

OPTIMISATION DES CONDITIONS DE PRODUCTION DU HALLOUM DEMI-ÉCREME

H. Dib, E. Hajj Semaan et G. Abi Abdallah
Faculté d'Agronomie, Université Libanaise, Dekwaneh, Liban
hdib@ul.edu.lb

(Received 2 July 2009 - Accepted 30 November 2009)

RESUME

Dans le but de trouver le meilleur procédé technique pour la production d'un halloum demi-écrémé et conforme aux normes, de qualité organoleptique acceptable et sans dessèchement du pli interne du fromage, 21 expériences ont été menées en faisant varier le taux de matières grasses (0.05-1.4% du lait), de lécithine (0.04-0.1%), la teneur en CaCl₂ (0.01-0.02%), la température (30 ± 2 °C) et le temps de coagulation (45-60 min), le temps de cuisson (5-10 min) ainsi que le pH (6.61-6.78). Pour chaque expérience, le lait et le fromage ont été analysés pour la détermination de l'extrait sec, du taux de matières grasses, du pH et de l'acidité titrable. La texture du fromage a été mesurée à l'aide d'un pénétromètre. A la suite de chaque expérience, une évaluation sensorielle de chaque produit a lieu pour qualifier la salinité, l'amertume, l'insipidité, l'arrière-goût, le degré de mastication, l'acidité, la granulosité en utilisant une échelle de 0 à 10 selon la méthode de profil. Les analyses physico-chimiques et sensorielles montrent des corrélations significatives entre les attributs. La texture du halloum est influencée par l'extrait sec du lait (R=0.73, P<0.01) et le temps de cuisson (R=0.56, P<0.05). L'acceptabilité du produit est significativement corrélée avec la matière grasse (R=0.54, P<0.05), la couleur blanche (R=0.64, P<0.01), la tendreté (R=0.61, P<0.01) et l'élasticité (R=0.48, P<0.05) alors qu'elle est inversement proportionnelle à l'amertume (R=-0.67, P<0.01) et l'arrière goût (R=-0.72, P<0.01) provoqués par la lécithine. Les conditions optimales pour l'obtention d'un halloum demi-écrémé de qualité résident dans la standardisation de la matière grasse du lait à une valeur inférieure ou égale à 0.85%, à une température de coagulation faible (28 °C), un temps de coagulation plus long (60 min) et un temps de cuisson réduit (5 à 8 min).

Mots clés : fromage, halloum, matières grasses, analyse sensorielle, analyse chimique

ABSTRACT

The aim of the study was to develop the optimal conditions for the manufacturing of low-fat halloum cheese without significant alterations of the organoleptic attributes. Twenty one experiments were carried out on a factorial design basis to study the effect of various factors on the quality of finished halloum. These include the level of fat (0.05-1.4% in the milk), lecithin (0.04-0.1%), CaCl₂ (0.01-0.02%), temperature (30 ± 2 °C), time of coagulation (45-60 min), and pH (6.61-6.78). For each experiment, samples of milk and resultant cheese were subjected to analysis of moisture, fat-in-dry matter, pH and acidity. The texture of cheese was determined using a penetrometer. Sensory properties of the finished halloum were carried out to evaluate saltiness, bitterness, insipidness, aftertaste, chewiness, sourness and overall acceptance using the profiling method. Physicochemical characteristics and sensory

properties demonstrated significant correlations between attributes. The texture is influenced by dry matter of milk ($R=0.73$, $P<0.01$) and duration of cooking ($R=0.56$, $P<0.05$). Overall acceptance was significantly correlated to fat ($R=0.54$, $P<0.05$), white color ($R=0.64$, $P<0.01$), hardness ($R=0.61$, $P<0.01$) and chewiness ($R=0.48$, $P<0.05$); and negatively correlated to bitterness ($R=-0.67$, $P<0.01$) and aftertaste ($R=-0.72$, $P<0.01$). The optimal conditions to have a low fat halloum was to use a low fat milk ($<0.85\%$), a low coagulation temperature ($28\text{ }^{\circ}\text{C}$), a prolonged time of coagulation (60 min) and reduced time of cooking (5-8 min).

