

Affinage de fromages allégés de type Cheddar fabriqués à partir de laits enrichis en phospholipides

Sophie TURCOT^a, Daniel ST-GELAIS^{a*}, Sylvie L. TURGEON^b

^a Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de Recherche et de Développement sur les Aliments, 3600 bld Casavant Ouest, Saint-Hyacinthe, Québec, Canada J2S 8E3

^b Centre de Recherche en Sciences et Technologie du Lait, Pavillon Paul-Comtois, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1K 7P4

(Reçu le 8 janvier 2001 ; accepté le 26 avril 2001)

Abstract – Ripening of low fat Cheddar cheeses made from milks enriched with phospholipids.

Low fat Cheddar cheeses obtained from milks rich in buttermilk phospholipids (PPL) were analysed during 12 weeks of ripening. The evolution of proteolysis, texture and bacterial flora, and the sensory properties were determined. The texture profile was affected by the presence of PPL. Low fat cheeses rich in PPL were softer and their microstructure was granular. The evolution of lactococci and non-starter lactic acid bacteria was similar in all cheeses. Hence, the rate of second proteolysis (soluble nitrogen in TCA) was similar. However, due to higher moisture content, the rate of the first proteolysis (water-soluble nitrogen) was also higher. Sensory evaluation confirmed that a low fat cheese rich in PPL is softer. However, during the first 8 weeks of maturation no difference was observed between the flavour profile of cheeses containing 0.8 or 1.0 g·kg⁻¹ of PPL. Over this period of time, cheeses became bitter and rancid. Therefore, low fat cheese with a texture and flavour improvement due to PPL should be consumed within 60 days.

low fat cheese ripening / buttermilk / phospholipid / ultrafiltration

Résumé – Des fromages allégés de type Cheddar produits à partir de laits de fromagerie riches en phospholipides (PPL) de babeurre ont été analysés pendant une période d'affinage de 12 semaines. L'évolution de la protéolyse, de la texture et de la flore microbienne ainsi que les qualités organoleptiques ont été déterminées. La présence de PPL dans les fromages allégés a résulté en des teneurs élevées en humidité ce qui a affecté le profil de texture. Ainsi, plus un fromage allégé était riche en PPL plus il était mou et plus sa microstructure était granuleuse. La présence de PPL dans les fromages n'a pas semblé affecter l'évolution de la population des lactocoques ni celle des lactobacilles de la flore secondaire. Ainsi, l'évolution de la protéolyse secondaire était similaire dans tous les fromages. Par contre, les teneurs élevées en humidité ont activé la protéolyse primaire. L'analyse sensorielle a

* Correspondance et tirés-à-part

Tél. : 450 773-1105 ; Fax : 450 773-8461 ; e-mail : stgelaisd@em.agr.ca

confirmé que plus les fromages étaient enrichis en PPL, plus leur texture était molle. Cependant, sur une période d'affinage de 8 semaines, le profil de saveur des fromages allégés contenant 0,8 et 1,0 g.kg⁻¹ de PPL était semblable. Au delà de cette période, les fromages devenaient amers et rances. Les fromages allégés, dont la texture a été améliorée par une teneur élevée en humidité due à la présence de PPL, doivent donc être consommés en deçà de 60 j.

affinage de fromage allégé / babeurre / phospholipide / ultrafiltration

1. INTRODUCTION

Malgré la demande croissante pour des produits laitiers allégés en matières grasses, les fromages allégés à pâte ferme obtenus ont une matrice protéique trop compacte qui entraîne des défauts de texture et de saveur [4, 28]. Plusieurs approches ont été utilisées pour améliorer la qualité de ces fromages dont l'augmentation de la teneur en eau par des modifications du procédé de fabrication ou l'ajout d'ingrédients favorisant la rétention d'eau (protéines sériques dénaturées, phospholipides) [1, 2, 8, 10, 16, 23]. Les teneurs plus élevées en humidité peuvent modifier le processus d'affinage des fromages et donc leur texture et leur saveur [9, 14, 22].

Le processus d'affinage d'un fromage correspond à une phase de digestion enzymatique du caillé et permet au fromage d'acquérir les propriétés organoleptiques recherchées. Les enzymes microbiennes et celles originellement présentes dans le lait de fromagerie ainsi que la présure résiduelle participent à la transformation du fromage en cours d'affinage [11, 13, 14, 20]. Ainsi pendant l'affinage, plusieurs types de dégradations s'effectuent, dont entre autre, la fermentation du lactose et l'hydrolyse des protéines et, dans une moindre mesure, celle des matières grasses [20]. La composition chimique du fromage, dont la teneur en eau, joue un rôle important dans le contrôle de ces réactions [9, 14, 15, 22].

Dans une étude précédente [34] il a été démontré qu'en combinant du lait écrémé, du babeurre et des rétentats de lait et de babeurre ultrafiltré (UF) il était possible de faire varier la teneur en phospholipides

(PPL) du lait de fromagerie tout en maintenant constantes les concentrations en protéines totales et en matières grasses. Les fromages allégés de type Cheddar produits à partir de ces laits riches en PPL avaient des compositions différentes, dont des teneurs élevées en humidité. Ces résultats, comme ceux observés dans d'autres études [10, 23], confirmaient que le babeurre riche en PPL est un ingrédient de choix pour augmenter facilement la teneur en eau d'un fromage allégé.

Le présent travail avait pour but de déterminer l'effet de l'enrichissement en PPL de fromages allégés de type Cheddar sur l'évolution de la protéolyse, de la texture et de la flore microbienne, ainsi que sur les qualités organoleptiques.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Fromages allégés de type Cheddar

Dans une étude précédente [34], il a été possible en combinant du lait écrémé, du babeurre et des rétentats de lait et de babeurre d'obtenir quatre laits de fromagerie tous standardisés à 40 g.kg⁻¹ de protéines et à 20 g.kg⁻¹ de matières grasses et dont les concentrations en phospholipides ont été ajustées à 0,3 ; 0,8 ; 1,0 et 1,3 g.kg⁻¹. Le lait de fromagerie obtenu en mélangeant du lait écrémé et du rétentat de lait UF a permis de produire un fromage allégé (LLUF) dont la teneur en eau était de 420 g.kg⁻¹, en matières grasses de 186 g.kg⁻¹ et en PPL de 1,3 g.kg⁻¹. Le lait de fromagerie obtenu en mélangeant du lait écrémé et du rétentat de babeurre UF a permis de produire un

fromage allégé (LBUF) dont les teneurs en eau, en matières grasses et en PPL étaient respectivement de 452 ; 159 et 2,6 g·kg⁻¹. Le lait de fromagerie provenant d'un mélange de lait écrémé et de babeurre liquide dans une proportion de 50:50 auquel avait été ajouté un mélange de rétentat de lait UF et de rétentat de babeurre UF également dans une proportion de 50:50 a permis de produire un fromage allégé (LB50) dont la teneur en eau était de 483 g·kg⁻¹, en matières grasses de 141 g·kg⁻¹ et en PPL de 5,0 g·kg⁻¹. Enfin, le lait de fromagerie préparé en mélangeant du babeurre liquide avec du rétentat de lait UF a permis de produire un fromage allégé (BLUF) dont les concentrations en eau, en matières grasses et en PPL étaient respectivement de 519 ; 127 et 5,6 g·kg⁻¹. Les paramètres exacts de fabrication ainsi que la composition complète de ces quatre fromages allégés sont présentés par Turcot et al. [34]. Tous les fromages allégés ont été affinés à 4 °C pendant 12 semaines.

