

Tableau 1. Tonnage et proportion de la production des principales familles de fromage en France en 2008 (CNIEL, 2009).

		Tonnage	% tonnage des fromages au lait de vache	% tonnage tous types de fromages
Fromages au lait de vache	Fromages frais	644 205	38	
	Fromage à pâte molle	444 776	26	
	Fromage à pâte pressée non cuite	226 592	13	
	Fromage à pâte pressée cuite	319 335	19	
	Fromage à pâte persillée	36 749	2	
	Fromage à pâte filée	31 332	2	
Total des fromages au lait de vache		1 702 989	100	88
Fromages au lait de chèvre		78 269		4
Fromages au lait de brebis		56 604		3
Fromages fondus		101 089		5
Total production de fromages		19938952		100

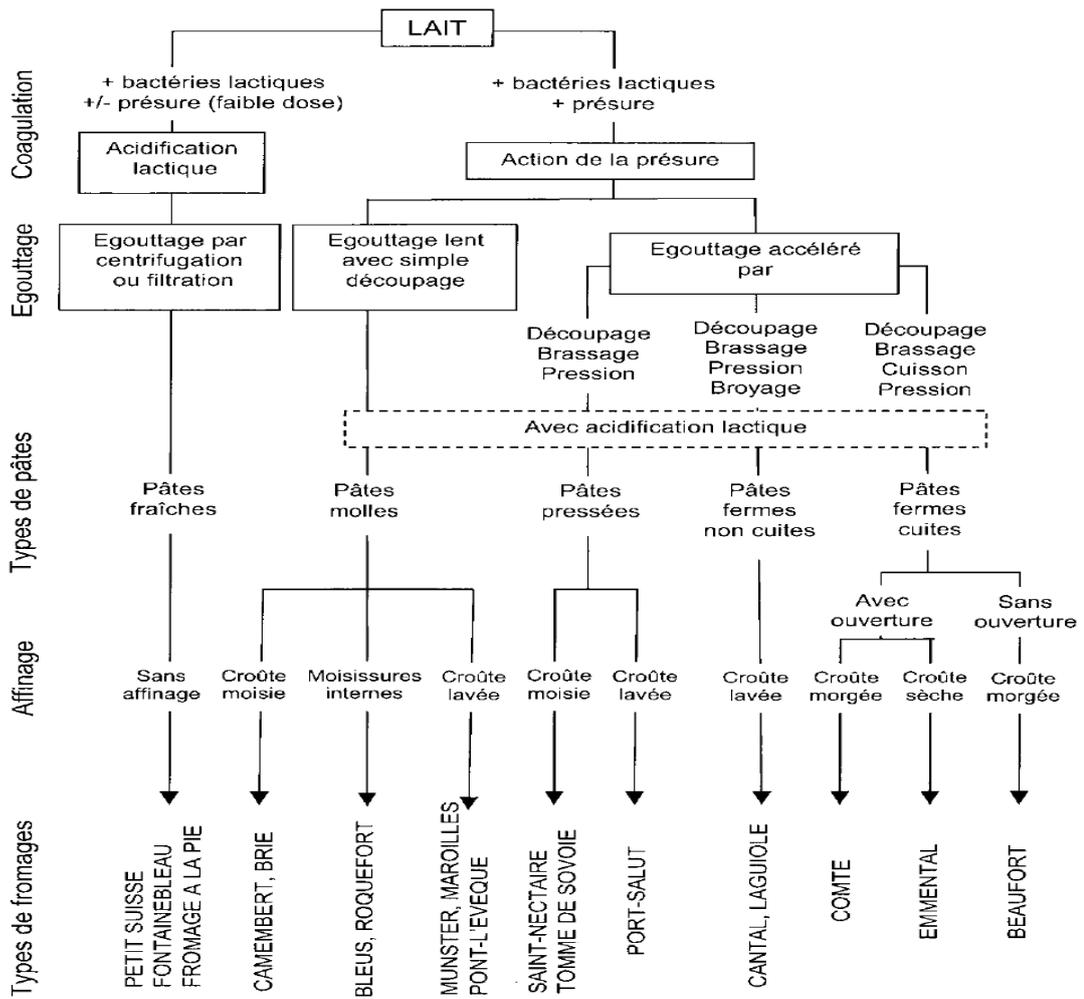


Figure 1. Classification technologique des fromages (D'après Lenoir *et al.*, 1985).

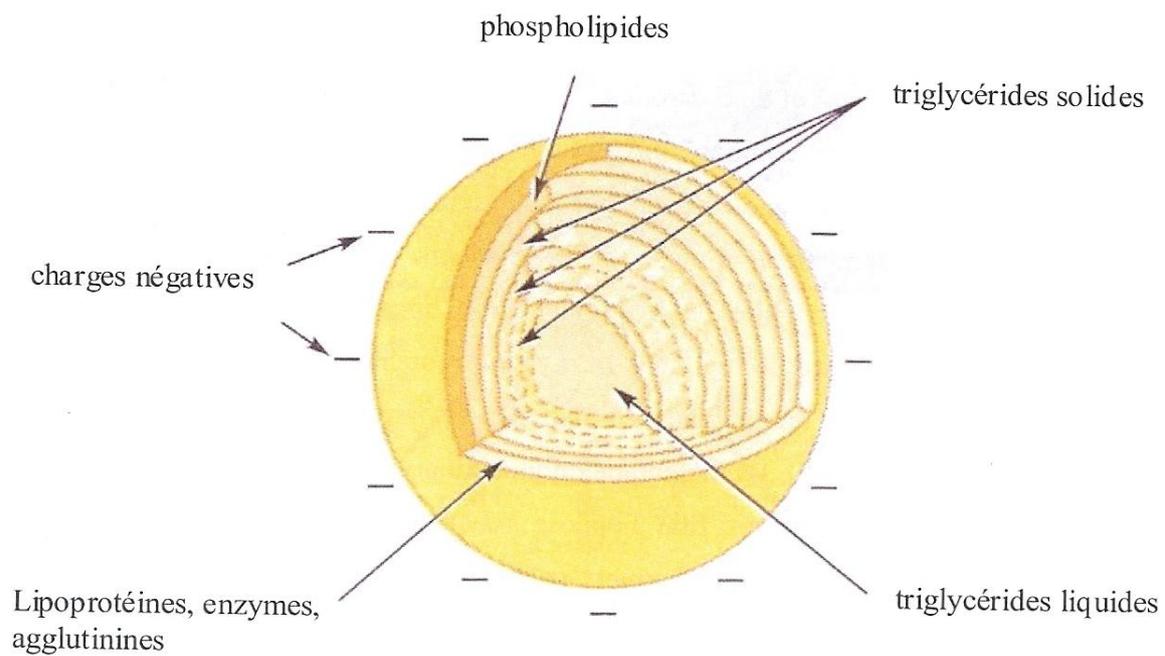
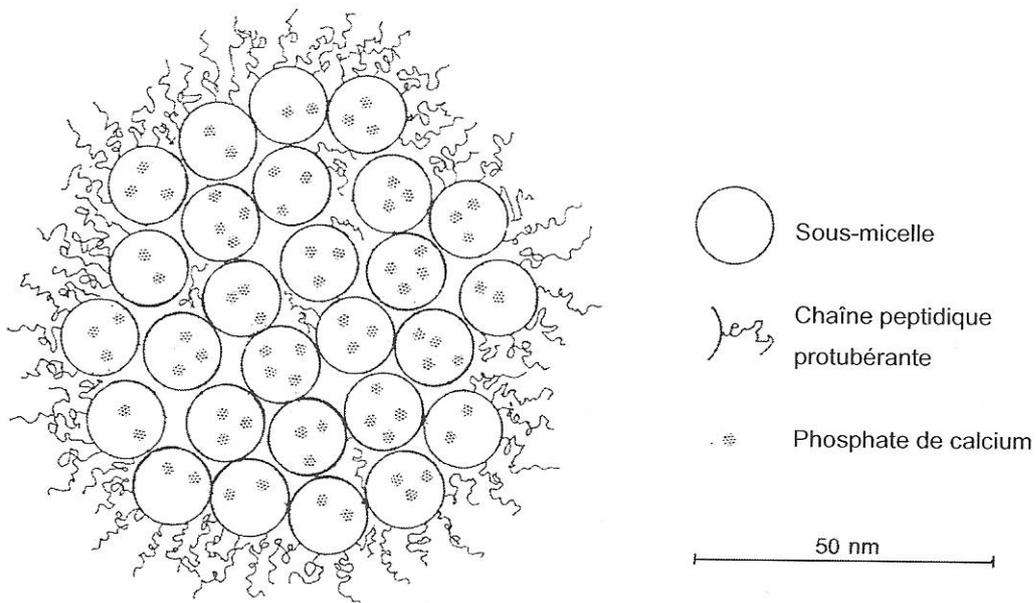
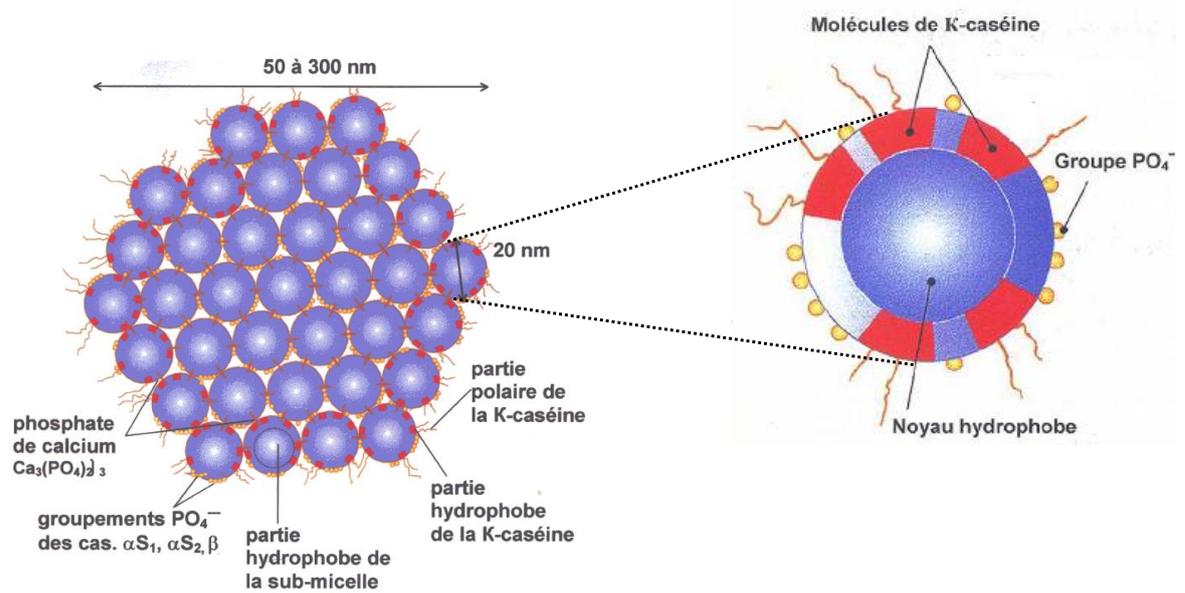