Keywords: cheese, halloum, fat, sensory analysis, chemical analysis

INTRODUCTION

Le halloum est un fromage traditionnel originaire de Chypre, mais il est aussi très populaire dans les pays du Levant. Le halloum frais a été développé industriellement à partir du lait de chèvre, de brebis ou de vache. Il contient en moyenne 24 % de matières grasses, soit environ 46% de la matière sèche. La réduction de la teneur en matières grasses dans le fromage halloum parallèlement au maintien de la saveur et de la texture du fromage entier préoccupe les producteurs et les chercheurs dans le domaine. Les essais sont pauvrement documentés. Le consommateur serait prêt à payer plus pour des produits à faible teneur en matières grasses à condition que les propriétés organoleptiques équivalent celles des produits traditionnels (Drake *et al.*, 1996 ; Papademas & Robinson, 2000). Vu que la matière grasse joue un rôle important dans la saveur et la texture du fromage, la diminution du taux de matières grasses risque toutefois de modifier le goût et de produire un fromage ferme et élastique à cause du déficit en globules gras. Des essais réalisés par Panayiota et Wilbey (2007) sur les effets de différents niveaux de gras (32 à 53 %) sur les propriétés du fromage halloum montrent une diminution de la dureté avec l'augmentation du taux de matières grasses et de la teneur en eau. Plusieurs méthodes sont expérimentées actuellement afin de limiter la teneur en matières grasses dans le fromage, telle la pré-acidification du lait dans la préparation du fromage turc kashar (Keceli *et al.*, 2006), ou l'introduction de microparticules protéiques contenues dans le lactosérum afin de mimer l'effet des globules gras entre la matrice de la caséine et le sérum (Abdou *et al.*, 2003; Panayiota & Wilbey, 2007) dans la préparation du halloum en Egypte et en Grèce.

Selon les normes libanaises (LIBNOR, 2001), le halloum demi écrémé doit contenir entre 10 et 25% de matières grasses par rapport à l'extrait sec. Ceci est loin d'être réalisé actuellement par les industries locales à cause de l'inaptitude à retirer le taux de crème nécessaire pour avoir un lait initial à teneur réduite en gras, à l'inaptitude de la maîtrise des conditions et paramètres de production du fromage à faible teneur en gras tout en maintenant les caractéristiques organoleptiques du halloum entier. L'objectif de ce travail est d'optimiser les conditions des principales étapes de la production du fromage halloum dans le but de diminuer les pertes en eau, d'obtenir une texture avec une qualité organoleptique acceptable et de déterminer les points critiques à maîtriser durant le procédé de fabrication afin d'obtenir un halloum demi écrémé conforme aux normes.

MATERIEL ET METHODES

Protocole expérimental. Les facteurs influençant la production du halloum final ont été modifiés en faisant varier le taux de matières grasses MG (0.05-1.4% du lait), le pH (6.61-

6.78), la teneur en CaCl_2 (0.01-0.02%), le taux de lécithine (0.04-0.1%) ou de gélatine dans l'expérience 9 (0.2%), la température de coagulation (28-32 °C), le temps de coagulation (45-60 min) ainsi que le temps de cuisson (5-10 min) résultant en 21 expériences de mode de fabrication du fromage (Tableau 1).