2.2. Analyses microbiologiques

La population de lactocoques et de lactobacilles de la flore secondaire des fromages a été déterminée après 0, 2, 4 et 12 semaines d'affinage. Les lactobacilles et les lactocoques ont été déterminés par la méthode de dénombrement dans la masse (pour-plate) ; les lactobacilles sur milieu MRS agar acidifié (Difco Laboratories, Détroit, USA) après 48 h d'incubation à 30 °C en anaérobiose et les lactocoques sur milieu M17 agar (Difco Laboratories) après 3 j d'incubation à 30 °C en anaérobiose. Pour chaque fromage, un échantillon de 11 g a été dilué dans 99 mL d'eau peptonée (1,0 g·kg⁻¹ de Bacto-peptone, Difco) et homogénéisé à l'aide d'un stomacher (Model 400, Seward Medical, London, UK). Des dilutions supplémentaires ont été effectuées à partir de 1 mL de la dilution précédente dans 99 mL d'eau peptonée. La population des lactobacilles et des lactocoques a été exprimée en unités formant

des colonies par gramme de fromage (UFC·g⁻¹).

2.3. Suivi de la protéolyse

L'évolution de la protéolyse des fromages a été suivie à l'aide de la méthode décrite par Christensen et al. [5] qui consiste à doser les différentes fractions azotées dans les fromages. La fraction azotée soluble dans l'eau (NSE) a été déterminée à partir de 20 g de fromage râpé et homogénéisé dans 40 g d'eau déionisée à l'aide d'un Ultra-Turrax (Ultra-Turrax, T25, Janke & Kunkel, IKA[®], Laborstechnik). Les échantillons ont ensuite été tempérés à 40 °C pendant 1 h puis centrifugés à 1500 g pendant 30 min à 4 °C (Centrifugeuse Beckman, modèle J2-21, Fullerton, USA). Une fois la couche de matière grasse enlevée, la phase liquide a été filtrée sur filtre Whatman no. 42. Pour déterminer la fraction azotée soluble dans l'acide trichloroacétique (NTCA), 10 g de NSE obtenu précédemment a été précipité par 10 g d'une solution de TCA à 240 g·kg⁻¹. Après 15 min le précipité a été filtré sur filtre Whatman no. 2. Les teneurs en azote des différents filtrats ont été déterminées par la méthode Kjeldahl. Les diverses fractions azotées ont été exprimées en pourcentage par rapport à l'azote total contenu dans le fromage.

2.4. Lactose et acide lactique

L'évolution de la concentration en lactose et en acide lactique dans les fromages allégés a été déterminée par HPLC au jour 1 et après 12 semaines d'affinage selon la méthode décrite par St-Gelais et al. [30].

2.5. Analyses de texture

La dureté, l'élasticité, l'adhérence et la cohésion des fromages ont été déterminées par une analyse du profil de texture (TPA) à l'aide d'un texturomètre TA-XT2 (Mono Research Laboratories Ltd, Brompton, ON, Canada) après 2, 4 et 12 semaines

d'affinage. Les échantillons de fromage ont été taillés en cylindre de 1,0 cm de haut par 1,1 cm de diamètre et placés dans une boîte de Pétri à 20 °C pendant 1 h. Chaque cylindre a été compressé 2 fois jusqu'à 50 % de déformation par un poinçon de 2,5 cm de diamètre attaché à une cellule de charge de 5 kg. La vitesse de déformation a été fixée à 0,4 mm·s⁻¹. Pour chaque fromage 11 cylindres ont été compressés.

Les analyses en rhéologie dynamique ont été effectuées sur tous les fromages allégés après 12 semaines d'affinage à l'aide d'un rhéomètre à contrainte imposée (Rheometric Scientific Inc, Piscataway, NJ, USA). Les échantillons ont été coupés en rondelles de 25 mm de diamètre et 2 mm d'épaisseur. Ces rondelles ont été placées dans des sacs de plastique fermés hermétiquement et entreposés à 20 °C pendant 1 h. Avant d'effectuer les mesures, du papier sablé granulé fin (Mastercraft, no. 220, Canadian Tire, St-Hyacinthe, Canada) a été collé à la surface des deux plaques du rhéomètre pour éviter le glissement [32]. Lors des mesures, la température a été maintenue à 20 ± 0,1 °C par un bain-marie réfrigérant programmable (Polyscience ; Rheometric Scientific Inc, Piscataway, NJ, USA) relié au rhéomètre. Un balayage de contraintes de 50 à 1500 Pa a été réalisé afin de déterminer la zone de viscoélasticité linéaire des fromages ; zone où la structure des échantillons n'est pas brisée par la contrainte appliquée. Une contrainte de 100 Pa a donc été fixée pour les mesures suivantes. Un balayage de fréquences de 0,05 à 20 Hz, a été effectué à 20 ± 0,1 °C pour mesurer les composantes élastique G' (module de conservation) et visqueuse G'' (module de perte) ainsi que la tangente δ (angle de perte) des échantillons tel que décrit par Ma et al. [18].

2.6. Microstructure des fromages

La microstructure de tous les fromages après 2 semaines d'affinage a été observée

au microscope électronique à balayage (Vickers, Nanolab, Canada). Les échantillons de fromage ont été préparés selon la méthode décrite par Tamime et al. [33]. Les échantillons ont été d'abord découpés en lanières de 1 mm × 1 mm × 15 mm puis fixés dans une solution tampon constituée de glutaraldéhyde à 25 g·kg⁻¹ et de sodium cacodylate à 0,1 mol·L⁻¹ pendant 2 h à la température de la pièce. Les échantillons ont ensuite été rincés à plusieurs reprises dans le même tampon pendant 1 h, puis déshydratés graduellement dans de l'éthanol à 300, 500, 700, 800, 1000 g·kg⁻¹. Les échantillons déshydratés furent plongés dans l'azote liquide et fracturés à l'aide d'un scalpel de façon à obtenir des faces propres exemptes de marques de couteau puis replacés dans l'éthanol pur. Par la suite, l'éthanol des échantillons fut remplacé par du CO₂ à l'aide d'un appareil de séchage (Critical Point dryer ; Biorad, Angleterre) de façon à éviter les dommages occasionnés par la tension de surface. Tous les échantillons furent montés sur une plateforme d'aluminium à l'aide d'un papier collant recouvert d'une couche d'or de 8 nm d'épaisseur avant d'être observés au microscope.

2.7. Évaluation sensorielle

Parmi les fromages allégés, les fromages LBUF et LB50 ont été sélectionnés pour une analyse sensorielle. En terme de texture (analyse TPA) ces deux fromages se rapprochaient le plus d'un Cheddar standard [31]. Après 50 j d'affinage, une évaluation sensorielle a été faite par des juges entraînés qui devaient identifier les attributs des deux fromages à l'aide d'une analyse descriptive de type profil libre telle que décrite par Williams et Arnold [36]. Dans ce type d'évaluation les juges sont invités à dresser la liste de leurs propres descripteurs (attributs sensoriels).

