptitude fromagère en 1ère lactation de vaches croisées Holstein x Normande sélectionnées pour le gène DGAT1.
BEUVIER *et al.*, 2005. Quelques bases sur la microbiologie du lait et du fromage.
BIANCHI *et al.*, sd. Caractérisation de l'aptitude à coagulation du lait des vaches Salers et identification d'un variant rare de la caséine kappa.
BOICHARD *et al.*, 2017. La sélection dans l'espèce bovine et ses perspectives.
BOICHARD *et al.*, 1999. Détection de gènes influençant les caractères d'importance économique en races bovines
BOTREAU *et al.*, 2018. Une méthode pour évaluer conjointement performance environnementale et qualité globale des produits
BLOCK, 1998. L'urée du lait
CAP TARENTOISE, 2023. Les objectifs de sélection.
CECCHINATO *et al.*, 2009. Genetic pared spectroscopy predictions as indicator traits in breeding programs for enhanced coagulation properties of milk.
CHAMBRES D'AGRICULTURE PACA, 2021. Transformation laitière
CHILLIARD *et al.*, 2006. Goat's alpha-s1 casein genotype influences its milk fatty acid composition and delta-9 desaturation ratios.
CNIEL, MAISON DU LAIT, 2022. Dico du lait, abécédaires et définitions de la filière laitière.
CORAM, sd. Race bovine Tarentaise : vache laitière de la vallée de la Tarentaise en Savoie.
COULON *et al.*, 2005. Facteurs de production et qualité sensorielles des fromages
COULON, 2008. Déterminant de la qualité des produits animaux.
DELACROIX-BUCHET *et al.*, 1994. Comparaison des variants A et C de la caséine Bêta des laits de vaches tarentaises en modèle fromager de type Beaufort.
EILYPS, 2023. Génotypage : analyser pour évaluer le potentiel génétique des bovins.
ENILBIO, 2014. Guide méthodologique : évaluation de la performance matière en transformation fromagère.
FABRIQUE TON FROMAGE, 2018. Les pratiques du fromager fermier n°3/52
FIDOCL, sd. Taux d'urée du lait.
FIDOCL, 2005. Maitrise des taux et fromageabilité.
FIDOCL, 2012. Présentation des résultats du projet AGRAMIR.
FILIERE LAITIERE FRANÇAISE, 2023. La qualité : au cœur de la filière laitière.
FRANCE AGRICOLE, 2016. La composition fine du lait joue sur sa fromageabilité.
FRANCE GENETIQUE ELEVAGE, 2011. Les objectifs de sélection / Les index des races bovines laitières / Les index des races caprines laitières / Sélection des races bovines laitières
FRANCE GÉNÉTIQUE ELEVAGE, 2015. Races bovines laitières - Abondance.
GAUCHERON F, 2013. Les impacts de la qualité du lait sur ses aptitudes à sa transformation
GAUDILLIERE *et al.*, 2018. La fromageabilité du lait en race Montbéliarde dans les élevages AOP et IGP de Franche-Comté
GRENON C, 2004. Lait de qualité.
HURTAUD *et al.*, 2001. La qualité des laits et ses conséquences sur la qualité des produits de transformation.

IDELE, 2011. La composition en acides gras du lait de vache.
LAITHIER, sd. Mesurer la fromageabilité des laits en routine pour mieux la maîtriser.
LAITHIER *et al.*, 2020. FROM'MIR : Développer des outils de prédiction et de conseil pour maîtriser la fromageabilité des laits destinés à la fabrication des fromages traditionnels franc-comtois.
LARROQUE *et al.*, 2007. Détection de QTL influençant l'aptitude à la transformation fromagère des laits dans un croisement Holstein Normande.
MARTIN *et al.*, 2003. Conditions de production du lait et qualités sensorielles des fromages.
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION, 2023. Observatoire des Territoires de la Savoie.
MIUS, 2020. Kappa-caséines et Bêta-caséines
MONTBÉLIARDE ASSOCIATION, sd. La sélection Montbéliarde
PACCARD, sd. Intérêt des dosages d'urée dans le lait pour l'élevage et la transformation.
PETROVIĆ, 2022. Mesurer le calcium et le chlorure dans le lait.
PINNARD *et al.*, 2014. Enquêtes auprès des acteurs de la filière bovine laitière : Quelle place pour les critères de qualité du lait dans les objectifs de sélection ?
REY-CADILHAC *et al.*, 2021. Co-construction of a method for evaluating the intrinsic quality of bovine milk in relation to its fate.
RONEZ, 2012. Le lait et sa coagulation.
ROUSSEL *et al.*, 2008. Le potentiel inhibiteur du lait et de ses résidus.
SANCHEZ *et al.*, 2019. Analyse génétique de la « fromageabilité » du lait de vache prédite par spectrométrie dans le moyen infrarouge en race Montbéliarde.
WEIRD, Mel, 2016. Étude des caséines bovines.

LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE EN LIEN AVEC LES QUALITÉS FROMAGÈRES DU LAIT SUR LES SAVOIE, TRAVAUX GIS ALPES DU NORD MENÉS ENTRE 1991 ET 1997.

GROSCLAUDE F., 1991. Structure, déterminisme génétique et polymorphisme des 6 lactoprotéines principales des bovins, des caprins et des ovins. Qualité des laits à la production et aptitude fromagère. Rennes 23-24 janvier 1991.
HODEN A., COULON J.B., 1991. Maîtrise de la composition chimique du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques. INRA Prod. Anim., 4, 361-367.
MACHEBOEUF D., COULON J.B., D'HOOR P., 1993. Aptitude à la coagulation du lait de vache. Influence de la race, des variants génétiques des lactoprotéines du lait, de l'alimentation et du numéro de lactation. INRA Prod. Anim., 6 (5), 333-344.
MARIE C., DELACROIX-BUCHER A., 1994. Comparaison des variants A et C de la caséine bêta des laits de vache Tarentaises en modèle fromager de type beaufort. II. Protéolyse et qualité des fromages. Lait, 74, 443-459.
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 troupeau. Lait, 75, 61-80.
MARTIN B., COULON J.B., 1995. Facteurs de production du lait et caractéristiques des fromages. II. Influences des caractéristiques des laits et des pratiques fromagères sur les caractéristiques du Reblochon de Savoie fermier. Lait, 75, 133-149.
MARTIN B., COULON J.B., PERREARD E., 1997. Influence de la composition chimique du lait et de son aptitude à la coagulation sur la composition chimique et les caractéristiques sensorielles du Reblochon de Savoie. J. Dairy Res., 64, 157-152 (en anglais)
MARTIN B., COULON J.B., CHAMBA J.F., BUGUAUD C., 1997. Effet de la teneur du lait en urée sur les caractéristiques du Reblochon affiné. J. Dairy Res., 77, 505-514 (en anglais)