Figure N°2 : structure d'un globule de matière grasse (Amiot et al., 2002)

a)



b)



Modèle de Schmidt (1982)

Figure n°3 : Modèle de caséine (Walstra, 1999 (a) et Schmidt (b))

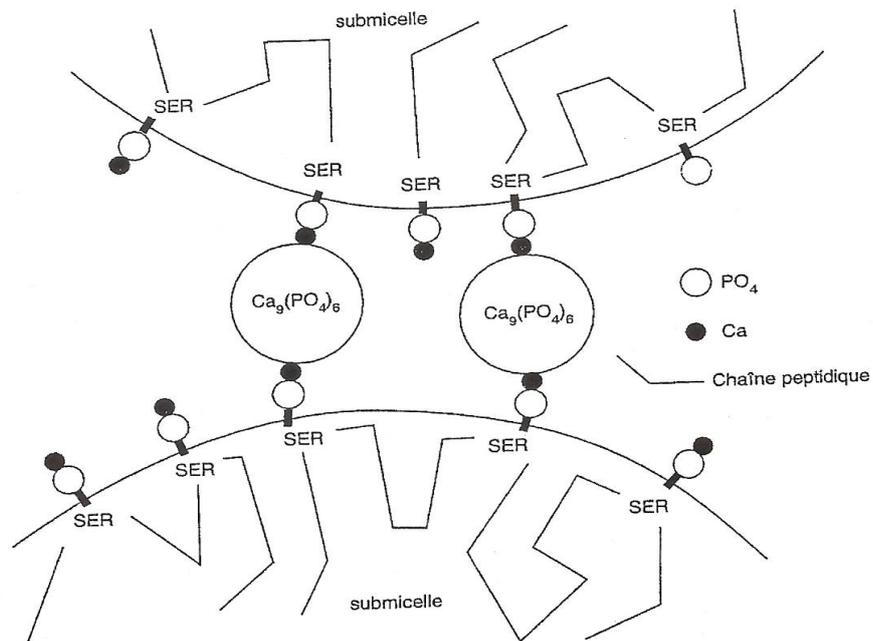


Figure n°4 : Pontage de 2 submicelles par le phosphate de calcium (Schmidt, 1982)

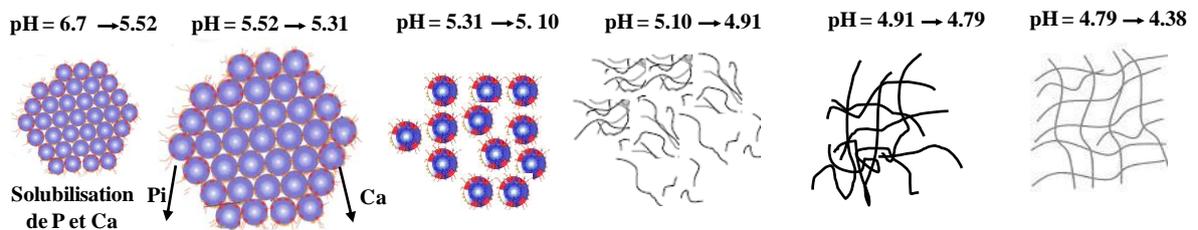


Figure n°5 : Evolution de la structure de la caséine au cours de la coagulation acide (30°C)

Tableau n° 2 : Technologie des fromages à pâte persillée (extrait des cahiers des charges actualisés)

	Bleu d'Auvergne 29/12/1986 Révision 23/06/2011	Bleu des Causses 29/12/1986, révision 08/07/2011	Fourme d'Ambert 22/02/2002, révision 07/07/2010	Fourme de Montbrison 22/02/2002 Révision 24/11/2010
conservation du lait à la ferme	48 heures maxi	48 heures maxi	48h maxi	48h maxi
Traitement du lait	Cru ou thermisé ou pasteurisé	Cru ou traité thermiquement	Cru ou Traitement thermique	Cru ou Traitement thermique
Normalisation du lait	Cru ou normalisé MG	Lait cru non normalisé	Cru ou normalisé MG	Cru ou normalisé MG
Homogénéisation du lait	autorisée	non	autorisée	Non
Prématuration	Avec ou sans ferment, 24h après réception 6 à 14°C, 4h	Non spécifié	maturation autorisé	maturation autorisé
Emprésurage	Présure 30 à 34°C	Présure, 36h maxi après réception, 31 à 35°C	Présure 30 à 35°C	Présure 29 à 34°C
Ingrédients, additifs,auxiliaires autorisés	Penicillium Roqueforti, ferments, chlorure de calcium, sel	Penicillium Roqueforti, ferments, chlorure de calcium, sel	Penicillium Roqueforti, ferments, chlorure de calcium, sel	Penicillium Roqueforti, ferments, chlorure de calcium, sel
Découpage caillé	Non spécifié	Cube 1 à 3 cm	Cube 1 à 2cm	Cube à 0,5 à 1cm
Brassage, repos	Grain de maïs à noisette, coiffé*	Grain coiffé *	Grain de maïs	Grain de blé
Egouttage	oui	Cuve et/ou tapis	tapis	Léger pressage autorisé
Emiettage, salage	Non	Non	Non	Oui, salage dans la masse
Moulage Egouttage	72h maxi Temp. Permettant un pH 5 à la fin spontané retournement	15 à 22°C, 36 à 72 h Spontané retournement	18 à 25°C, 24 à 48h spontané retournement	18 à 25°C, 18 à 48h Spontané retournement
Mise en température	Non spécifié	7 à 14°C, 15 à 30h	Non spécifié	Non spécifié
Démoulage, salage	Frottage ou saupoudrage de sel 14 à 22°C	Dépôt superficiel de sel, 7 à 14°C	Saumurage et/ou sel sec	Léger salage extérieur
Repos spécifique Pour migration pigmentaire	Non	Non	Non	Sur chéneaux en bois de résineux 18 à 22°C, 6j ,
Piquage pour développement du Penicilium	Maxi 10 j/date d' emprésurage	Entre le 5 et 12 ^{ème} jours /date d' emprésurage	A partir du 4 ^{ème} j/date d' emprésurage 6 à 15°C	A partir du 10 ^{ème} j/date d' emprésurage
Mise en cave	Affinage 15j 6 à 12°C 90 % HR	Cave naturelle avec « fleurines » 10jours	Affinage 17j 6 à 12°C 90 à 98% HR	Affinage 15j mini 6 à 12°C 90 à 98% HR
Finition	Conservation 0 à 6°C Delai 28j/date emprésurage (4s)	Emballage anaérobie,-4 et 4°C, 70j /date emprésurage(10s)	Conservation 0 à 6°C Delai 28j/date emprésurage (4s)	Conservation 2 à 6°C Delai 32j/date emprésurage (4,5s)