Une analyse Procustéenne généralisée (APG) a ensuite été utilisée pour l'analyse

statistique des données sensorielles acquises lors de l'analyse par profil libre. Sept juges ont pris part à 5 sessions d'évaluation sensorielle au cours desquelles ils devaient évaluer l'intensité des attributs sensoriels des 2 fromages. Lors d'une session, 5 échantillons étaient présentés aux juges afin d'éviter qu'ils ne reconnaissent trop facilement les traitements et ainsi diminuer les biais.

L'APG est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle qui permet dans un premier temps de vérifier s'il existe des différences entre les juges, de mesurer le degré de consensus parmi ceux-ci et ensuite, lorsque ce consensus existe et est jugé adéquat, de permettre la comparaison des traitements étudiés [24]. L'APG consiste à appliquer un certain nombre de transformations mathématiques aux données recueillies de chacun des juges de manière à déterminer les attributs sensoriels et les échelles de mesure (intensité de l'attribut). L'APG constitue une des seules méthodes statistiques disponibles pour l'analyse de données de profil libre [27]. Suite à cette analyse, une dimension texture (cohésion, effet collant, fermeté et cassant) et une dimension saveur (amertume, rancidité, lactique et cheddar) ont été établies et utilisées pour comparer les deux types de fromage allégé.

2.8. Analyses statistiques

L'analyse des données obtenues pendant l'affinage a été réalisée par une analyse de la variance avec mesures répétées (différents temps d'échantillonnage). Un dispositif en tiroir a donc été utilisé pour déterminer les effets du type de fromages (parcelle principale) et du temps d'affinage (sous-parcelle) ainsi que de leur interaction. Au total 16 fromages allégés ont été analysés, ce qui représentait 4 fabrications fromagères répétées 4 fois [34]. Les analyses statistiques ont été effectuées en utili-

sant la procédure GLM à l'aide du logiciel SAS [29].

3. RÉSULTATS

3.1. Populations microbiennes

Les figures 1A et 1B présentent respectivement les évolutions des populations de lactocoques et de lactobacilles de la flore secondaire pendant l'affinage des fromages allégés. La croissance des lactocoques et des lactobacilles était statistiquement semblable ($P > 0,05$) dans tous les fromages allégés. Seul le temps de maturation avait un effet significatif ($P < 0,05$). Ainsi, durant les 12 semaines de maturation, la population des lactocoques dans tous les fromages a diminué passant en moyenne de $1,5 \times 10^8$ à $4,5 \times 10^5$ ufc.g⁻¹ de fromage (Fig. 1A), tandis que celle des lactobacilles a augmenté pour dépasser celle des lactocoques, passant de $1,4 \times 10^1$ à $4,5 \times 10^7$ ufc.g⁻¹ de fromage (Fig. 1B). Il semble donc que l'ajout de phospholipides n'a pas influencé la croissance des lactocoques et des lactobacilles de la flore secondaire dans les fromages.

3.2. Protéolyse

Les figures 2A et 2B présentent l'évolution de la protéolyse dans les fromages allégés suivie par la détermination de l'azote soluble dans l'eau (NSE) ainsi que par la teneur en azote soluble dans de l'acide trichloroacétique (NTCA). Le type de fromage ainsi que le temps de maturation avaient des effets significatifs sur la quantité de NSE et de NTCA produite pendant l'affinage. Une interaction significative double a été observée pour la production de NSE. Pendant l'affinage, les productions de NSE et de NTCA ont augmenté dans tous les fromages passant en moyenne de 6,56 à 17,53 % pour le NSE et de 3,50 à 8,26 % pour le NTCA. La quantité de NSE et de NTCA

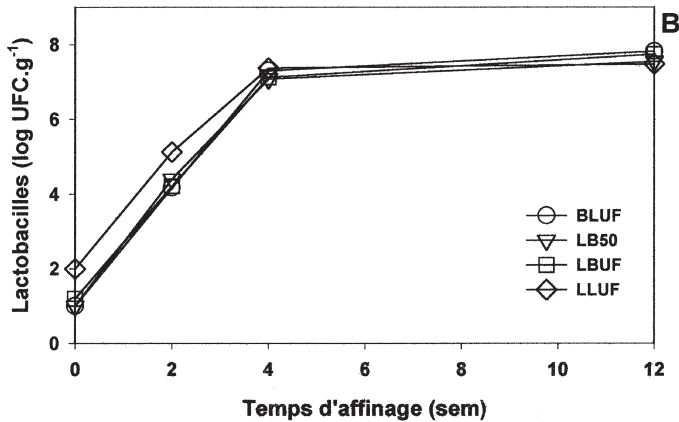
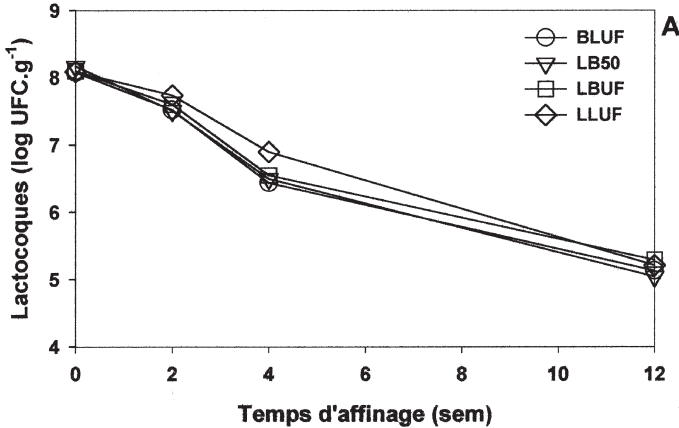


Figure 1. Évolution de la population des lactocoques (A) et des lactobacilles de la flore secondaire (B) dans les fromages allégés de type Cheddar en cours d'affinage. (LLUF, LBUF LB50 et BLUF = Tab. I). **Figure 1.** Evolution of population of lactococci (A) and lactobacilli (NSLAB) (B) during ripening of low fat Cheddar cheese. (LLUF, LBUF LB50 and BLUF = Tab. I).

était plus élevée dans les fromages LB50 et BLUF autant au début de l'affinage qu'après 12 semaines (Figs. 2A et 2B). Cependant, si pendant l'affinage l'augmentation de la quantité de NTCA (vitesse de production) était constante et semblable pour tous les fromages, la formation de NSE était plus rapide surtout dans les fromages LB50 et BLUF.

3.3. Lactose et acide lactique

Les figures 3A et 3B présentent respectivement les évolutions de la teneur en lactose ainsi qu'en acide lactique dans les

fromages allégés en cours d'affinage. Une interaction significative double a été observée pour la concentration en lactose. Par contre aucune interaction n'a été observée pour l'acide lactique. Pendant l'affinage, la teneur en lactose a diminué tandis que la quantité d'acide lactique a légèrement augmenté. Par contre, la diminution en lactose était significativement moins importante pour les fromages LLUF, tandis qu'elle était semblable pour l'acide lactique. Pendant l'affinage, la concentration en lactose est demeurée toujours plus élevée dans les fromages LB50 et LBUF, tandis que la teneur en acide lactique était toujours plus faible pour ces mêmes fromages.