TABLEAU 1

Variations des Etapes Principales du Procédé de Fabrication du Fromage Halloum

Exp.	CaCl_2 (g)	Lécithine (g)	Température de coagulation (°C)	Temps de coagulation (min)	Temps de cuisson (min)
1	4	0	32	45	10
2	4	0	32	45	10
3	4	0	32	45	10
4	4	0	32	45	10
5	4	8	32	45	10
6	4	8	32	45	10
7	4	18	32	45	10
8	4	18	32	45	10
9	4	40*	32	45	10
10	4	20	32	45	10
11	4	0	32	45	10
12	4	8	32	45	10
13	4	0	28	60	10
14	0	0	28	60	10
15	2	0	28	60	10
16	2	0	28	60	10
17	2	0	28	60	8
18	2	0	28	60	5
19	2	0	28	60	8
20	2	0	28	60	5
21	2	0	28	60	8

* : La gélatine remplace la lécithine. Exp. : expérimentation

Les quantités de CaCl_2 , de lécithine et de gélatine ont été ajoutées à 20 kg de lait

Procédé de fabrication. A sa réception, et pour chaque expérience, 20 kg de lait cru est soumis à une séparation de la crème pour l'obtention du lait écrémé. Suivant la teneur en matières grasses désirée, la standardisation est ensuite effectuée par la méthode de "Pearson's Square" en ajoutant de la crème (0.05 à 1.4%) dans le lait initial. L'ensemble est pasteurisé à 72 °C pendant 20 secondes (Pasteurisateur HTST à plaques) puis refroidi à la température de coagulation souhaitée (30 ± 2 °C) par échange de chaleur avec de l'eau congelée. Du CaCl_2 est ajouté au lait avant emprésurage pour restaurer la charge initiale de calcium perdue lors de la pasteurisation. Le taux varie de 0.01 à 0.02%. La dose de lécithine ajoutée varie de 0.04 à 0.1% ; une dose de 0.2% de gélatine a remplacé la lécithine dans l'expérience 9 (Tableau 1).

La présure (0.07 g) est ensuite dissoute et rajoutée au lait; lorsque la température atteint 30 ± 2 °C, le lait est laissé au repos pendant 40 minutes avant d'être testé pour sa

fermeté. La coagulation dure selon les cas 45 à 60 min. Le caillé ou coagulum obtenu est coupé avec précaution et laissé au repos pendant 10 min avant de soutirer le lactosérum. Il est ensuite transporté sur un tissu en coton et placé sous une presse pneumatique assurant une pression de 6 bar pendant 30 min. Le bloc de fromage obtenu est ensuite découpé en portions rectangulaires égales et prêtes à être cuites. La cuisson se déroule par l'immersion de ces portions dans le lactosérum à 95 °C pendant la durée désirée (5 à 10 min). Ces portions sont ensuite immergées dans une saumure à 5% pour une durée de 48 heures.

Analyses physico-chimiques. Pour chaque expérience, le lait et le fromage ont été analysés pour la détermination de l'extrait sec (Halogen Moisture Analyser HR73 – Mettler Toledo) et du taux de matières grasses (Méthode Gerber, AFNOR, 1993). Le pH et l'acidité titrable du lait ont également été mesurés. Chaque bloc de fromage a été divisé en six portions égales où la texture a été mesurée en mm de pénétration de la sonde (2 mm x 70 mm) d'un pénétromètre (Setamatic penetrometer, Stanhope seta).

Evaluation sensorielle. A la suite de chaque expérience, une évaluation sensorielle du produit a lieu selon la méthode du profil (BS, 1980). L'échantillon à évaluer est sorti du réfrigérateur 10 minutes avant l'évaluation. Les évaluateurs, assistants de recherche au nombre de dix, ont été préparés selon les méthodes de discussion ouvertes (BS, 1980). Les échantillons ont été évalués pour leur : salinité, amertume, insipidité, arrière-goût, degré de mastication, acidité, granulosité, élasticité, tendreté, fissuration, couleur et acceptabilité globale selon une échelle de 0 à 10 (BS, 1980).

Analyses statistiques. Une analyse de la composante principale (ACP) a été réalisée en utilisant le programme XLSTAT (2007) afin de rechercher les meilleures corrélations entre n variables aléatoires.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les caractéristiques physico-chimiques du lait et du halloum résultant sont présentés dans le Tableau 2. Le taux de matières grasses dans le fromage augmente linéairement avec celui contenu dans le lait d'origine ($R = 0.97$, $P < 0.01$).

