Evaluation et maîtrise de la texture des fromages frais de chèvre à coagulation lactique

LAITHIER C. (1), CHATELIN Y.M. (2)., DOUTART E. (2), BARRUCAND P. (3), DUCHESNE C. (4), MORGE S. (5), BARRAL J. (6), CUVILLIER D. (7), MINARD L. (7), LEROUX V. (8)
(1) Institut de l'élevage, Agrapole, 23, rue Jean Baldassini, 69364 – LYON CEDEX 07
(2) Institut de l'élevage, 149, rue de Bercy, 75595 – PARIS CEDEX 12
(3) Actilait centre de Surgères, BP 49, 17700 – SURGERES
(4) ENILIA de Surgères, BP 49, 17700 – SURGERES
(5) PEP caprin Rhône-Alpes, Le Pradel, 07170 - MIRABEL
(6) Actilait centre de Carmejane, Le Château, 04510 – LE CHAFFAUT SAINT JURSON
(7) Centre fromager de Bourgogne, En Poncetys, 71960 - DAVAYE
(8) Centre technique fromager caprin de la région Centre, BP 10, 18230 - SAINT DOULCHARD

RESUME - La texture des fromages frais à coagulation lactique a été peu étudiée et les nombreux éléments acquis sur la technologie présure ne semblent pas transposables. Grâce à une vaste étude de terrain menée dans cinq régions caprines françaises, les objectifs étaient alors de mieux évaluer au niveau sensoriel et instrumental la texture des différents types de fromages de chèvre lactiques frais fermiers ou non au stade 24 heures après démoulage et d'identifier les facteurs d'influence associés. Le préalable a servi via deux cents pré-enquêtes à identifier soixante cinq sites représentatifs et à mettre en place des outils appropriés pour évaluer la texture. Les sites étudiés ont fait l'objet d'un suivi complet de fabrication avec prélèvements, analyses des fromages et laits associés. L'analyse des résultats montre que le texturomètre TAXT plus permet de donner des mesures discriminantes corrélées en partie à l'analyse sensorielle au niveau de la texture. Par ailleurs, une diversité de texture existe au niveau des fromages jeunes de type lactique. Les principaux facteurs d'influence ont pu être mis en évidence : on note en amont de la composition du fromage l'influence de la composition du lait, de la conduite de l'acidification, de la conduite de l'égouttage avec une importance variable selon les descripteurs. Il est cependant parfois difficile de dissocier l'effet des différents facteurs car ils sont liés entre eux sur le terrain.

Texture evaluation and control of goat fresh cheeses with lactic coagulation

LAITHIER C. (1),CHATELIN Y.M. (2)., DOUTART E. (2), BARRUCAND P. (3), DUCHESNE C. (4), MORGE S. (5), BARRAL J. (6), CUVILLIER D. (7), MINARD L. (7), LEROUX V. (8)
(1) Institut de l'Elevage, Agrapole, 23, rue Jean Baldassini, 69364 – LYON CEDEX 07

SUMMARY
The texture of fresh goat cheeses with lactic coagulation has been little studied and the different knowledge about rennet coagulated cheeses has not been transferred. By using enquiries from 5 French goat regions, the texture of different lactic goat cheeses produced representatively on farms or in factories, collected 24 hours after turning out cheese, were evaluated and in parallel influential factors were identified. We have previously identified 65 representative sites to be followed using the 200 enquiries and we developed the appropriate tools to measure texture . The sites studied were followed during one complete cheesemaking period with analyses of milk and cheese collected. The results show that the texture analyser TAXT plus is able to give accurate measures partially correlated with sensory perception of texture. Diversity of texture exists between young goat cheeses. The main influential factors are pointed out : milk composition before cheese making, acidification kinetics and cheese drainage have an influence but to different degrees as far as each sensory parameter is concerned. Nevertheless, it is sometimes difficult to dissociate the effects of factors because they are in relation to each other in real conditions.