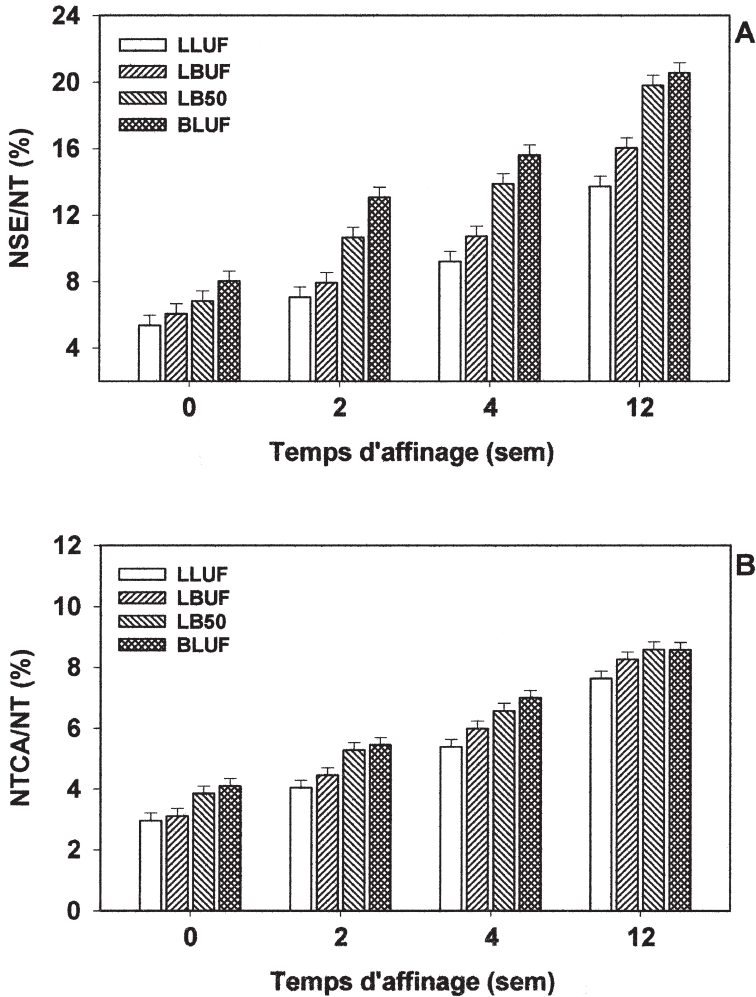


Figure 2. Évolution de l'azote soluble dans l'eau (A) et de l'azote dans l'acide trichloroacétique (B) dans les fromages allégés de type Cheddar en cours d'affinage. (LLUF, LBUF LB50 et BLUF = Tab. I).

Figure 2. Evolution of water soluble nitrogen (A) and trichloroacetic soluble nitrogen (B) during ripening of low fat Cheddar cheese. (LLUF, LBUF LB50 and BLUF = Tab. I).

3.4. Texture et microstructure des fromages

Le tableau I présente les résultats de l'analyse sur la texture des fromages. Le temps d'affinage ainsi que le type de fromage ont eu un effet significatif sur le profil

de texture. Par contre, aucune interaction significative n'a été observée. Pendant l'affinage, la dureté, la cohésion et l'élasticité ont diminué, tandis que l'adhérence a augmenté. Les valeurs de dureté et de cohésion étaient différentes. Elles étaient plus élevées pour les fromages LLUF et plus

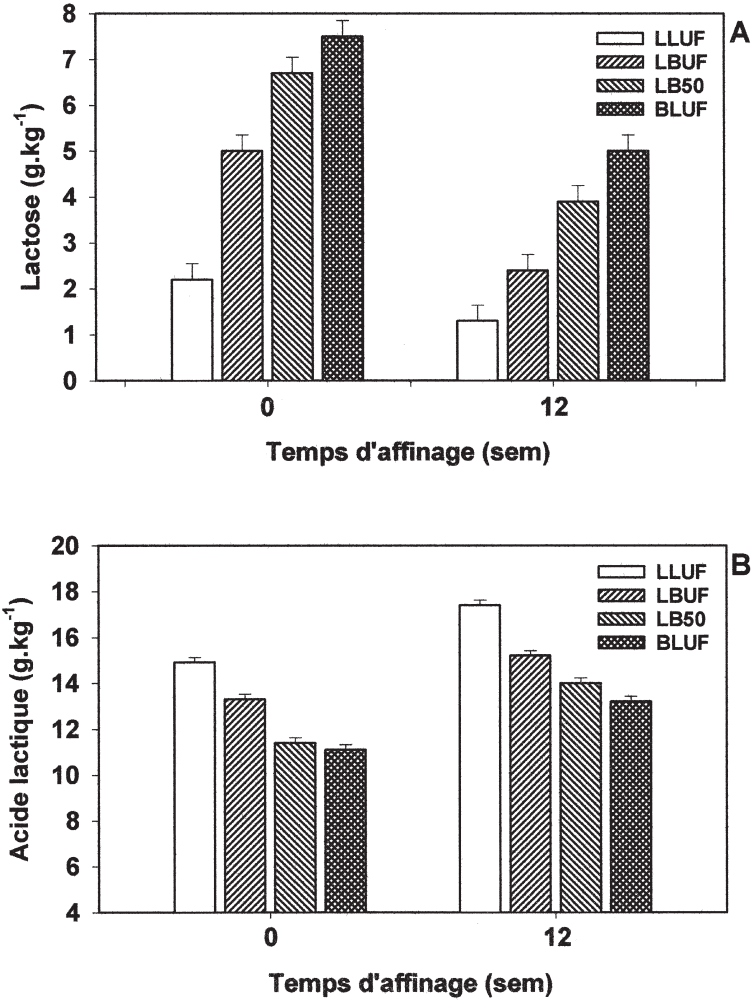


Figure 3. Évolution de la concentration en lactose (A) et en acide lactique (B) dans les fromages allégés de type Cheddar en cours d'affinage. (LLUF, LBUF LB50 et BLUF = Tab. I).

Figure 3. Evolution of lactose (A) and lactic acid (B) concentration during cheese ripening of low fat Cheddar cheese. (LLUF, LBUF LB50 and BLUF = Tab. I).

faibles pour les fromages BLUF. Par contre, les valeurs d'adhérence et d'élasticité étaient similaires.

La figure 4 présente les résultats du G' (module de conservation ; élasticité), du G'' (module de perte ; viscosité) et de la tangente δ (angle de perte) obtenus pour les différents fromages allégés après 12 semaines de d'affinage. Le type de fromage avait

un effet significatif sur les valeurs G', G'' et tangente δ . Ces valeurs étaient plus élevées pour les fromages LLUF et plus basses pour les fromages LB50 et BLUF. Tous les fromages étaient donc plus élastiques que visqueux.

La figure 5 présente les photographies des différents fromages allégés obtenus par microscopie électronique. Selon le type de

Tableau I. Analyses du profil de texture (TPA) des différents fromages allégés de type Cheddar.
Table I. Texture profile analysis (TPA) of low fat Cheddar cheese.