La texture du fromage halloum s'est significativement améliorée avec sa teneur en MG ($R = 0.49$, $P < 0.05$). Ainsi, pour des teneurs entre 16 et 17.5% (expériences 1 à 7), les halloum produits ont une texture allant de 7.08 à 9.05 mm. Le rendement fromager ne semble pas être modifié avec les différentes conditions des 21 expériences. Seul le rapport matières grasses (MG) sur matières sèches (MS) qui permet la classification du halloum (LIBNOR, 2001) a changé d'une manière proportionnelle avec le taux de MG. En effet, ce rapport est fortement corrélé avec la teneur en MG initiale du lait ($R = 0.98$, $P < 0.01$) ainsi qu'avec la teneur en MG du fromage ($R = 0.99$, $P < 0.01$). Lorsque la teneur en MG du lait est inférieure à 0.9%, le rapport MG/MS du fromage résultant est entre 10 et 25 ; Il est classé demi écrémé. Pour les expériences ayant une teneur en MG dans le lait supérieure ou égale à 0.9%, le taux de MG/MS dans le fromage a été supérieur à 25. Le halloum résultant est classé à "gras moyen". Seules les deux expériences 8 et 9 ayant une teneur initiale en MG du lait de 0.05%, présentent un rapport MG/MS inférieur à 10 ; ces produits sont classés en halloum écrémé (LIBNOR, 2001).

TABLEAU 2

Caractéristiques Physico-Chimiques du Fromage Halloum Produit avec des Teneurs Variables en Matières Grasses (MG)

Exp.	Lait		Fromage					
	MG (%)	pH	Poids (kg)	Rdt (%)	MS (%)	MG (%)	MG/MS	Texture (mm)
1	1.4	6.65	2.21	11.05	43.0	17.5	40.41	7.08
2	1.3	6.67	2.09	10.95	43.1	16.5	38.28	9.05
3	1.4	6.68	2.26	11.30	42.4	17.0	40.09	7.83
4	1.4	6.68	2.25	11.25	44.7	17.5	39.68	7.71
5	1.3	6.65	2.23	11.15	42.9	16.5	38.40	7.16
6	1.25	6.63	2.20	11.00	43.5	16.0	36.70	9.45
7	1.0	6.62	2.21	11.05	46.2	16.0	34.60	7.51
8	0.05	6.62	2.39	10.70	42.7	1.5	3.50	6.28
9	0.05	6.62	2.39	11.95	39.8	1.0	2.51	6.28
10	0.9	6.74	2.39	11.95	44.0	9.0	20.46	5.60
11	0.9	6.75	2.36	11.80	45.4	12.5	27.53	5.78
12	0.85	6.75	2.23	11.15	44.7	11.0	24.50	7.10
13	0.8	6.75	2.24	11.20	46.9	10.0	21.32	6.16
14	0.8	6.74	2.28	11.40	48.2	11.0	22.80	6.36
15	0.8	6.66	2.22	11.10	45.7	11.0	24.07	8.95
16	0.75	6.64	2.27	11.35	41.2	10.0	24.29	7.21
17	0.75	6.64	2.30	11.50	42.8	10.3	23.97	7.85
18	0.8	6.61	2.15	10.75	47.8	11.0	23.00	4.26
19	0.8	6.61	1.96	9.80	48.0	12.0	25.00	4.33
20	0.7	6.78	2.09	10.45	46.2	10.0	21.63	5.71
21	0.7	6.78	1.94	9.70	45.9	9.0	19.59	5.11

Exp. : expérimentation ; MG : matières grasses ; MS : matières sèches ; Rdt : rendement fromager