INTRODUCTION

En technologie lactique caprine, un certain nombre d'études ont porté sur l'acidification (Masle *et al.*, 2001, Laithier *et al.*, 2004), étape essentielle de la fabrication de ces fromages. Très peu se sont intéressées au lien entre composition des laits, paramètres technologiques, acidification et qualité organoleptique des fromages. De plus, l'étape d'égouttage n'a pas été étudiée en tant que telle même si elle est très dépendante de l'acidification. L'acidification et l'égouttage ont une incidence sur la texture du fromage, qui est par ailleurs en liaison avec le goût des fromages. Les fromagers rencontrent des accidents par rapport à la texture : les pâtes peuvent être collantes, granuleuses. Cette problématique concerne à la fois la production fermière et industrielle caprine. Face à cela, les techniciens ont peu d'éléments pour réaliser leur appui technique. En effet, les principaux facteurs d'influence sont bien connus pour la transformation présure mais il semble que leurs effets ne soient pas directement transposables en technologie lactique (Aliste et Kindstedt, 2005 ; Lawrence *et al.,* 1987). Le champ de l'étude porte alors sur les fromages frais de type lactique, les facteurs à étudier étant déjà nombreux en amont de l'affinage. La connaissance et la hiérarchisation des facteurs d'influence devront permettre d'adapter la technologie à la variabilité de la matière première (composition biochimique, voire microbienne) afin de fournir des fromages de qualité souhaitée. La maîtrise des paramètres clés pourra également favoriser la diversification des gammes de produits. Après avoir mis au point des méthodes de mesure adaptées, les objectifs de la présente étude sont ainsi d'évaluer au niveau sensoriel et instrumental la texture des différents types de fromages de chèvre jeunes à coagulation lactique sur le terrain et d'identifier les facteurs d'influence associés.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. ADAPTATION DES METHODES INSTRUMENTALES

La texture peut être évaluée au moyen de techniques instrumentales (rhéologiques) ou sensorielles. Les méthodes rhéologiques dites imitatives permettent de couvrir la quasi totalité de la définition texturale d'un produit en reproduisant partiellement la mastication humaine et présentent l'avantage d'être très bien corrélées à l'analyse sensorielle tout en étant plus faciles à mettre en oeuvre. L'analyse TPA mise en œuvre sur l'appareil de mesure TAXT plus, la plus connue d'entre elles a été

adaptée aux fromages lactiques jeunes au stade fin de ressuyage, à trois niveaux : la forme de l'échantillon, la vitesse et le pourcentage de compression. Le protocole analytique retenu pour la suite de l'étude a été sélectionné en raison de son pouvoir discriminant et de la bonne répétabilité obtenus. Le mode d'échantillonnage a été ensuite optimisé pour la méthode TPA, les prélèvements au centre du fromage permettant de s'affranchir de l'effet du lieu de prélèvement mis en évidence.

1.2. SELECTION DES SITES ETUDIES

Environ deux cents pré-enquêtes déterminées par tirage au sort ont été réalisées. Elles étaient réparties pour les exploitations fermières selon les régions PACA, Rhône-Alpes (ces deux régions étant un peu plus représentées), Centre, Bourgogne, Poitou-Charentes alors que les sites industriels et artisanaux pouvaient être localisés en dehors de ces régions précitées. Excepté les sites industriels ayant un type technologique un peu à part, six catégories de schémas technologiques lactiques ont pu être identifiées.