	Type de fromage ¹				ESM ²	Temps (semaine)			
	LLUF	LBUF	LB50	BLUF		2	4	12	ESM ²
Dureté (N)	17,83 ^a	12,37 ^b	8,57 ^c	5,45 ^d	0,98	11,93 ^a	10,92 ^b	10,31 ^c	0,25
Adhérence	-0,18 ^a	-0,21 ^a	-0,22 ^a	-0,23 ^a	0,02	-0,15 ^c	-0,2 ^b	-0,28 ^a	0,01
Élasticité	0,79 ^a	0,77 ^a	0,77 ^a	0,75 ^a	0,01	0,79 ^a	0,77 ^b	0,76 ^c	0,002
Cohésion	0,66 ^a	0,61 ^{ab}	0,59 ^b	0,55 ^c	0,02	0,61 ^a	0,61 ^a	0,58 ^b	0,006

¹ LLUF = fromage allégé fait à partir de lait écrémé + rétentat de lait UF, LBUF = fromage allégé fait à partir de lait écrémé + rétentat de babeurre UF, LB50 = fromage allégé fait à partir de lait écrémé : babeurre (50:50) + rétentat de lait UF : rétentat de babeurre UF (50:50), BLUF = babeurre + rétentat de lait UF.

² Erreur standard sur la moyenne.

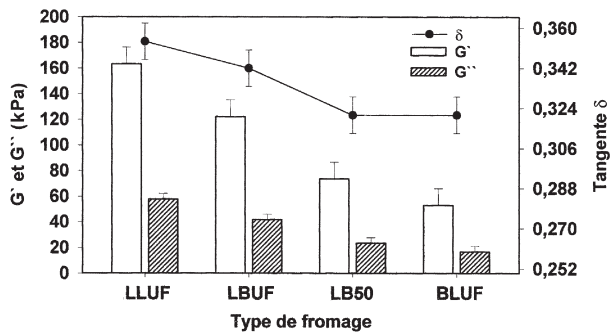
^{a-c} Les moyennes suivies de lettres différentes dans une même rangée diffèrent à $P \leq 0,05$.

¹ LLUF = cheese made from skim milk + UF milk retentate, LBUF = cheese made from skim milk + UF buttermilk retentate, LB50 = cheese made from skim milk: buttermilk (50:50) + UF milk retentate: UF buttermilk retentate (50:50), BLUF = buttermilk + UF milk retentate.

² Standard error of the means.

^{a-c} Means with different superscripts in the same row differ at $P \leq 0,05$.

Figure 4. Module de conservation (G'), module de perte (G'') et angle de perte (δ) des fromages allégés de type Cheddar après 12 semaines d'affinage. (LLUF, LBUF, LB50 et BLUF = Tab. I).
Figure 4. Storage modulus (G'), loss modulus (G'') and loss angle (δ) of low fat Cheddar cheese after 12 weeks of cheese ripening. (LLUF, LBUF, LB50 and BLUF = Tab. I).



fromage la microstructure était différente. Pour le fromage LLUF (Fig. 5A) la matrice protéique (zone grise) était compacte et uniforme. Les trous (matières grasses) étaient uniformément répartis. Dans le cas du fromage LBUF (Fig. 5B), la dispersion de la matière grasse (trous) était pratiquement la même que dans le cas du fromage LLUF, par contre la matrice protéique était moins uniforme. De plus, les espaces occupés par les matières grasses paraissaient beaucoup plus profonds. La matrice protéique du fromage LBUF semblait donc moins dense que celle du fromage LLUF.

La microstructure du fromage LBUF ressemblait à celle d'un Cheddar réduit de 50 % de matières grasses telle qu'observée par Mistry et Anderson [22]. La microstructure du fromage LB50 (Fig. 5C) semblait moins compacte et plus granuleuse que celle des fromages LLUF et LBUF. Finalement, la microstructure du fromage BLUF (Fig. 5D) était très différente. Sa structure a plutôt l'aspect d'une éponge et sa matrice protéique paraît très granuleuse. La présence des trous semble cachée par l'aspect granuleux de la matrice protéique.

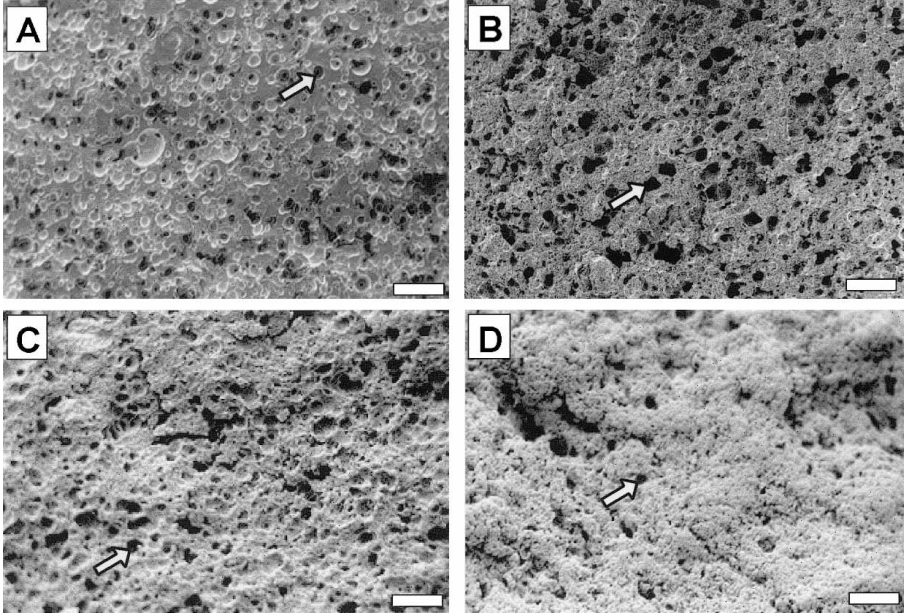


Figure 5. Microstructure des fromages allégés de type Cheddar après 2 semaines d'affinage (grossissement 750X ; barre blanche = 15 μm ; flèche blanche pointe vers un trou représentant un globule gras). (LLUF (A), LBUF (B), LB50 (C) et BLUF (D) = Tab. I).

Figure 5. Low fat Cheddar cheese microstructure after 2 weeks of cheese ripening (magnification 750X; white bar = 15 μm ; white arrow points to void representing fat globule). (LLUF (A), LBUF (B) LB50 (C) and BLUF (D) = Tab. I).

3.5. Évaluation sensorielle

Les fromages LBUF et LB50 ont été choisis pour l'évaluation sensorielle parce que leurs teneurs en humidité et en matières grasses se rapprochaient des valeurs ciblées et que leur dureté correspondait le plus à celle d'un Cheddar standard [31].

La figure 6 présente les résultats de l'analyse sensorielle effectuée sur les deux fromages sélectionnés obtenus par une analyse de type profil libre (analyse Procusteenne). L'axe des « X » représente la dimension texture et expliquait 57,7 % de la variabilité totale entre les fromages. L'axe des « Y » représente la dimension saveur et explique 18,2 % de la variabilité totale. Les deux axes principaux expliquaient

donc au total 76 % de la variabilité contenue dans les attributs sensoriels originaux. Les attributs corrélés négativement avec la dimension texture étaient la cohésion de masse et l'effet collant. Les attributs corrélés négativement avec la dimension saveur étaient l'amertume et la rancidité.