L'analyse des résultats montre que les conditions techniques de production du fromage dans les expériences 2, 7, 17 et 20 sont représentatives de l'ensemble des expériences et des résultats physico-chimiques. Ces expériences sont analysées deux à deux par la méthode de profil pour les caractéristiques sensorielles (Tableau 3). Ainsi, la comparaison des expériences 2 et 20 est basée sur des différences au niveau du procédé de fabrication (CaCl₂, température de coagulation et de cuisson), de la teneur en MG du lait (1.3 et 0.7%) aboutissant à deux catégories du halloum (modéré et demi écrémé) ainsi que de l'acceptabilité du fromage classée parmi les meilleurs. Cette comparaison montre une couleur blanche plus marquée avec l'expérience 2 (7.4) qui est plus riche en MG et par la suite fait disparaître la coloration verdâtre de la riboflavine (R = 0.8, P<0.01) ; une texture plus sèche et une fissuration plus importante du fromage de l'expérience 20 par rapport à l'expérience 2 (5.71 contre 9.05 mm de pénétration respectivement) à cause de la différence dans la teneur en MG des deux fromages. Par la suite, la teneur en matières grasses se montre en corrélation positive avec l'acceptabilité du fromage (R = 0.80, P<0.05), sa texture (R = 0.84, P<0.05), sa tendreté (R = 0.82, P<0.01) et son élasticité (R = 0.80, P<0.01), résultats en accord avec ceux de Drake *et al.* (1996). L'augmentation de la teneur en MG tend à amollir la texture du fromage en augmentant sa tendreté et par conséquent à diminuer sa consistance caoutchouteuse. Par

contre, la teneur en MG est corrélée négativement à la granulosité et au degré de mastication fromage ($R = -0.61$ et -0.79 respectivement, $P < 0.01$) ; Ceci est clairement observé avec les expériences 8 et 9 qui montrent une qualité organoleptique la plus médiocre due à un taux faible de MG du lait (0.05%), d'où un degré de mastication élevé du fromage (9.0 et 8.6 respectivement) et une acceptabilité globale très faible (1).

La comparaison des expériences 7 et 17 est basée sur des différences de la teneur initiale du lait en MG (1 et 0.75 % respectivement), du procédé de fabrication (température de coagulation, temps de cuisson), de l'utilisation ou non des additifs résultant en une acceptabilité globale différente (2.2 contre 5.8 respectivement). La comparaison de l'analyse sensorielle montre de grandes variations des attributs. En effet, l'utilisation de la lécithine dans l'expérience 7 en tant qu'émulsifiant de la MG et d'amélioratrice de l'incorporation d'eau a amélioré la texture, les blocs de fromage résultant étaient exempts du moindre dessèchement (Drake *et al.*, 1996) ; toutefois, elle a contribué à l'apparition d'une amertume (3.0), d'un arrière-goût (7.6) et d'une acidité remarquable dans le fromage (4.2). La non utilisation de la lécithine dans l'expérience 17 donne une amertume et un arrière-goût négligeables (1.0) et un fromage classé parmi les meilleurs du point de vue acceptabilité (5.8) malgré une teneur plus faible en matières grasses (34.6 et 23.97 % de MG/MS respectivement). Ainsi, et du point de vue sensoriel, les expériences effectuées peuvent être classées en deux catégories : avec ou sans lécithine. En effet, les expériences où la lécithine a été utilisée (5, 6, 7, 8, 10 et 12) montrent une faible acceptabilité (entre 1 et 4). Cette faible acceptabilité a été également notée avec l'utilisation de la gélatine (expérience 9) ; cette dernière n'aurait même pas intégré le réseau de caséine du coagulum et a abouti à de mauvaises caractéristiques organoleptiques se résumant en une acceptabilité globale de 1.0. La faible acceptabilité a été également notée pour les expériences 18 et 19 (2.4 et 2.6), expliquée par une granulosité et une consistance caoutchouteuse très élevées. Le reste des expériences a montré une bonne acceptabilité (allant de 4.6 à 6.8) malgré des taux très variables de la teneur en matières grasses (21.63 à 40.41 % de la matière sèche).