1.3. SUIVI DES SITES ETUDIES

Compte tenu de cette importante diversité, soixante cinq sites répartis dans les six catégories de schémas technologiques et comprenant également quelques entreprises industrielles ont été suivis de façon approfondie. Dans chaque site étudié, le suivi portait sur une fabrication de fromages. Lors de cette fabrication, tous les paramètres technologiques ont été enregistrés de façon précise (doses, durées, températures) Une puce a permis de suivre l'évolution de la température de préparation du lait. Des enregistrements automatiques de pH et de température ont été effectués toutes les trente minutes pendant le caillage. L'évolution du poids des fromages a été suivie lors de l'égouttage de même que l'évolution de leur température grâce à une puce introduite dans les fromages au moment du moulage. Les pratiques en fromagerie et les caractéristiques du système d'élevage dans les exploitations étudiées ont été renseignées. Les analyses physico-chimiques suivantes ont été effectuées sur les laits destinés à être transformés, prélevés lors de la visite : taux butyreux (TB), taux protéique (TP), extrait sec (ES), Calcium (Ca) soluble et colloïdal, cellules, phosphore, pH, fractions azotées (méthode Kjeldhal), profil de caséines. Des dénombrements de flore totale et de flore acidifiante ont également été réalisés sur ces laits. Des fromages de la fabrication suivie (le nombre prélevé dépendant du format du fromage) ont été récupérés au stade 24 h après démoulage. Les analyses suivantes ont été réalisées sur ceux-ci : ES, matière grasse (MG), matière azotée totale (MAT), chlorure, phosphore, Ca total. Par ailleurs, ils ont fait l'objet d'une analyse sensorielle (profil descriptif de texture) par un jury expert préalablement entraîné spécifiquement sur les fromages frais de chèvres.

Dix descripteurs ont servi à caractériser la texture des fromages : fermeté en bouche et à la coupe, collant au couteau et en bouche, friabilité, fondant, sec, granuleux, gras, astringent. Une mesure instrumentale de texture (TPA) selon le protocole analytique mis au point a été réalisée permettant d'accéder aux grandeurs suivantes : dureté, cohésion, adhésivité, élasticité.

1.4. TRAITEMENT DES DONNEES

Les courbes de pH obtenues durant le caillage ont été exploitées grâce au modèle de Weibull (Laithier *et al.*, 2004), permettant de faire ressortir trois paramètres caractéristiques A (delta pH maximum), C (temps écoulé lorsque delta pH = A / 2), M (caractérisant le temps de latence) sachant que d'autres paramètres d'intérêt technologique ont ensuite été extraits des courbes modélisées. Les treize juges ont été évalués en réalisant une ACP pour chaque descripteur avec les notes individuelles de chacun des juges pour tous les produits dégustés. L'étude des corrélations avec les grandeurs instrumentales a été réalisée par ACP. Une typologie (ACP non normée sur les notes moyennes des descripteurs par produit suivie d'une classification ascendante hiérarchique) a été réalisée dans le but de définir plusieurs profils sensoriels de texture des fromages étudiés. Les liens entre profils sensoriels et l'ensemble des paramètres, analyses, pratiques pris individuellement ont été étudiés en mettant en œuvre la procédure Démod (SPAD), en retenant un seuil de 10 %.

Par ailleurs, sur les quatre descripteurs fermeté à la coupe, granuleux, fondant, friable, relativement indépendants entre eux, les relations avec les données recueillies ont été étudiées par la procédure Démod. Pour compléter cette analyse, la méthode de segmentation sur SPAD a été mise en œuvre.

2. RESULTATS

2.1. EVALUATION DU JURY

Les juges ont des avis globalement convergents pour l'ensemble des descripteurs, à l'exception du descripteur « collant au couteau » qui n'a pu être retenu dans l'analyse des données et dans une moindre mesure pour les descripteurs « collant», « gras » et « astringent ». Ces deux derniers présentent surtout des intensités faibles et ont été néanmoins conservés dans l'analyse en leur donnant moins de poids. Le descripteur collant en bouche (nommé ci-après collant) reste exploitable mais il n'a pas été étudié individuellement.

2.2. LIENS ENTRE DESCRIPTEURS ET MESURES INSTRUMENTALES, POUVOIR DISCRIMINANT

L'analyse des résultats montre que les mesures instrumentales par le biais de la grandeur « dureté » permettraient d'accéder à la fermeté en bouche (coefficient de corrélation de 0,63) et à la coupe (descripteurs eux-mêmes corrélés, coefficient de corrélation de 0,92). Cette grandeur permettrait également de donner des informations sur le « sec » du produit évalué au niveau sensoriel comme ce descripteur est corrélé positivement avec ceux précités.