Les résultats ont démontré que le fromage LBUF était plus ferme que le fromage LB50, ce qui confirmait les résultats obtenus au texturomètre. En plus d'être plus molle, la texture du fromage LB50 était plus collante et moins cohésive. Les résultats d'analyse sensorielle ont démontré également que les deux types de fromage (LBUF et LB50) étaient comparables en terme d'intensité de la saveur Cheddar et lactique.

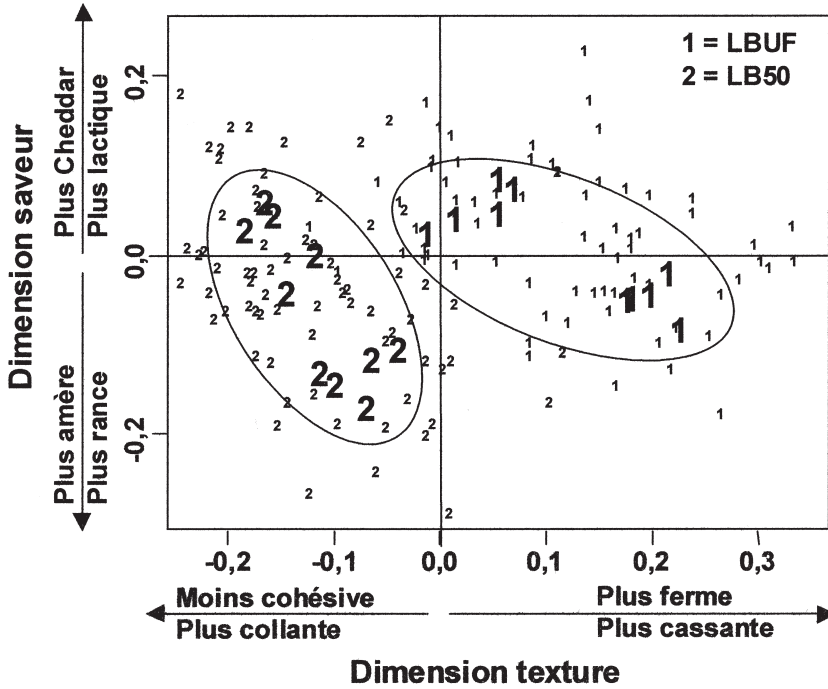


Figure 6. Analyse sensorielle de type profil libre des fromages allégés de type Cheddar après 50 j d'affinage. Les petits chiffres correspondent aux données individuelles de chaque juge projetées dans l'espace à deux dimensions (texture et saveur). La moyenne du consensus des juges pour chaque fromage est représentée par les gros chiffres dans les cercles. (LBUF (1) et LB50 (2) = Tab. I).

Figure 6. Sensory analysis (free choice profiling) of low fat Cheddar cheese after 50 d of cheese ripening. Small numbers represent individual data for every judge (two dimension; texture and flavour). Mean judge consensus for every cheese are represented by large numbers in circles. (LBUF (1) and LB50 (2) = Tab. I).

4. DISCUSSION

Dans une étude précédente, il a été démontré que des laits de fromageries riches en PPL de babeurre permettaient de produire des fromages allégés de type Cheddar avec des teneurs en humidité élevées [34] ce qui modifierait le processus d'affinage et créerait des changements de texture et de saveur [9, 14, 15].

Au début puis pendant l'affinage, les teneurs en NSE et en NTCA étaient plus élevées dans les fromages allégés LB50 et BLUF. Or, ces derniers avaient également

des teneurs en PPL et en humidité plus élevées donc une HFD (humidité dans la fraction dégraissée) également très élevée [34]. Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par Joshi et al. [10]. Ainsi plus un fromage contient de PPL, plus sa teneur en humidité est élevée et plus la teneur en azote soluble est élevée. Toujours selon Joshi et al. [10], les fromages fabriqués avec du babeurre qui ont une teneur initiale en azote soluble et en humidité élevée, montrent également une protéolyse plus rapide. L'augmentation de l'HFD du fromage permettrait une meilleure hydratation des caséines et favoriserait ainsi leur protéolyse

[9, 15]. L'HFD élevée des fromages LB50 et BLUF [34] pourrait expliquer l'augmentation plus rapide de leur teneur en NSE au cours de l'affinage.

La présence de présure résiduelle dans les fromages LB50 et BLUF (non déterminée dans cette étude) pourrait aussi être la cause de l'importante augmentation de la teneur en NSE. La quantité de présure résiduelle dans le fromage influence la vitesse de dégradation des caséines ; hydrolyse primaire [14, 20]. Lors de la fabrication fromagère, plus le pH de soutirage du lactosérum est bas, plus la quantité la présure résiduelle retenu dans le caillé est élevée [13]. Les lactosérums des fromages LB50 et BLUF ont été soutirés, respectivement à des valeurs de pH à 5,9 et 5,8 [34]. Ces derniers pourraient contenir plus de présure résiduelle favorisant une protéolyse primaire plus rapide dont une production de polypeptides à haut poids moléculaires plus importante.

La teneur élevée en humidité des fromages due à la présence de PPL n'a pas semblé affecter la croissance des lactobacilles de la flore secondaire ni la vitesse de diminution de la population des lactocoques. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Law et al. [12]. En fait, l'évolution de ces populations bactériennes était similaire à celle observée dans du Cheddar standard [9, 15, 26]. L'utilisation de babeurre n'a donc pas eu d'impact sur la croissance des lactobacilles ni sur la décroissance des lactocoques. Les protéases et les peptidases des lactobacilles ainsi que les enzymes protéolytiques intracellulaires libérées lors de la lyse des lactocoques sont les principaux agents responsables de la protéolyse secondaire des fromages, transformant les polypeptides en peptides de faible poids moléculaire et en acides aminés [20]. Dans cette étude les populations de lactobacilles et de lactocoques étaient comparables dans tous les différents fromages allégés. Les vitesses de production de NTCA étaient également semblables. Ainsi, si l'hydrolyse

primaire (production de NSE) semble avoir été modifiée par la présence de PPL, l'hydrolyse secondaire (production de NTCA) ne semble pas avoir été affectée.

Lors de l'étape du soutirage du lactosérum la majeure partie du lactose a été éliminée. Les bactéries du ferment ainsi que les lactobacilles de la flore secondaire métabolisent le lactose résiduel contenu dans le fromage en acide lactique. La diminution du lactose, donc l'augmentation de la teneur en acide lactique, seraient corrélées avec l'accroissement de la population des lactobacilles selon Lawrence et al. [13]. La vitesse d'hydrolyse du lactose et la vitesse de production d'acide lactique étaient similaires dans tous les fromages allégés. Dans cette étude, la concentration en lactose dans le fromage LLUF était la plus faible et la concentration en acide lactique était la plus élevée.

Une teneur élevée en humidité peut entraîner des modifications importante de la texture d'un fromage [22]. Or le profil de texture était effectivement différent selon le type de fromage allégé (Tab. I). Plus les fromages allégés étaient riches en PPL, plus leur teneur en humidité [34] et leur adhérence étaient élevées, par contre moins élevées étaient leur dureté, élasticité et cohésion.