Par ailleurs, le chlorure de calcium s'est montré en corrélation négative avec le temps de coagulation ($R = -0.85$, $P < 0.01$). L'apport supplémentaire de CaCl_2 au lait favorise la déstabilisation provoquée par la présure ou le chauffage et par conséquent accélère la formation du gel tout en diminuant le temps de coagulation (Veisseyre, 1975). Une augmentation de la teneur en ions Ca^{++} accompagnée d'une élévation de la température, a une influence positive sur la réduction du temps de coagulation et l'augmentation de la fermeté du gel, résultats en accord avec ceux de Scott *et al.* (1998) ; cette équivalence reste vraie dans l'intervalle 30 à 40 °C (Dib *et al.*, 1990). A partir de l'expérience 15, la dose de CaCl_2 a diminué de moitié, accompagnée d'une diminution de la température de coagulation de 32 à 28 °C, ce qui a provoqué un prolongement du temps de coagulation (Mahaut *et al.*, 2000) favorable pour augmenter la rétention d'eau avant d'arriver à l'étape de cuisson.

L'attribut de coloration blanche a toujours été supérieur à 4.6 à l'exception des expériences 8 et 9 (1.6 et 1.8) où la teneur en MG du lait est de 0.05 ; ceci a abouti à une coloration jaune pâle du fromage due à la cuisson à une température élevée. La valeur faible attribuée à la couleur du fromage de l'expérience 10 (2.2) serait expliquée par l'effet de la lécithine associé à un temps de cuisson élevé (10 min).

A partir de l'expérience 13 (MG = 0.8%) où la température de coagulation (28 °C) et le temps qui lui est associé (60 min) ont été modifiés, une amélioration de la texture a été

observée visuellement par une diminution du dessèchement interne du fromage. Suite à cette modification, un autre facteur est entré en jeu, le temps de cuisson. Sa diminution de 10 à 8 et 5 min, à partir de l'expérience 17, a favorisé la disparition complète de tout dessèchement interne. L'acceptabilité, physico-chimique et sensorielle, des produits issus des expériences 17, 20 et 21 semble être la meilleure (5.4 à 5.8).

TABLEAU 3

Analyse Sensorielle des Fromages Halloum Produits Utilisant une Echelle de 0 à 10

Exp	S	Am	I	AG	Ac	M	Gr	E	T	F	C	Acceptabilité globale
1	5.8	1.0	1.0	1.0	1.0	4.2	4.8	4.2	4.6	4.6	5.0	5.0
2	4.8	1.0	1.0	1.0	1.0	4.8	4.8	5.6	5.6	2.2	7.4	6.8
3	4.6	1.0	1.4	1.0	1.0	4.8	5.0	4.6	4.6	2.8	7.0	4.8
4	4.6	1.0	1.2	1.0	1.0	5.0	5.0	4.6	4.4	3.0	6.6	5.0
5	4.2	5.4	3.2	6.2	1.8	5.8	1.4	5.4	4.8	5.0	6.2	3.6
6	4.2	3.6	2.4	4.6	1.0	5.0	2.2	4.4	4.2	5.2	5.4	3.4
7	4.6	3.0	1.0	7.6	4.2	4.6	4.2	4.2	5.0	4.8	4.8	2.2
8	5.0	5.8	5.2	6.6	1.6	9.0	7.2	3.0	2.0	4.4	1.6	1.0
9	5.4	5.6	2.2	7.2	1.6	8.6	9.4	3.2	2.6	5.8	1.8	1.0
10	5.4	5.0	4.8	6.4	1.2	5.0	1.6	5.2	5.2	4.6	2.2	4.0
11	5.0	1.0	1.8	1.0	1.2	4.6	5.0	3.8	4.2	5.6	4.8	4.6
12	5.2	2.2	5.4	6.4	1.4	4.6	5.6	3.8	4.4	7.4	5.2	2.8
13	5.2	1.0	1.8	1.6	1.0	6.6	6.2	3.4	2.8	4.2	5.2	4.8
14	5.4	1.0	1.6	1.4	1.0	5.6	5.6	3.4	4.2	4.0	4.8	4.6
15	5.4	1.0	1.0	1.0	1.2	5.8	4.8	4.2	6.0	5.6	5.8	5.2
16	5.6	1.0	1.0	1.0	2.0	5.0	5.6	4.8	5.4	4.2	5.4	4.6
17	6.6	1.0	1.0	1.0	1.6	5.2	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.8
18	5.6	1.0	1.0	1.0	1.0	6.4	7.2	2.4	2.6	3.4	5.0	2.4
19	5.6	1.0	1.2	1.0	1.6	6.4	6.6	2.6	2.6	3.0	4.6	2.6
20	5.2	1.0	1.0	1.0	1.4	5.2	5.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.4
21	5.4	1.0	1.0	1.0	1.4	5.4	5.2	2.8	3.6	4.2	4.6	5.4