A noter que les descripteurs sec et collant sont corrélés (0,68). La grandeur « dureté » est corrélée de façon moindre au fondant (-0,51). La grandeur « cohésion » permettrait d'évaluer indirectement la friabilité du produit qui lui est opposée (-0,67). La grandeur « élasticité » est corrélée dans une faible mesure négativement à la friabilité (-0,31). Par ailleurs, la grandeur « adhésivité » est inversement liée au granuleux de façon peu significative (-0,43). La méthode de mesure instrumentale TPA est beaucoup plus discriminante que l'analyse sensorielle réalisée par un jury expert (coefficient de variation maximal de 15,6 pour la grandeur instrumentale « adhésivité » alors que le coefficient de variation minimal pour les descripteurs est de 34,1 pour la fermeté à la coupe).

2.3. PROFILS SENSORIELS

Huit types de profils sensoriels ont pu être dégagés à partir de la typologie réalisée (tableau 1). Deux profils sensoriels de fromages (1, 6) se distinguent par leur caractère granuleux, le profil 6 ayant ce caractère de façon plus marquée, conduisant à juger les fromages de ce profil « accidentés ». Cinq profils (2, 3, 5, 7, 8) se distinguent en particulier par le caractère plus ou moins ferme de leurs fromages, avec des différences également selon les

différents descripteurs. Le profil 4 se caractérise par ailleurs par son caractère fondant, sans que la fermeté ne se différencie de la moyenne des fromages étudiés.

2.4. FACTEURS D'INFLUENCE DE LA TEXTURE

2.4.1. Le caractère granuleux des fromages

Tableau 2 : paramètres d'acidification pour les profils 1, 6 et la moyenne générale (* : p<0,01 ; ** : p<0,05, valeur test<2 ; *** : p<0,05, valeur test >=2, démod, SPAD)

Paramètre	Moyenne (n=65)	Profil 1 (n=8)	Profil 6 (n=3)
A (unités pH)	2,08	**2,31****	2,09
M (unité pH/ heure)	2,56	**1,67***	2,13
C (unités pH)	9,54	8,91	13,66
Vmax (pH/heure)	0,215	0,196	**0,114*****
PH 5,5-4,8 (heures)	4,53	4,92	**8,2*****
PH fin caillage	4,45	**4,17*****	**4,59****
PH emprésurage	6,50	**6,42****	6,58
PH final+0,1-pH final (heures)	12,35	10,4	9,15

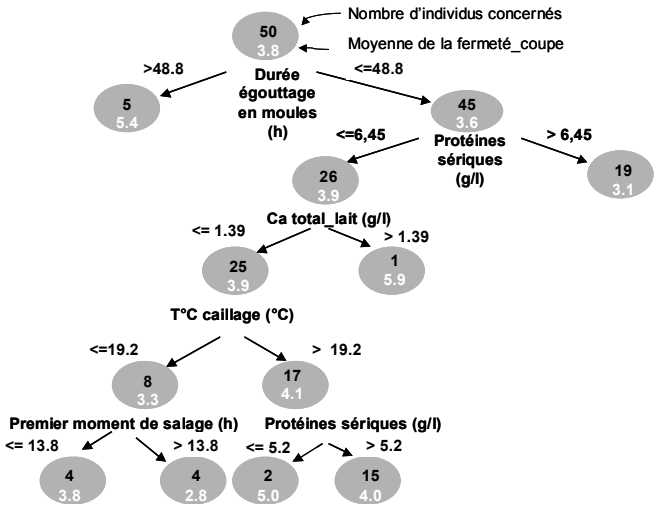
Les fromages jugés modérément granuleux (profil 1) sont caractérisés par une acidification démarrant un peu plus rapidement, ce qui pourrait s'expliquer par l'absence de refroidissement du lait dans la moitié des cas, une dose en moyenne plus élevée de ferments avec une température de caillage plus élevée que la moyenne. Les pH au moulage sont plus faibles qu'en moyenne. Ces fromages au poids plus faibles que la moyenne se caractérisent par ailleurs par un égouttage moins important (perte de poids entre démoulage et moulage+2 heures de 28,7 % contre 37,5 % en moyenne). Par ailleurs, les fromages sont issus de laits contenant moins de caséines α s1 et plus de caséines α s2.