*grain coiffé : entouré d'une fine pellicule les empêchant de se souder entre eux

Tableau n° 3 : Caractéristiques d'aspect et sensorielle des fromages à pâte persillée (extrait des cahiers des charges actualisés)

	Bleu d'Auvergne 29/12/1986 Révision 23/06/2011	Bleu des Causses 29/12/1986, révision 08/07/2011	Fourme d'Ambert 22/02/2002, révision 07/07/2010	Fourme de Montbrison 22/02/2002 Révision 24/11/2010
Forme	Cylindre plat Diamètre 19 à 23cm Hauteur 8 à 11cm	Cylindre plat Diamètre 19 à 21cm Hauteur 8 à 12cm	Cylindre Diamètre 12,5 à 14cm Hauteur 17 à 21cm	Cylindre Diamètre 11,5 à 14,5cm Hauteur 17 à 21cm
Poids	2 à 3 kg	2,2 à 3,3 kg	1,9 à 2,5 kg	2,1 à 2,7 kg
Surface	Sans mouillère ni exsudation Couleur non uniforme Moisissures blanches, grises, vertes, bleus, noires	Sans morge excessive, ni tâche	Fine croûte sèche, fleurie Gris clair à gris Moisissures blanches, jaunes et rouges, reflets bleutés	Sèche, fleurie Couleur orangée Moisissures blanches, jaunes et rouges
Aspect de la pâte	Blanche à ivoire avec ouvertures	Blanc ivoire Couleur uniforme	Blanc à crème	Crème
Texture	Fondante, onctueuse, fine	Onctueuse, fine	Souple, onctueuse	Peu d'ouverture Homogène, légèrement ferme et fondante
Persillage	Régulièrement réparti Couleur bleu à vert Persillage de grosseur de grain de blé à grain de maïs	Régulièrement réparti bleu verdâtre	Régulièrement réparti Couleur bleu à vert	Marbré bleu clair
Goût	Intense, typé, équilibré Arôme de bleu, de sous-bois, champignons Légère pointe de sel et d'amertume	Franc, savoureux, légère amertume Sans piquant excessif Pas d'excès de sel	Saveur fine, parfumée Goût de laitage saveur de pénicillium Goût Typé fruité Pointe de sel Légère amertume	Saveur fine, parfumée, laitage fruité, caractère bleu peu marqué, doux Pointe de sel Légère amertume

Tableau n°4 : Composition chimique des fromages à pâte persillée (extrait des cahiers des charges actualisés).

	Bleu d'Auvergne 29/12/1986 Révision 23/06/2011	Bleu des Causses 29/12/1986, révision 08/07/2011	Fourme d'Ambert 22/02/2002, révision 07/07/2010	Fourme de Montbrison 22/02/2002 Révision 24/11/2010
Matière sèche % produit frais	≥ 51	≥ 53	≥ 50	≥ 52
Matière grasse % MS	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 52

Les fromages étudiés

Fourme d'Ambert n=8

Fourme de Montbrison n=4

Bleu d'Auvergne n=4

Bleu des Causses n=4

Échantillons n=20

Les fromages à PP



Photo : Les fromages à pâte persillés étudiés.

Tableau n°5 : Some functional characteristics of un-heated cheese and associated levels of rheological measurements (Guinee, 2002).

Functional characteristic	Description	Cheese type and application	Related rheological properties	Desirable levels of rheological measurements obtained from large scale deformation testing ¹
Shreddability	Ability of cheese to: – be cut cleanly into long thin strips (typically cylindrical shaped; 2.5 cm long; 0.6 cm diameter) – resist sticking, matting or clumping during shredding or when loosely packed – low susceptibility to fracture or form curd dust during shredding	<ul style="list-style-type: none"> • Low moisture mozzarella, swiss-type • Shredded cheese for retail, catering, pizza 	Elasticity, longness; low adhesiveness	E: high; ϵ_f : high σ_{max} : medium-high
Sliceability	Ability to be cut cleanly into slices which do not break or fracture at edges (on touching packing equipment), and which can undergo a strong degree of bending before breaking	<ul style="list-style-type: none"> • Swiss-type cheese, gouda • Cheese slices for sandwiches, salads 	Elastic, 'long' with low susceptibility to fracture	E: high; ϵ_f : high σ_{max} : medium-high
Gratability	Ability to fracture easily into small hard particles which have a low tendency to matt during shearing, crushing, fluidisation or piling	<ul style="list-style-type: none"> • Hard brittle cheeses e.g. parmesan, romano-type • Cheese for drying and sprinkling 	Hard, brittle cheeses with low tendency to stick	σ_f : high ϵ_f : low σ_{max} : high
Spreadability	Ability to spread easily when subjected to a shear stress	<ul style="list-style-type: none"> • Mature camembert and brie, single cream cheese • Cheese for crackers 	Soft, relatively 'long' cheese, adhesive cheese	ϵ_f : high σ_{max} : low
Crumbliness	Ability to fracture easily into large irregular shapes semi-soft when rubbed	<ul style="list-style-type: none"> • Feta, blue cheese, stilton, cheshire • Tossed salads, crêpes au fromage 	Medium-soft, brittle cheese which breaks into irregular shaped pieces	ϵ_f : high σ_{max} : medium-low

¹ Rheological terms relating to large strain deformation using uniaxial compression tests: E, Compression or elastic modulus; ϵ_f , fracture strain; σ_f , fracture stress; σ_{max} , firmness.

Tableau n°6 : Rheologicals properties and sensory of cheese used as ingredient (Guinee, 2002).

Types of properties	Description	Measurements ¹
Elasticity and related types (springiness, rubberiness)	Tendency of cheese to recover to original dimensions following removal the applied stress (σ , force per unit surface area)	Compression modulus (E)
Fracturability	Tendency of cheese to fracture into pieces when stress (σ) is applied, e.g. during compression or extension	Fracture stress (σ_f) Fracture strain (ϵ_f)
– brittleness (shortness crumbliness)	Tendency to fracture into pieces at a low deformation or displacement (strain; ϵ) (i.e. after a low percentage compression). Low deformation at fracture – low ϵ_f	
– Longness	Tendency to fracture at a large deformation – high ϵ_f Resistance of a cheese to be deformed (e.g. compressed) when subjected to a stress (σ)	
Firmness		
– Firm	High resistance to deformation – high σ	Firmness (σ_{max}) – stress (σ) required to achieve a given compression/extension
– Soft	Low resistance to deformation – low σ	
Adhesiveness	Tendency to be sticky and resist separation from a material it contacts	

References used in compilation: Visser (1991); Fox et al. (2000).

¹ Measurements obtained from large strain deformation tests, as in compression testing using a texture analyser.

Tableau n°7 : Fonctionnal properties of heated cheese which affect its functionality as ingredient (Guinee, 2002).

Types of properties	Description	Examples of Measurements
Meltability	Tendency of cheese to soften on heating	Empirical: Dropping point, defined as temperature at which first drop of melted sample (oil) falls from orifice of a sample holder under defined conditions. Objective: Change in magnitude of storage modulus (G') or loss modulus (G'') on heating, as measured using low amplitude strain oscillation rheometry
Flowability	Tendency of heated cheese to spread spontaneously, when unrestricted, during heating	Empirical: percentage increase in a dimension (e.g. diameter of a disc, length of a tube) of sample on heating; examples: Schreiber test; Price/Olson test Objective: increase in phase angle (δ) or G' on heating, as measured using low amplitude strain oscillation rheometry
Flow resistance	Tendency of heated cheese sample to retain original dimensions, when unrestricted, during heating	As for flowability
Stretchability	Tendency of heated cheese to form strings and/or sheets when extended uniaxially	Empirical: length of strings/sheets of heated cheese at failure when subjected to a uniaxial extension force
Oiling-off (surface sheen)	Tendency of heated cheese to exude oil on heating	Quantity of oil extractable from cheese on mixing a defined weight with water:methanol at 70°C, and centrifuging, under defined conditions
Chewiness	Tendency of cheese to resist breakdown during mastication (i.e. requiring much mastication energy for cheese/saliva mixture to form a bolus of a consistency suitable for swallowing).	Empirical: the distribution of cheese solids retained on sieves of different aperture in a nested stack of discs through which is poured a homogenate of heated-and-cooled cheese and water.