Ac : acidité ; AG : arrière-goût ; Am : amertume ; C : couleur blanche ; E : élasticité ; Exp : expérimentation ; F : fissuration ; Gr : granulosité ; I : insipidité ; M : mastication ; S : salinité ; T : tendreté. Echelle suivie : 0 à 10 (BS, 1980).

Une analyse de la composante principale (ACP) montre dans la Figure 1 la contribution des axes F1 et F2 à 59.3% des variations et les corrélations significatives entre les facteurs. Cette ACP permet de classer les expériences suivant leurs points communs par rapport aux facteurs et l'on distingue quatre catégories : (i) la première renferme les expériences 1, 2, 3, 4 et 11, fournissant un halloum modéré et dont l'acceptabilité est bonne (>4.6) et contribue à l'axe principal F1, (ii) la seconde catégorie inclut les expériences 5, 6, 7, 10 et 12, qui contiennent la lécithine et sont plus proches de l'amertume et de l'arrière goût ; l'acceptabilité est inférieure à 3.6 et contribue à l'axe F2, (iii) la troisième renferme les expériences 8 et 9 très corrélées aux facteurs granulosité et mastication ; l'acceptabilité est plus faible (1) et les produits résultant sont classés en halloum écrémé ; elle contribue à l'axe F1, (iv) la quatrième catégorie renferme les expériences 13 à 21 ; le halloum est classé demi écrémé, et l'acceptabilité varie entre 2.4 et 5.8 ; elle contribue à l'axe F2.