Lorsque les fromages sont très granuleux (profil 6), jugés accidentés, les laits présentent des taux protéiques plus élevés (36 contre 32 en moyenne) et de caséines plus élevés (28,8 contre 25,5 en moyenne) augmentant certainement leur pouvoir tampon, ce qui pourrait expliquer l'acidification lente (vitesse maximale d'acidification (vmax) plus faible, temps entre pH 5,5 et pH 4,8 plus élevé) et peu importante observée sans qu'il y ait eu visiblement d'adaptation technologique (températures de caillage entre 19 et 20°C). La méthode de segmentation met en évidence le temps entre pH 5,5 et 4,8 comme étant le plus discriminant. S'il est supérieur à 6,6 heures, les fromages seront en moyenne plus granuleux (intensité : 1,8) alors que s'il est inférieur à 6,6 heures, les fromages sont en moyenne moins granuleux (intensité : 0,6).

2.4.2. La fermeté à la coupe des fromages

Le profil de fromages les plus fermes (profil 8) présente des fromages plus secs, plus riches en MAT (137 contre 127 g/kg en moyenne), MG (205,6 contre 173 g/kg en moyenne). Ces fromages ont subi un long égouttage en moules (51 heures) avec un salage tardif et cela concerne de gros formats de fromages. Ils sont légèrement plus déminéralisés. Les températures moyennes de caillage sont plus élevées, la durée de préparation du lait est plus longue. Les laits correspondants sont plus riches en matière grasse, moins riches en protéines sériques, calcium soluble avec des profils de caséines particuliers, notamment plus d' α s1A et moins d' α s1E que la moyenne. Les facteurs impliqués au niveau des 5 profils sensoriels concernés et de la caractérisation du descripteur sont nombreux.

Figure 1 : résultat de la segmentation sur la fermeté à la coupe



La méthode de segmentation permet de mettre en évidence les facteurs les plus discriminants : l'égouttage, en particulier sa durée, très liée à l'humidité du fromage dégraissé des fromages analysés conditionne en premier lieu la fermeté des fromages. Interviennent ensuite deux principaux facteurs : la teneur en protéines sériques et la température de caillage.

2.4.3. Le fondant des fromages

Ce sont les fromages les plus riches en calcium, avec un pH élevé au démoulage et au prélèvement, les plus humides (moins d'égouttage en moules, fromages moins salés) et moins riches (MAT, MG) qui apparaissent les plus fondants. Des différences apparaissent au niveau des caséines selon les profils. Il est difficile de hiérarchiser par segmentation l'effet des différents facteurs.

2.4.4 Le caractère friable des fromages

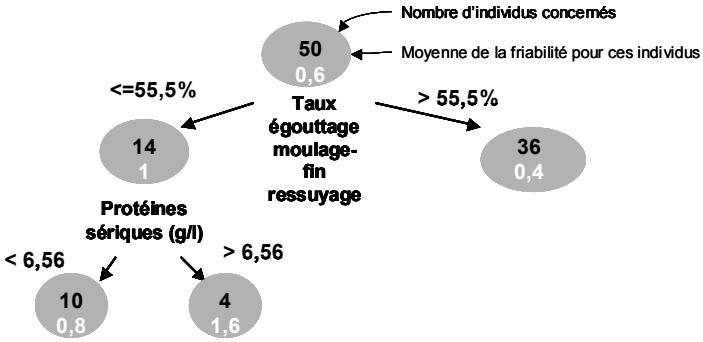
Le premier profil de fromages plus friables (profil 5) se caractérise par un égouttage moins important au ressuyage et des retournements tardifs. Les laits associés sont plus riches en matière grasse et en protéines sériques.