References used in compilation: Kindstedt and Rippe (1990); Rügge et al. (1991); Guinee and O'Callaghan (1997), Metzger and Barbano (1999), Guinee et al. (2000b).

Tableau n°8 : Fonctionnal attributes of heated cheese required in different applications (Guinee, 2002).

Functional characteristic	Cheese type and application
Good Meltability	<ul style="list-style-type: none"> All natural cheeses All heated cheese dishes.
Moderate – High Flow	<ul style="list-style-type: none"> Most natural cheeses, ranging from moderate when young to high when mature; mature reduced-fat cheese; customised PCPs and ACPs Most heated cheese dishes, e.g. pizza and toasted sandwiches (moderate), cordon-bleu poultry entrées, fondues, sauces (high)
Flow resistant (very low-, or no-, flow)	<ul style="list-style-type: none"> Acid-heated coagulated cheeses, e.g. queso-blanco type, paneer; Natural cheeses where milk has been high heat treated: e.g. some cream cheeses; Low fat cheddar; customised PCPs and ACPs Deep-fried 'battered' cheese sticks; fried cheese (e.g. fried paneer); cheese insets in burgers; others
Stretchability	<ul style="list-style-type: none"> low moisture part-skim mozzarella, young (<3 month old) provolone and kaskaval Pizza
Oiling-off	<ul style="list-style-type: none"> Most cheeses apart from low-fat types and those made from homogenised milks Applications where cheese is exposed to hot air during cooking. e.g. pizza: lasagne.

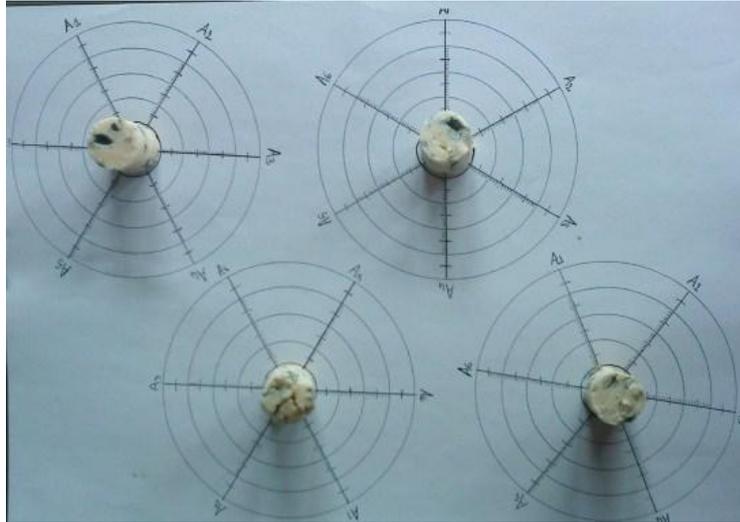


Figure n°6 : représentation de la mesure pour un Test de Schreiber

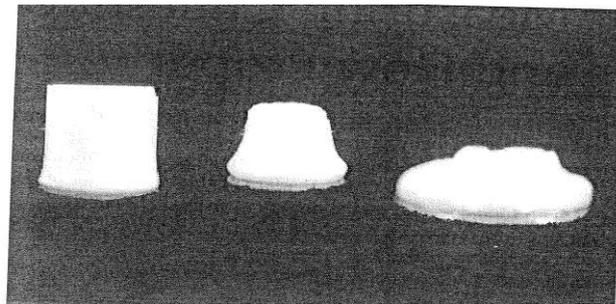


Figure n°7 : représentation d'un Test de Arnott

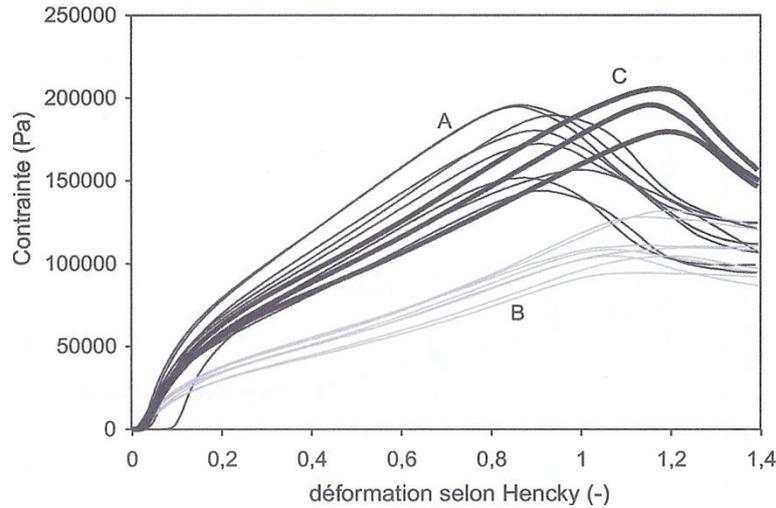
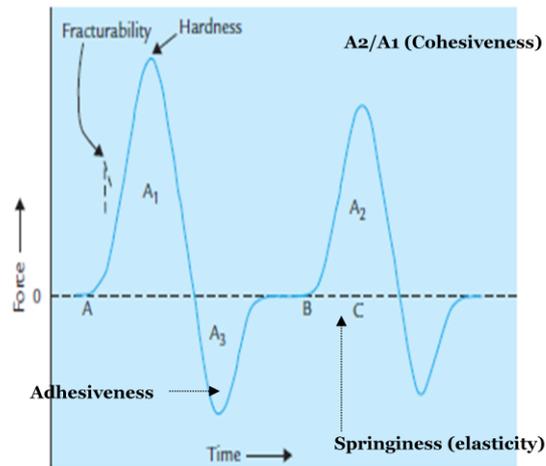
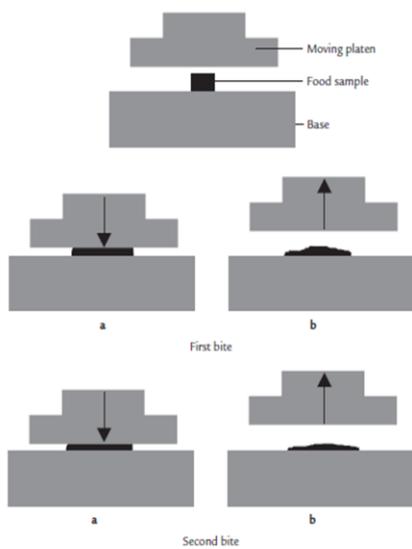


Figure n°8 : Courbe de compression uniaxiale pour 3 fromages Emmental français: une phase linéaire de déformation ($< 0,1$), une phase d'écoulement puis une phase de rupture (Famelard et al, 2002)



Gumminess = hardness x cohesiveness (Energie nécessaire à la désintégration de l'aliment)

Chewiness = Gumminess x Springiness (Energie nécessaire à la mastication de l'aliment)

(A)

(B)

Figure n°9. (A) Méthode de double compression TPA (Texture Profil Analysis) et (B) Allure générale du profil de texture TPA.

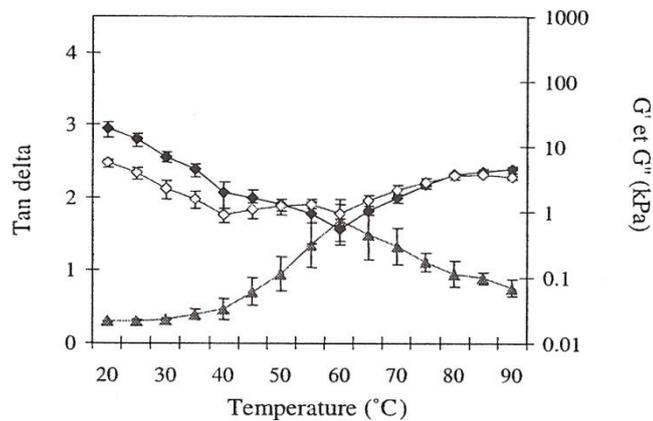
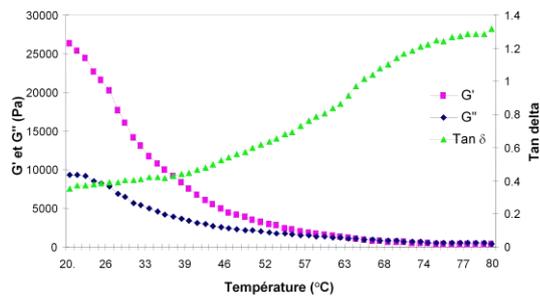
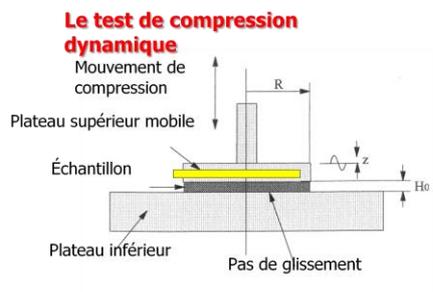