Les modifications du profil de texture durant l'affinage sont reliées à la protéolyse, puisqu'il est connu que la dégradation de la caséine α_{s1} par les protéases entraîne une destruction du réseau protéique ainsi qu'un ramollissement de la texture du fromage [9, 15]. Cependant dans cette étude, même si les fromages allégés riches en PPL tel que les fromages LB50 et BLUF présentaient une vitesse de protéolyse plus marquée lors de l'affinage, cela n'a pas semblé affecter statistiquement l'évolution du profil de texture. La dureté, l'élasticité et la cohésion ont diminué tandis que l'adhérence a augmenté dans tous les fromages allégés. Ainsi, au début de l'affinage le fromage allégé le plus ferme (LLUF) l'est

demeuré tout au long de la période d'affinage.

Les analyses en rhéologie dynamique confirment les résultats obtenus à l'aide du texturomètre. Ainsi, le G' (élasticité) et le G'' (viscosité) étaient également plus faibles pour les fromages riches en PPL (LB50 et BLUF) et qui avaient une HFD plus élevée. De plus, même si tous les fromages allégés étaient plus élastiques que visqueux, car la tangente δ était inférieure à 1,0 [35], les résultats indiquent qu'après 12 semaines d'affinage, le caractère visqueux des fromages LB50 et BLUF était plus important que pour les fromages LBUF et LLUF. Par contre, Ma et al. [17] ont observé que l'ajout de lécithine de soja dans le lait permettait d'améliorer la structure tridimensionnelle de la matrice protéique des fromages réduits en gras par une augmentation de la composante élastique (G') sans augmentation de la composante visqueuse (G''). D'autre part, Drake et al. [7] ont démontré que les PPL d'origine végétale (lécithine de soja) étant amphiphiles, ils peuvent s'associer aux protéines, aux matières grasses et aux molécules d'eau présentes dans un caillé et ainsi améliorer la texture d'un fromage allégé. En incorporant des PPL du babeurre dans un fromage allégé, ces derniers affectent la structure tridimensionnelle par leur grande capacité de rétention d'eau en diminuant ainsi leurs composantes visqueuses et surtout élastiques. Cependant, il est probable que d'autres composants du babeurre tels que les protéines sériques et les glycoprotéines forment des interactions avec les phospholipides pour modifier la structure des fromages allégés et la rendre moins dense, moins élastique et moins ferme [34].

Les photographies obtenues en microscopie électronique démontrent que la présence de PPL augmente la rétention d'eau dans le fromage et provoque une modification importante de la microstructure qui devient de moins en moins dense, voire de plus en plus granuleuse (Fig. 5), d'où une

réduction de la dureté. D'ailleurs, les résultats obtenus lors de l'analyse sensorielle confirment que c'est principalement la texture qui a été affectée par la présence de PPL de babeurre.

La modification du procédé de fabrication des fromages LB50 et BLUF rapportée par Turcot et al. [34] pourrait avoir eu également un impact important sur la structure du caillé. En effet, si la baisse du pH du caillé au soutirage a permis de diminuer la teneur en humidité de ces fromages [34], Lawrence et al. [13] rapportent que la baisse du pH de soutirage diminue également la teneur en calcium retenu dans le caillé entraînant une modification de la structure. Selon Mistry et Anderson [22], plus l'acidification est prolongée, plus les pertes en phosphate et en calcium sont importantes, deux constituants jouant un rôle majeur dans la structure du caillé [25]. Ainsi, la taille des agrégats de caséine est diminuée causant une texture granuleuse. Les fromages LBUF, LB50 et BLUF avaient effectivement des teneurs en calcium et phosphore plus faibles que le fromage LLUF [34].

Après 50 j d'affinage la saveur des deux fromages sélectionnés (BLUF et LB50) soumis à l'analyse sensorielle a été jugée statistiquement comparable et très acceptable par le panel d'experts. Cependant après 60 j, les fromages devenaient rapidement amers et de plus en plus rances pour permettre la poursuite de l'analyse sensorielle.

La présence de PPL du babeurre dans les fromages allégés a permis de modifier les propriétés organoleptiques comme l'ont déjà observé Mayes et al. [19]. L'amertume observée après 60 j d'affinage pourrait provenir de la protéolyse plus prononcée dans les fromages riches en PPL, car il a été démontré qu'une protéolyse rapide peut entraîner une accumulation de peptides amers dans le fromage [3]. De plus, comme les PPL sont constitués d'acides gras polyinsaturés, ces derniers sont susceptibles non

seulement à l'auto-oxydation [8, 12] mais aussi à l'hydrolyse par des lipases présentes dans le fromage. Law et al. [12] ont démontré qu'après deux mois d'affinage d'un Cheddar expérimental fait à partir d'un lait auquel du babeurre en poudre avait été ajouté, la teneur en PPL chutait tandis que celles des acides gras augmentaient. Ainsi, lors d'un affinage prolongé (plus de 60 j), la dégradation des PPL peut avoir contribué à la libération supplémentaire d'acides gras libres (non déterminée dans cette étude) ; composés reconnus comme des agents responsables de l'apparition du goût rance [3, 12].

Il semble donc que les fromages allégés riches en PPL ne puissent subir un affinage prolongé (plus de 60 j). Drake et al. [6] suggèrent de diminuer la quantité de ferment utilisée pour améliorer la qualité sensorielle du fromage allégé. De plus, l'utilisation d'une culture de bactéries lactiques moins protéolytique et d'une flore secondaire (adjunct starter) pourrait être envisagée afin d'améliorer la saveur et diminuer l'amertume des fromages allégés [21].

5. CONCLUSION

La teneur élevée en humidité des fromages allégés de type Cheddar provoquée par la présence de PPL n'a pas affecté l'évolution de la population des lactocoques ni celle des lactobacilles de la flore secondaire pendant l'affinage, ce qui a eu pour conséquence que la vitesse de la protéolyse secondaire attribuée en partie à l'activité microbienne, était semblable dans tous les fromages allégés. Par contre, la vitesse de la protéolyse primaire était plus élevée dans les fromages riches en PPL, donc dans les fromages dont la teneur en eau était élevée. Cette teneur élevée en eau des fromages riches en PPL a eu un impact direct sur la texture et la microstructure. Ainsi, plus un fromage allégé était riche en PPL plus sa microstructure était granuleuse et moins il était ferme ce qui a été confirmé par l'ana-

lyse sensorielle. Du point de vue saveur, l'analyse sensorielle a révélé que la concentration en PPL dans les fromages allégés n'avait pas eu d'impact négatif au cours des deux premiers mois d'affinage, mais qu'après 60 j, les fromages avaient tendance à devenir amers et rances ce qui semble indiquer que l'amélioration de la fermeté des fromages apportée par la présence des PPL se fait au détriment d'une période d'affinage écourtée. D'après nos résultats, la concentration maximale en PPL dans un lait de fromagerie standardisé en protéines à 40 g·kg⁻¹ ne devrait pas dépasser 1,0 g·kg⁻¹, puisqu'au delà de cette concentration, la texture du fromage allégé est à la fois trop molle et trop granuleuse.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été supportée par le Conseil de recherche en Pêche et Agroalimentaire du Québec. Les auteurs tiennent à remercier J. Fortin, analyste en évaluation sensorielle, N. Rodrigue, statisticienne et D. Montpetit, microscopiste.