Tableau 1 : moyenne des descripteurs au sein de chaque profil (**: valeurs test >=2, p<0,05 ; * : valeur test <2, p<0,05, Démod, SPAD)

Descripteurs	Moyenne générale (n=65)	Profil 1 (n=8)	Profil 2 (n=7)	Profil 3 (n=10)	Profil 4 (n=12)	Profil 5 (n=4)	Profil 6 (n=3)	Profil 7 (n=11)	Profil 8 (n=10)
Astringent	**0,65**	0,82	0,79	0,61	**0,50***	**1,15****	0,73	**0,48***	0,58
Collant	**3,01**	3,27	**3,60***	3,16	2,82	2,82	**2,06****	**3,40****	**4,06****
Ferm-bouche	**2,76**	2,83	3,16	**2,24****	2,88	**1,73****	2,18	**1,88****	**4,32****
Ferm-coupe	**3,70**	3,58	**4,47****	**3,20***	3,94	**2,67****	3,08	**2,55****	**5,34****
Fondant	**3,04**	2,58	**2,35****	3,34	**3,82****	**4,12****	2,76	**3,55****	**1,77****
Friable	**0,67**	0,60	0,60	**1,09****	**0,45***	**1,75****	0,36	**0,37****	0,59
Granuleux	**1,07**	**1,73****	0,85	0,74	**0,65****	**1,79****	**2,79****	1,17	**0,64****
Gras	**1,52**	1,38	1,53	1,52	**1,72****	**1,27***	**1,23***	1,40	**1,70****
Sec	**3,42**	3,56	3,91	3,17	3,22	**2,41****	**2,56***	**2,67****	**4,96****

Les fromages de l'autre profil des fromages plus friables (profil 3) présentent un schéma technologique particulier (plus souvent absence de préparation du lait, longues durées de caillage, pratique du pré-égouttage le plus souvent, longues durées d'égouttage) et viennent à 60 % de la région Centre. Les laits correspondants présentent moins de caséines β que la moyenne. La segmentation semble montrer que le taux d'égouttage après mise en moules et la composition du lait (teneur en protéines sériques) sont les facteurs les plus discriminants (figure 2). Cependant, les facteurs restent difficiles à dissocier car les conduites d'acidification et d'égouttage sont liées entre elles sur le terrain.

Figure 2 : résultat de la segmentation pour la friabilité



3. DISCUSSION

L'analyse du profil de texture permet d'accéder à des grandeurs discriminantes corrélées à l'analyse sensorielle (Everard *et al.,* 2006 ; Brown *et al.,* 2003). Il faut cependant veiller à ce que les conditions de réalisation du test soient proches de l'analyse sensorielle (Foegeding et Drake, 2007). L'hétérogénéité entre les fromages analysés par les juges pourrait expliquer en partie le moindre pouvoir discriminant de l'analyse sensorielle observé ici. Certains descripteurs comme le granuleux n'ont pu être reliés à des grandeurs instrumentales, de même que dans l'étude de Everard *et al.*, 2006. Les méthodes instrumentales sont ainsi intéressantes pour remplacer l'analyse sensorielle dans certaines conditions à cause de leur rapidité et moindre coût et de leurs résultats qui sont reproductibles, ce qui n'a pas été mesuré ici (Casiraghi *et al.*, 1989). La conduite de l'acidification semble être le premier facteur relié à l'apparition du caractère granuleux. Concernant les fromages modérément granuleux, le pH bas au moulage couplé à des cinétiques assez brutales pourrait être responsables du caractère granuleux en technologie lactique sans que l'égouttage n'ait permis de corriger le défaut (Mietton *et al.*, 2004). Par ailleurs, le pourcentage de caséines α s1 est moins élevé pour ce profil et inversement lié au pourcentage de caséines β, ce qui pourrait expliquer également le granuleux (Mietton *et al.,* 2004, Tziboula *et al.*, 1999). En effet, les différentes caséines se distinguent selon leur degré de phosphorylation et donc par leur capacité de liaison aux minéraux, élément fondamental de constitution de la structure et de la texture des fromages (Gaucheron, 2005). Les fromages très granuleux présentent quant à eux une cinétique d'acidification très lente que l'on peut relier à un pouvoir tampon élevé des laits (Masle *et al.*, 2001, Mietton *et al.*, 2004). Il résulte de ces courbes lentes sans qu'il y ait eu d'adaptation technologique un pH élevé au moulage, que Mietton *et al.*, (2004) mettent aussi en cause par rapport au granuleux. Les fromages se distinguant selon la fermeté se caractérisent toujours par une composition physico-chimique particulière comme le montrent Lucey *et al.*, (2003) et comme premier facteur explicatif par la conduite de l'égouttage. La teneur élevée en protéines sériques est reliée à des fromages moins fermes, leurs interactions avec les caséines étant modifiées (Lucey *et al.*, 2003). La température de caillage plus élevée pourrait jouer en faveur de l'organisation du gel (Castillo *et al.*, 2006). Le lait enrichi en calcium permettrait de maintenir en partie la structure micellaire assurant un meilleur égouttage (Gastaldi *et al.*, 1994). Des travaux ont montré par ailleurs que les gels par coagulation présure issus de laits de chèvres homozygotes en A pour la caséine α s1 étaient plus fermes que ceux issus de laits de chèvres homozygotes en F ou E (Grosclaude *et al.*, 1994), ce qui a été mis en évidence également sur des fromages lactiques en Pélardon (Vassal *et al.,* 1994). Le degré de déminéralisation, le pH, l'humidité et la richesse en composition des fromages sont en lien avec le caractère fondant des fromages et la texture en général (Lucey *et al.*, 2003). Le caractère friable observé n'est pas forcément un défaut à l'affinage, les fromages pouvant présenter au contraire une texture très fine (Mietton *et al.*, 2004) mais d'après cet auteur, le caractère friable serait plutôt dû à un excès d'acidité au moulage qu'à la gestion de l'égouttage, ce qui n'a pas été observé ici.