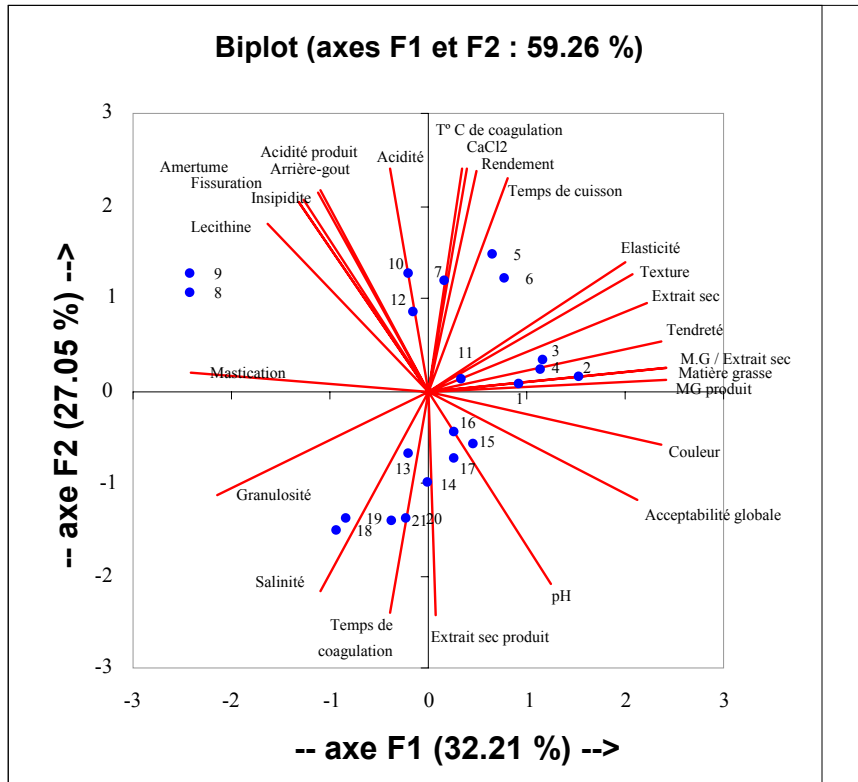


Figure 1. Résultats de l'analyse de la composante principale (ACP) montrant le classement des expériences en fonction des paramètres physico-chimiques et sensoriels.

CONCLUSION

La standardisation de la teneur en MG dans le lait initial (< 0.9%) aboutit à produire un halloum demi écrémé. La lécithine a bien joué son rôle d'émulsifiant de la MG mais elle a donné une amertume et un arrière goût refusés par le consommateur. Le chlorure de calcium, en forte corrélation avec la température et le temps de coagulation, diminue la synérèse par une plus grande capacité de rétention d'eau au niveau du caillé, prévenant ainsi le dessèchement surtout observé au niveau du pli interne du halloum demi écrémé. Le meilleur temps de cuisson serait de 5 à 8 min. D'autres expériences peuvent être élaborées sur la nature des additifs incorporés dans les fromages à MG réduite telle la lécithine ou autres afin d'éliminer le goût amer ou l'arrière goût provoqués par ces derniers.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le CNRS Libanais pour avoir financé ce travail.

REFERENCES

- Abdou, S.M., Shenana, M.E., Osman, S.G., Sadek, A.M. 2003. Production of low-fat halloumi cheese. *Egyptian J. Dairy Sci.*, 31: 101-110.
- British Standard Institute 1980. *Flavor profile method*. Part 4, London: British Standards Institute.
- Dib, H., Morris, A., Warren, P. 1990. Development of standard methods for the production of Lebanese whole milk and filled milk soft white cheese. *Tropical Sci. J.*, 30: 109-119.
- Drake, M.A., Herrett, W., Boylston, T.D., Swanson, B.G. 1996. Lecithin improves texture of reduced fat cheeses. *J. Food Sci.*, 61(3): 639-642.
- Keceli, T., Sahan, N., Yasar, K. 2006. The effect of pre-acidification with citric acid on reduced fat Kashar cheese. *Aust. J. Dairy Technol.*, 61: 32-36.
- LIBNOR 2001. Normes de mesures libanaises, n° 222.
- Mahaut, M., Jeantet, R., Brule, G. 2000. *Initiation à la technologie fromagère*. Ed : TEC et DOC, Lavoisier, Paris, France.
- Panayioti, T., Wilbey, R.A. 2007. Effects of fat on the properties of halloumi cheese. *Int. J. Dairy Technol.*, 60 (1): 1-4.
- Papademas, P., Robinson, R.K. 2000. A comparison of the chemical, microbiological and sensory characteristics of different types of halloumi cheese. *Int. Dairy J.*, 10 (11): 761-768.
- Scott, R., Robinson, R.K., Wilbey, R.A. 1998. *Cheesemaking practice*. 3rd Ed, Aspen Publishers, Inc., UK.
- XLSTAT, version d'Excel 2007.8.03. Data analysis solution. Addimsoft 1995-2007.
- Veisseyre, R. 1975. *Technologie du lait*. 3^{ème} éd., La maison rustique, Paris, France.