Figure n°10 : Courbe de test de cisaillement dynamique avec balayage température sur des fromages expérimentaux de type pâte pressée (n=10 Mamirolle) (triangle : $\tan\delta$, losange plein : G' , losange vide : G'') (Reparet et al 2003)



Ex : Paramètres rhéologiques d'une raclette



Terme	Symbole	L'information fournie
La composante élastique	G'	Permet de mesurer l'état de la structure d'un matériau
La composante visqueuse	G''	Mesurer le comportement de type visqueux
Angle de phase	$\tan \delta$	$= G''/G'$ (viscoélasticité)
Complexité viscosité	η^*	Écoulement viscoélastique

Photo : Test de compression dynamique

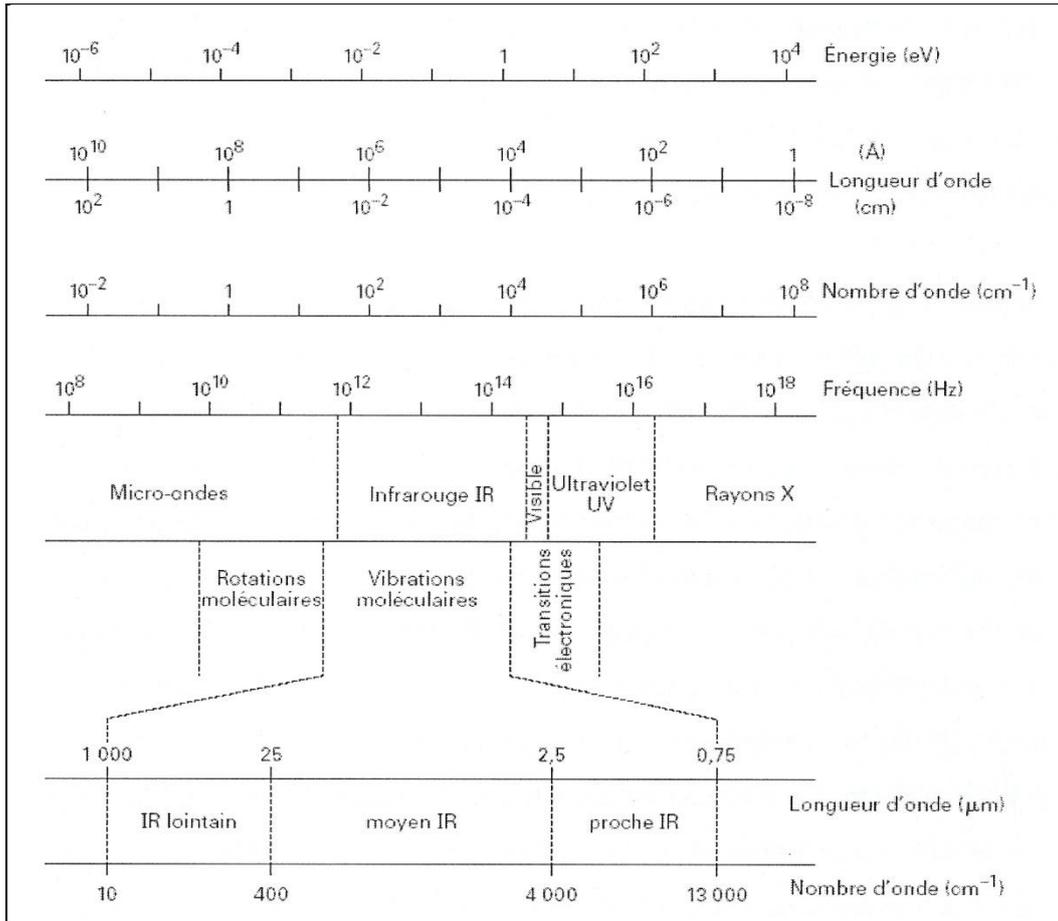


Figure n°11 : Domaines spectraux du rayonnement électromagnétique (Dalibart et Servant, 2000)

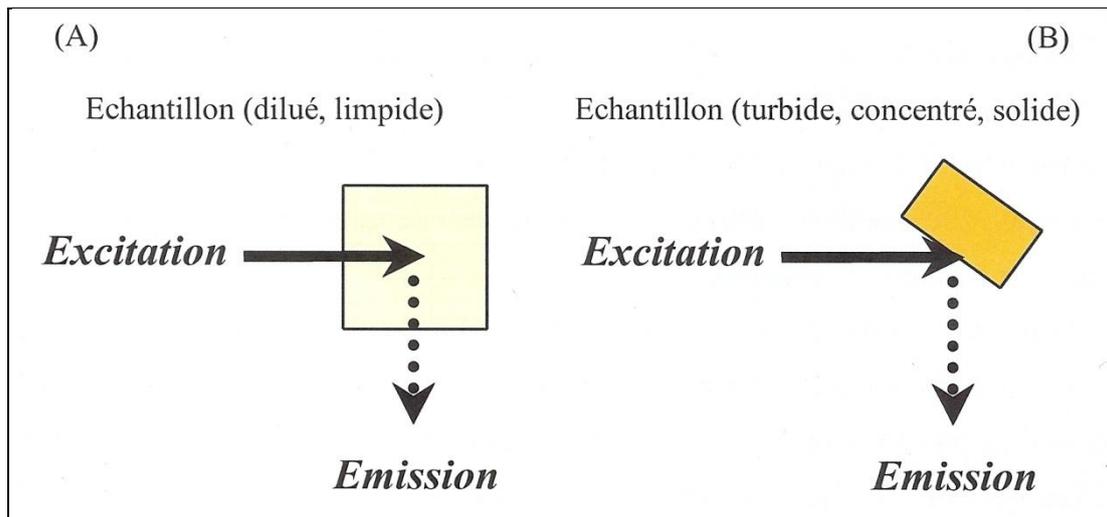


Figure n°12 : dispositifs de fluorescence à angle droit (A) et frontal (B)

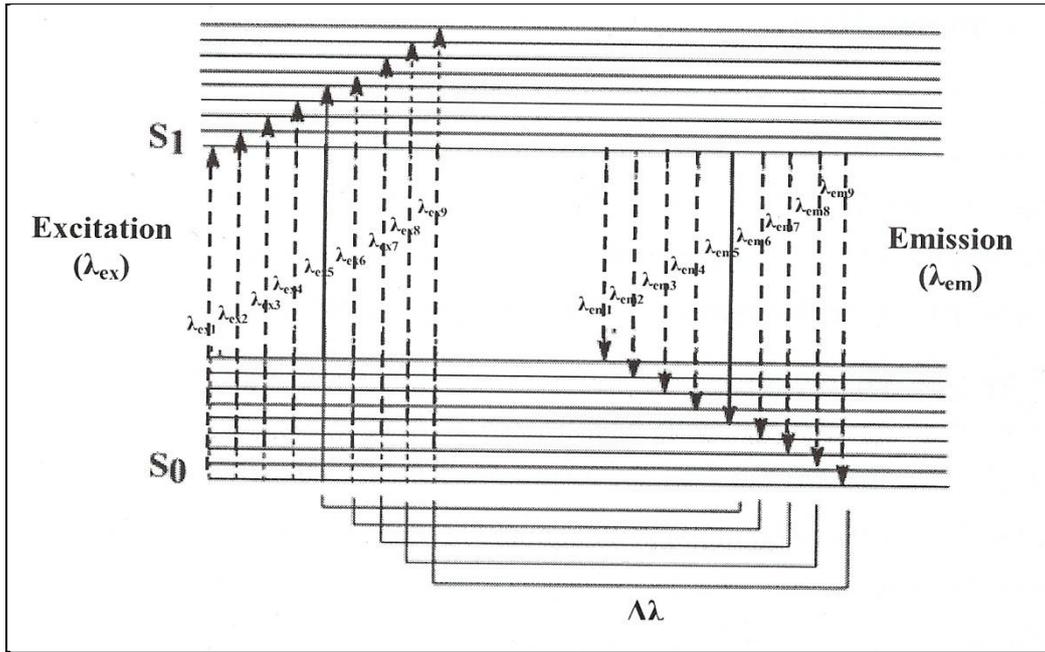


Figure n°13 : schématisation du balayage de fluorescence synchrone (Patra et Mishra, 2002)
 $\Delta\lambda = \lambda_{\text{émi}} - \lambda_{\text{exi}}$