RÉFÉRENCES

- [1] Banks J.M., Muir D.D., Effect of incorporation of denatured whey protein on yield and quality of Cheddar cheese, *J. Soc. Dairy Technol.* 38 (1985) 27–32.
- [2] Banks J.M., Brechany E.Y., Christie W.W., The production of lowfat Cheddar-type cheese, *J. Soc. Dairy Technol.* 42 (1989) 6–9.
- [3] Bergère J.-L., Lenoir J., Les accidents de fromagerie et les défauts des fromages, in : Eck A., Gillis J.-C. (Eds.) *Le Fromage*, Lavoisier, Tec. et Doc., Paris, 1997, pp. 509–546.
- [4] Bryant A., Ustunol Z., Steffè J., Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction, *J. Food Sci.* 60 (1995) 1216–1219.
- [5] Christensen T.M.I.E., Bech A.M., Werner H., Methods for crude fractionation (extraction and precipitation) of nitrogen components in cheese, *IDF Bulletin* 261 (1991) 4–9.
- [6] Drake M.A., Herrett W., Boylston T.D., Swanson B.G., Sensory evaluation of reduced fat cheeses, *J. Food Sci.* 60 (1995) 898–901.

- [7] Drake M.A., Herrett W., Boylston T.D., Swanson B.G., Lecithin improves texture of reduced fat cheeses, *J. Food Sci.* 61 (1996) 639–642.
- [8] Drake M.A., Chen X.Q., Gerard P.D., Gurkin S.U., Composition and quality attributes of reduced-fat cheese as affected by lecithin type, *J. Food Sci.* 63 (1998) 1018–1023.
- [9] Fox P.F., Singh T.K., McSweeney P.L.H., Proteolysis in cheese during ripening, in: Andrews A.T., Valey J. (Eds.), *Biochemistry of milk products*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 1994, pp. 1–27.
- [10] Joshi N.S., Thakar P.N., Jana A.H., Utilization of butter milk in cheese making-A review, *Indian Food Packer*, March-April, (1994) 59–65.
- [11] Law B.A., Microorganisms and their enzymes in the maturation of cheeses, *Prog. Ind. Microbiol.* 19 (1984) 245–283.
- [12] Law B.A., Sharpe M.E., Chapman H.R., Reiter B., Relationship of milk fat globule membrane material to flavor development in Cheddar Cheese, *J. Dairy Sci.* 56 (1973) 716–723.
- [13] Lawrence R.C., Heap H.A., Gilles J., A controlled approach to cheese technology, *J. Dairy Sci.* 67 (1984) 1632–1645.
- [14] Lawrence R.C., Creamer, L.K., Gilles J., Texture development during cheese ripening, *J. Dairy Sci.* 70 (1987) 1748–1760.
- [15] Lawrence R.C., Gilles J., Creamer L.K., Cheddar cheese and related dry-salted cheese varieties. in: Fox P.F. (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 2, Major Cheese Groups, second edition, Chapman & Hall, New York, USA, 1993, pp. 1–38.
- [16] Lo C.G., Bastian E.D., Incorporation of native and denatured whey proteins into cheese curd for manufacture of reduced fat, Havarti-type cheese, *J. Dairy Sci.* 81 (1998) 16–24.
- [17] Ma L., Drake M.A., Barbosa-Cánovas G.V., Swanson B.G., Viscoelastic properties of reduced fat and full fat cheeses, *J. Food Sci.* 61 (1996) 821–823.
- [18] Ma L., Drake M.A., Barbosa-Cánovas G.V., Swanson B.G., Rheology of full-fat and low-fat Cheddar cheeses as related to type of fat mimetic, *J. Food Sci.* 62 (1997) 748–752.
- [19] Mayes J.J., Urbach G., Sutherland B.J., Does addition of buttermilk affect the organoleptic properties of low-fat cheese?, *Aust. J. Dairy Technol.* 49 (1994) 39–41.
- [20] McSweeney P.L.H., Sousa M.J., Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review, *Lait* 80 (2000) 293–324.
- [21] Mistry V.V., Improving the sensory characteristics of reduced-fat cheese, in: Malin E.L., Tunick M.H. (Eds.), *Chemistry of structure-function relationships in cheese, advances in experimental medicine and biology*, Vol. 367, Plenum Press, New York, USA, 1995, pp. 371–382.
- [22] Mistry V.V., Anderson D.L., Composition and microstructure of commercial full-fat and low-fat cheeses, *Food Struct.* 12 (1993) 259–266.
- [23] Mistry V.V., Metzger L.E., Maubois J.L., Use of ultrafiltered sweet buttermilk in the manufacture of reduced fat Cheddar cheese, *J. Dairy Sci.* 79 (1996) 1137–1145.
- [24] Muir D.D., Hunter E.A., Sensory evaluation of Cheddar cheese: order of tasting and carryover effects, *J. Food Qual. Prefer.* 3 (1991) 141–145.
- [25] Ramet J.P., Technologie comparée des différents types de caillé, in: Eck A., Gillis J.-C. (Eds.), *Le Fromage*, Édition Lavoisier, Tec. et Doc., Paris, France, 1997, pp. 447–467.
- [26] Rehman S.U., McSweeney P.L.H., Banks J.M., Brechany E.Y., Muir D.D., Fox P.F., Ripening of Cheddar cheese made from blends of raw and pasteurised milk, *Int. Dairy J.* 10 (2000) 33–44.
- [27] Rodrigue N., A comparison of the performance of generalized procustes analysis and the intraclass coefficient to estimate interrater reliability, Master's thesis, McGill University, Canada, 1999.
- [28] Rodriguez J., Recent advances in the development of low-fat cheeses, *Trends Food Sci. Technol.* 9 (1998) 249–254.
- [29] SAS Institute Inc., *SAS/STAT® User's Guide*, Version 6, Fourth edition, Vol. 2, Cary, NC, SAS Institute Inc., 1989.
- [30] St-Gelais D., Doyon G., Rolland J.R., Goulet J., Sugar and organic concentrations during ripening of Cheddar cheese-like products, *Milchwissenschaft* 46 (1991) 288–291.
- [31] St-Gelais D., Piette M., Bélanger G., Production of Cheddar cheese using milk enriched with milk retentate. A preliminary study, *Milchwissenschaft* 50 (1995) 614–619.
- [32] Subramanian R., Gunasekaran S., Small amplitude oscillatory shear studies on Mozzarella cheese. Part I. Region of linear viscoelasticity, *J. Text. Stud.* 28 (1997) 633–642.
- [33] Tamime A.Y., Kalab M., Davies G., Younis M.F., Microstructure and firmness of processed cheese manufactured from Cheddar and skim milk powder cheese base, *Food Struct.* 9 (1990) 23–37.
- [34] Turcot S., Turgeon S.L., St-Gelais D., Effet de la concentration en phospholipides de babeurre dans le lait de fromagerie sur la production et la composition de fromages allégés de type Cheddar, *Lait* 81 (2001) 429–442.
- [35] Tunick M.H., Mackey K.L., Sheih J.J., Smith P.W., Cooke P., Malin E.L., Rheology and microstructure of low-fat Mozzarella cheese, *Int. Dairy J.* 3 (1993) 649–662.
- [36] Willams A.A., Arnold G.M., A new approach to the sensory analysis of foods and beverages, in: Adda J. (Ed.), *Progress in flavor research, Proceedings of the 4th Weurman Flavor Research Symposium*, Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, 1984, pp. 35–50.