CONCLUSION

L'analyse des résultats montre que le texturomètre TAXT plus permet de donner des mesures discriminantes corrélées en partie à l'analyse sensorielle au niveau de la texture. Par ailleurs, une diversité de texture existe au niveau des fromages jeunes de type lactique. Les principaux facteurs d'influence ont pu être mis en évidence. On note en amont de la composition du fromage l'influence de la composition du lait, de la conduite de l'acidification, de la conduite de l'égouttage. Il est cependant parfois difficile de dissocier l'effet des différents facteurs car ils sont liés entre eux. Il serait ainsi intéressant de mieux les hiérarchiser, de connaître l'interaction entre eux en réalisant des expérimentations en conditions contrôlées tout en ayant une meilleure compréhension des mécanismes associés.

Aliste A., Kindstedt P.S., 2005. *Aus. J. Dairy T., 60, 225-230.*

Brown J.A., Foegeding E.A., Daubert C.R., Drake M.A., Grumpertz M., 2003. *J Dairy Sci., 86, 3054-3067.*

Casiraghi E., Lucisano M., Pompei C., 1989. *J. Food Sci., 1, 53-63.*

Castillo M., Lucey J.A., Payne F.A., 2006. *Int. Dairy J., 16, 131-146.*

Everard C.D., O'Callaghan D.J., Howard T.V., O'Donnell C.P., Sheehan E.M., Delahunty C.M., 2006. *J. of Texture Studies., 37, 361-382.*

Foegeding E.A., Drake M.A., 2007. *J. Dairy Sci., 90, 1611-1624.*

Gastaldi E., Pellegrini O., Lagaude A., Tarodo de la Fuente B., 1994. *J. Food Sci., 59 (2), 312-320.*

Gaucheron F., 2005. Reprod. Nutr. Dev, 45, 473-483.

Grosclaude F., Ricordeau G., Martin P., Remeuf F., Vassal L., Bouillon J., 1994. INRA Prod. Anim., 7, 3-19.

Laithier C., Chatelin Y.M., David V., Tormo H., Lefrileux Y, Gaüzère Y., 2004. 11 èmes 3R, 95-98.

Lawrence R.C., Creamer L.K., Gilles J., 1987. *J. Dairy Sci., 70, 1748-1760.*

Lucey J.A., Johnson M.E, Horne D.S., 2003. *J. Dairy Sci., 86 (9), 2225-2243.*

Masle I., Morgan F., 2001. Lait, 81, 561-569.

Mietton B., Gaucheron F., Salaün Michel F., 2004. In : Minéraux et produits laitiers. Editions Tec&Doc, 471-559.

Tziboula A., Horne D.S., 1999. *Int. Dairy J., 9, 173-178.*

Vassal L., Delacroix-Buchet A., Bouillon J., 1994. Lait, 74, 89-103.