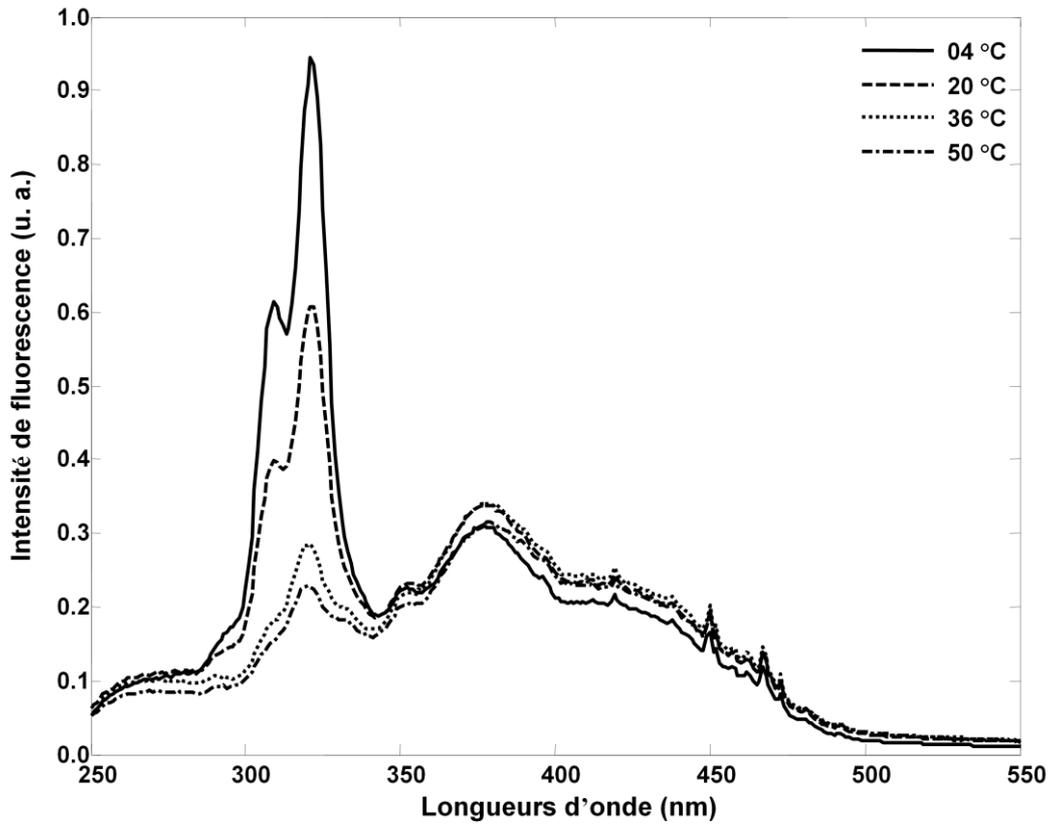


Figure n°14 : Évolution des spectres synchrones du lait en fonction de la température ($\Delta\lambda=140$ nm) (Boubellouta, 2008)

Tableau n°9 : Description des échantillons de fromages

code	Type	appellation	N° entreprise	Traitement du lait
10-001	FA-C	Fourme d'Ambert	1	cru
10-012	FA-C	Fourme d'Ambert	2	cru
10-017	FA-C	Fourme d'Ambert	2	cru
10-018	FA-C	Fourme d'Ambert	1	cru
10-002	FA-P	Fourme d'Ambert	1	pasteurisé
10-013	FA-P	Fourme d'Ambert	2	pasteurisé
10-015	FA-P	Fourme d'Ambert	2	pasteurisé
10-016	FA-P	Fourme d'Ambert	1	pasteurisé
10-003	BA-P	Bleu Auvergne	3	pasteurisé
10-006	BA-P	Bleu d'Auvergne	2	pasteurisé
10-011	BA-P	Bleu d'Auvergne	2	pasteurisé
10-004	BA-C	Bleu Auvergne	4	cru
10-008	BC-T	Bleu des Causses	2	thermisé
10-010	BC-T	Bleu des Causses	2	thermisé
10-014	BC-T	Bleu des Causses	6	thermisé
10-009	BC-P	Bleu des Causses	5	pasteurisé
10-019	FM-T	F de Montbrison	7	thermisé
10-020	FM-P	F de Montbrison	8	pasteurisé
10-021	FM-C	F de Montbrison	9	cru
10-022	FM-C	F de Montbrison	10	cru

Tableau n°10 : Composition physicochimique des fromages (moyenne et écart-type)

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

C : lait cru, T : lait thermisé, P ; lait pasteurisé

		MS %	MG %	cendre %	Na mg/100g	Ca mg/100g	P µg/g	pH	Cl %	azote total % N en masse	Protéine % masse (Nx6,38)	azote soluble % N en masse
Norme	code	NF EN ISO 5534	NF V04-287	NF ISO 8070			protocole interne MO BIO-10-03	protocole interne MO BIO-10-07	NF EN ISO 5943	NF EN ISO 8968-1		
10-001	FA-C	51,85	26,75	4,75	1216,30	481,64	3703,36	5,78	2,00	3,07	19,61	0,93
10-012	FA-C	56,46	30,58	4,48	1067,58	477,37	3825,64	5,72	1,90	3,13	20,07	1,24
10-017	FA-C	53,5	29,33	4,36	1048,53	472,16	3412,51	5,55	1,88	3,16	20,09	1,41
10-018	FA-C	51,75	27,17	4,99	1318,08	465,54	3675,68	6,45	2,12	3,02	19,27	1,15
10-013	FA-P	54,36	29,83	3,99	912,34	460,00	3386,41	5,62	1,74	3,16	20,16	1,52
10-015	FA-P	52,21	27,42	4,34	1074,31	424,40	3071,04	5,85	1,82	3,00	19,15	1,60
10-016	FA-P	53,72	28,75	4,05	971,97	435,64	3436,43	6,23	1,83	3,11	19,83	1,63
10-002	FA-P	53,24	27,88	3,88	910,79	402,87	3714,28	6,15	1,66	3,08	19,62	1,43
10-003	BA-P	52,54	29,25	3,88	873,77	445,34	3340,88	6,45	1,58	3,05	19,46	2,07
10-006	BA-P	54,94	30,17	3,96	877,64	492,90	4070,20	5,63	1,56	3,06	19,55	2,10
10-011	BA-P	52,75	28,17	4,59	1102,10	459,87	3884,59	5,82	2,00	3,02	19,30	1,67
10-004	BA-C	58,02	34,83	2,92	596,04	385,37	3677,15	6,25	1,15	3,30	21,05	2,45
10-008	BC-T	55,8	30,58	4,58	1020,54	496,76	4074,57	6,15	1,89	3,07	19,61	1,38
10-009	BC-P	52,75	29,75	5,14	1237,64	469,78	3974,12	6,00	2,17	2,83	18,09	1,88
10-010	BC-T	57,69	32,17	4,26	1050,34	523,53	4362,80	6,17	1,66	3,16	20,18	2,07
10-014	BC-T	55,01	32,42	4,51	1007,90	505,71	3927,97	6,10	1,85	3,09	19,96	2,21
10-019	FM-T	54,28	29,25	3,78	803,19	570,67	4106,32	5,80	1,27	3,19	20,37	1,28
10-020	FM-P	55,05	30,25	3,33	559,00	646,26	4260,74	5,57	1,01	3,19	20,33	0,91
10-021	FM-C	54,21	28,92	2,94	682,71	459,79	3334,21	5,2	1,20	3,34	21,29	1,15
10-022	FM-C	55,01	28,50	4,02	756,79	703,09	4506,51	5,75	1,26	3,33	21,25	1,08

Tableau n°11 : Exemple de lexique utilisé pour la description de la texture des fromages

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Ferme au doigt	Force nécessaire pour déformer le produit	Pas ferme	Fromage de montagne	Très ferme : cantal
Ferme en bouche	Force nécessaire pour déformer le fromage	Pas ferme	Fromage de montagne	Très ferme : parmesan
Crémeux	Texture onctueuse	Pas crémeux	Bleu des Causses	Très crémeux : Boursault
Crayeux	Texture sèche avec des petites particules	Pas crayeux	Buche de chèvre	Très crayeuse : fromage de vache
Granuleux	Propriété liée à la forme et à la structure des particules	Pas granuleux	cantal	Très granuleux : fêta
Collant	Qui adhère au palais lors de la mastication	Pas collant		Très collant : Gaperon, vache qui rit
Résidus	Présence de résidus après mastication	Pas de résidu	Fourme d'Ambert	Présence de résidu : camembert

Tableau n°12 : Propriétés rhéologiques des 20 fromages en cisaillement dynamique à 20°C

(FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

C : lait cru, T : lait thermisé, P ; lait pasteurisé)

Code	Type	G' (kpa)	G'' (Kpa)	Tan (δ)	η^* (kpa.s)
E10-001	FA-C	7,16	2,58	0,36	1,21
E10-012	FA-C	6,85	2,73	0,40	1,17
E10-017	FA-C	4,22	3,37	0,39	0,72
E10-018	FA-C	7,15	2,56	0,36	1,21
	moyenne	6,35	2,81	0,38	1,08
	Ecart-type	1,42	0,38	0,02	0,24
E10-002	FA-P	4,15	1,41	0,34	0,69
E10-013	FA-P	3,51	1,18	0,34	0,59
E10-015	FA-P	4,51	1,47	0,33	0,75
E10-016	FA-P	1,94	0,66	0,34	0,32
	moyenne	3,53	1,18	0,34	0,59
	Ecart-type	1,14	0,37	0,01	0,19
E10-003	BA-P	1,98	0,93	0,47	0,35
E10-006	BA-P	3,50	1,48	0,42	0,60
E10-011	BA-P	1,39	0,63	0,45	0,24
	moyenne	2,29	1,01	0,45	0,40
	Ecart-type	1,09	0,43	0,03	0,18
E10-004	BA-C	10,15	3,94	0,39	1,73
E10-008	BC-T	1,28	0,60	0,47	0,23
E10-010	BC-T	0,43	0,24	0,55	0,07
E10-014	BC-T	1,68	0,70	0,42	0,29
	moyenne	1,13	0,51	0,48	0,20
	Ecart-type	0,64	0,24	0,07	0,11
E10-009	BC-P	1,68	0,71	0,42	0,29
E10-019	FM-T	3,54	1,23	0,35	0,59
E10-020	FM-P	3,73	1,20	0,32	0,62
E10-021	FM-C	12,45	4,06	0,33	2,08
E10-022	FM-C	8,04	2,97	0,37	1,36

G': module élastique, G'': module visqueux, Tan δ : viscoélasticité, η^* : viscosité

Tableau n°13 : Point de ramollissement et point de goutte (°C) des 20 fromages

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

C : lait cru, T : lait thermisé, P ; lait pasteurisé

Code	Type	point de goutte	Point de ramollissement
E10-001	FA-C	60,30	59,50
E10-012	FA-C	63,80	66,23
E10-017	FA-C	55,33	55,20
E10-018	FA-C	58,88	57,23
	moyenne	59,58	59,54
	Ecart-type	3,51	4,79
E10-002	FA-P	53,40	48,73
E10-013	FA-P	58,33	57,35
E10-015	FA-P	54,55	51,15
E10-016	FA-P	57,90	56,35
	moyenne	56,04	53,39
	Ecart-type	2,44	4,13
E10-003	BA-P	55,50	51,28
E10-006	BA-P	50,28	46,95
E10-011	BA-P	53,85	50,48
	moyenne	53,21	49,57
	Ecart-type	2,67	2,30
E10-004	BA-C	50,88	48,18
E10-008	BC-T	57,00	55,90
E10-010	BC-T	55,18	54,98
E10-014	BC-T	52,40	51,70
	moyenne	54,86	54,19
	Ecart-type	2,32	2,21
E10-009	BC-P	46,80	44,93
E10-019	FM-T	67,50	67,10
E10-020	FM-P	63,33	62,85
E10-021	FM-C	58,15	57,13
E10-022	FM-C	57,58	58,03

Tableau n°14 : Evaluation sensorielle des fromages : exemple de l'évaluation de la texture (moyenne de la note sur 10 par produit et par descripteur) FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

	BA 003	BA 004	BA 006	BA 011	BC 008	BC 009	BC 010	BC 014	FA 001	FA 002	FA 012	FA 013	FA 015	FA 016	FA 017	FA 018	FM 019	FM 020	FM 021	FM 022
Ferme au doigt	2,77	6,25	3,50	4,52	3,68	3,22	4,62	3,02	5,64	5,20	7,92	6,68	4,72	4,63	6,57	4,81	6,63	6,05	7,57	7,69
Ferme bouche	1,84	3,99	2,50	4,06	2,75	2,14	3,81	2,62	5,34	5,29	7,33	5,98	4,04	3,95	5,63	4,80	6,47	5,36	6,32	6,79
Crémeux	6,53	4,97	4,43	3,77	5,70	6,50	4,21	5,57	1,08	2,51	0,23	1,26	3,89	4,95	1,34	1,40	0,82	1,56	1,01	0,62
Crayeux	1,18	1,51	2,35	0,96	1,10	0,55	0,80	2,30	2,85	0,87	4,75	3,26	1,38	0,38	3,36	2,04	2,34	1,75	3,72	3,33
Granuleux	0,85	3,39	1,80	0,99	0,89	0,82	1,53	2,68	3,11	1,12	3,38	2,85	1,24	0,65	2,08	1,50	1,82	1,52	2,93	2,83
Collant	2,90	2,94	2,79	3,95	4,10	2,57	2,95	2,47	1,20	3,12	1,19	2,92	4,69	4,62	2,37	1,76	2,23	2,78	2,41	1,33
Résidus	2,19	4,25	2,81	2,15	2,29	1,81	2,15	4,35	3,93	2,21	4,19	3,16	2,43	2,21	2,78	2,20	2,88	2,59	3,24	3,61

Tableau n°15 : Valeur de Fisher et probabilité associée de l'effet produit issues des résultats de l'Anova à 2 facteurs sur les notes de descriptions sensoriels des 20 fromages
NS : Non Significatif, *** significativité à 0.1 % ; ** significativité à 1% ; *Significativité à 5%

Descripteurs	Fobs	P value
Couleur pâte	41.36 ***	<0.00001
Humidité	14.28 ***	<0.00001
Brouillé	4.40 ***	<0.00001
Quantité de persillage	22.40 ***	<0.00001
Répartition persillage	27.91 ***	<0.00001
Quantité de cavités	54.47 ***	<0.00001
Ferme	23.66 ***	<0.00001
Intensité de l'odeur globale	7.82 ***	<0.00001
Odeur d'ammoniaque	2.54 ***	0.0007
Odeur lactique	2.04 **	0.0085
Odeur moisi	1.74 *	0.0329
Salé	13.72 ***	<0.00001
Amère	8.91 ***	<0.00001
Acide	8.67 ***	<0.00001
Intensité arôme	13.60	
Piquante	17.93 ***	
Arôme lactique	2.08 **	0.0069
Arôme moisi	3.12 ***	
Arôme ammoniaque	9.71 ***	<0.00001
Persistance	12.39 ***	<0.00001
Ferme TB	21.44 ***	<0.00001
Crémeuse	34.99 ***	<0.00001
Crayeuse	7.15 ***	<0.00001
Granuleuse	5.28 ***	<0.00001
Collant	5.74 ***	<0.00001
Résidus	3.81 ***	<0.00001

Tableau n°16 : valeur d'étalement des fromages (mm) selon le test de Schreiber

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

température (°C)	FA			FM			BA			BC		
	moyenne	ecart-type	CV%									
80°C	6,87	2,19	31,85	7,08	1,18	16,71	3,93	2,58	65,74	7,44	1,34	17,94
120°C	7,55	1,88	24,93	7,93	1,80	22,70	4,46	2,26	50,63	8,94	1,73	19,32
250°C	11,07	3,05	27,56	9,53	2,06	21,58	6,67	3,16	47,44	12,75	1,77	13,86

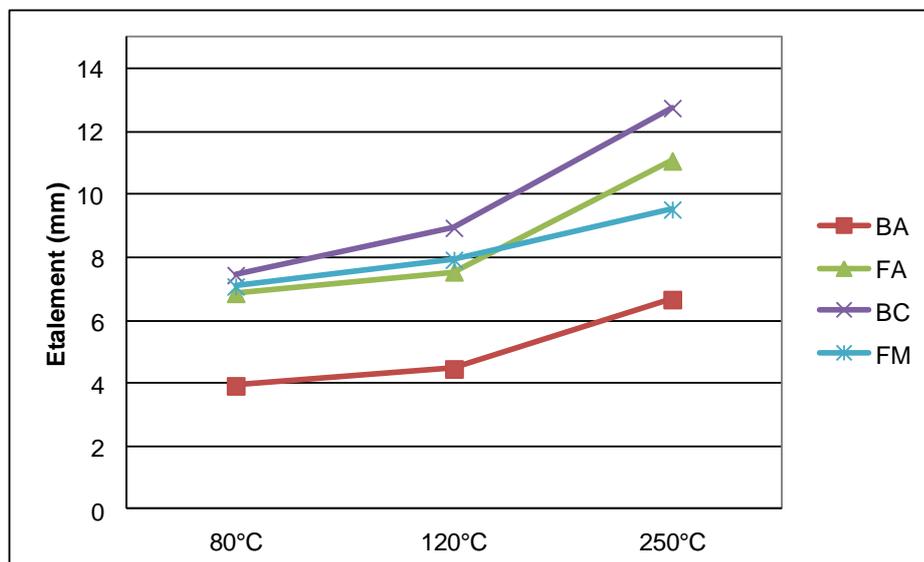


Figure n°16 : Etalement des 4 types de fromages au cours du chauffage (test de Schreiber)

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

Tableau n°17 : valeur d'exsudation de gras des fromages (mm) selon le test de Schreiber
(FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison)

température (°C)	FA			FM			BA			BC		
	moyenne	ecart-type	CV%									
80	13,40	6,37	47,53	13,83	1,34	9,67	6,76	2,03	30,00	13,33	3,38	25,34
120	12,43	4,90	39,40	12,82	2,60	20,29	6,93	1,92	27,66	15,64	3,02	19,34
250	17,06	4,89	28,65	14,51	1,20	8,25	10,69	3,76	35,19	19,39	0,31	1,62

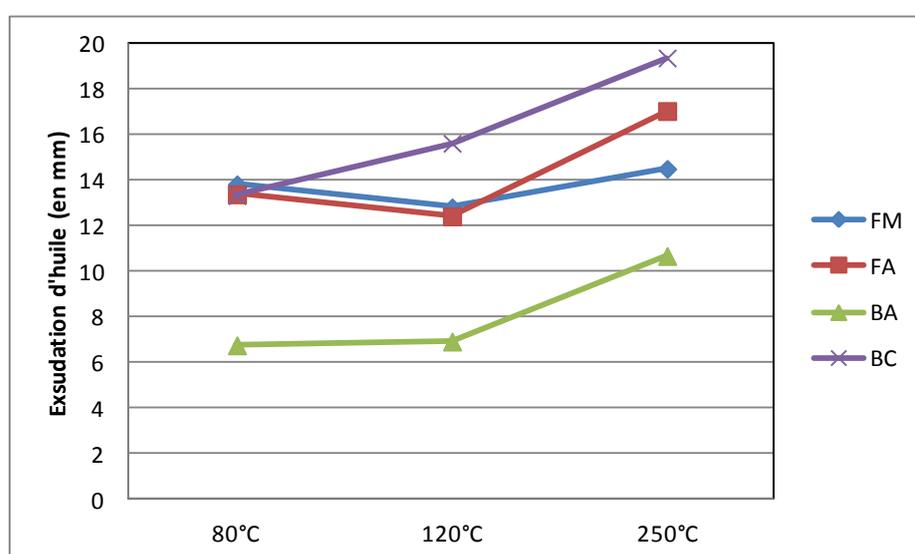


Figure n°17 : Exsudation de matière grasse des 4 types de fromages au cours du chauffage (test de Schreiber)

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

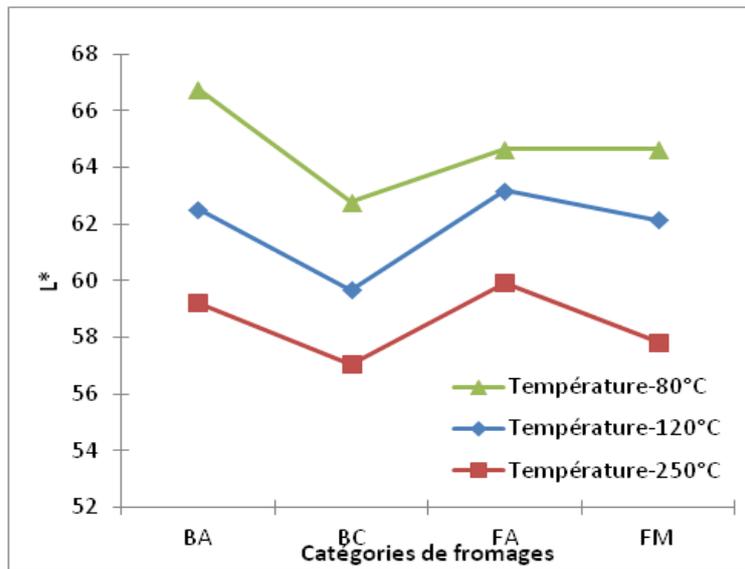


Figure n°18 : valeurs moyennes de mesures de luminosité L* sur les fromages chauffés

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

Photos n°1 : Présentation des fromages après chauffage à 250°C pendant 3'50'' au four en chaleur sèche (source : Laboratoire d'évaluation sensorielle VetAgro-Sup, 2010)



Fourme d'Ambert

Fourme de Montbrison

Bleu d'Auvergne

Bleu des Causses

(source : Laboratoire d'évaluation sensorielle VetAgro-Sup, 2010)

Photos n°2 : Présentation du filant d'un fromage estimé à la fourchette



(source : Laboratoire d'évaluation sensorielle VetAgro-Sup, 2010)

Tableau n°18 : Valeur de Fisher et probabilité associée de l'effet produit issues des résultats de l'Anova à 2 facteurs sur les notes de descriptions sensoriels des 20 fromages à chaud

	F	Pr > F
Intensité odeur	2,895	0,002
Odeur biscuitée	0,845	0,645
Odeur lactique	1,030	0,451
Odeur beurre	3,214	0,001
Odeur moisi	2,874	0,002
Odeur ammoniacuée	4,221	< 0,0001
Filant	6,647	< 0,0001
Capacité à fondre	2,587	0,006
Exsudation	17,577	< 0,0001
Couleur	7,808	< 0,0001
Persillage	8,723	< 0,0001
Râpeuse	15,287	< 0,0001
Caoutchouteuse	19,252	< 0,0001
Onctueuse	4,732	< 0,0001
Huileuse	7,452	< 0,0001
Résidus	2,860	0,003
Amère	7,355	< 0,0001
salée	12,411	< 0,0001
Acide	9,329	< 0,0001
Intensité arôme	5,148	< 0,0001
Arôme lactique	4,146	< 0,0001
Arôme beurre	5,717	< 0,0001
Arôme étable	3,278	0,001
Arôme moisi	5,817	< 0,0001
Arôme ammoniacués	7,579	< 0,0001
Piquant	10,514	< 0,0001

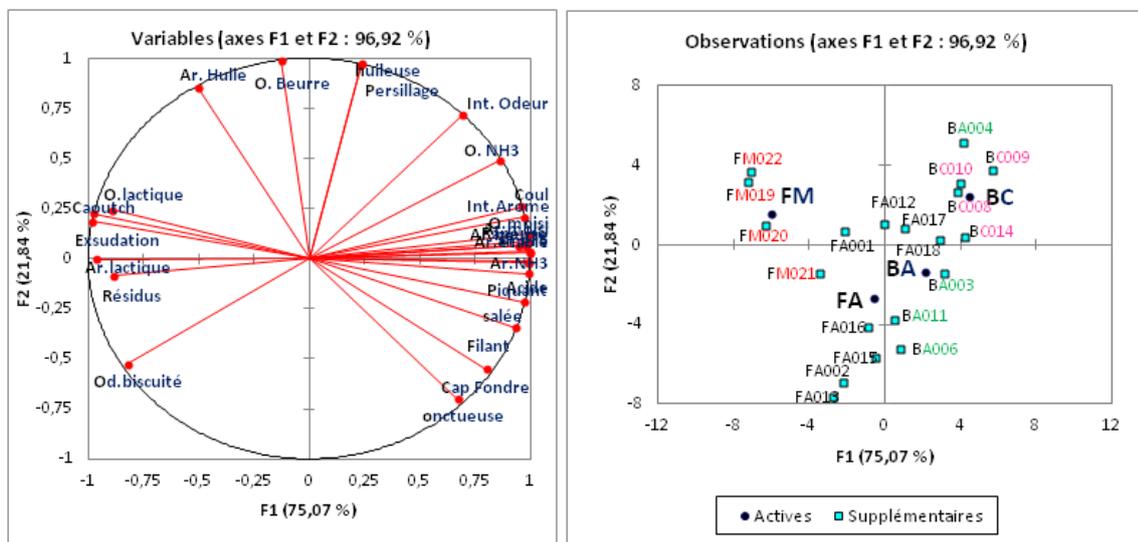


Figure n°19 : ACP représentant les descripteurs sensoriels et les 4 catégories de fromages sur les axes factoriels 1-2. Les 20 échantillons de fromages sont en observations supplémentaires.

FA : fourme d'Ambert, BA : bleu d'Auvergne, BC : bleu des Causses, FM : fourme de Montbrison

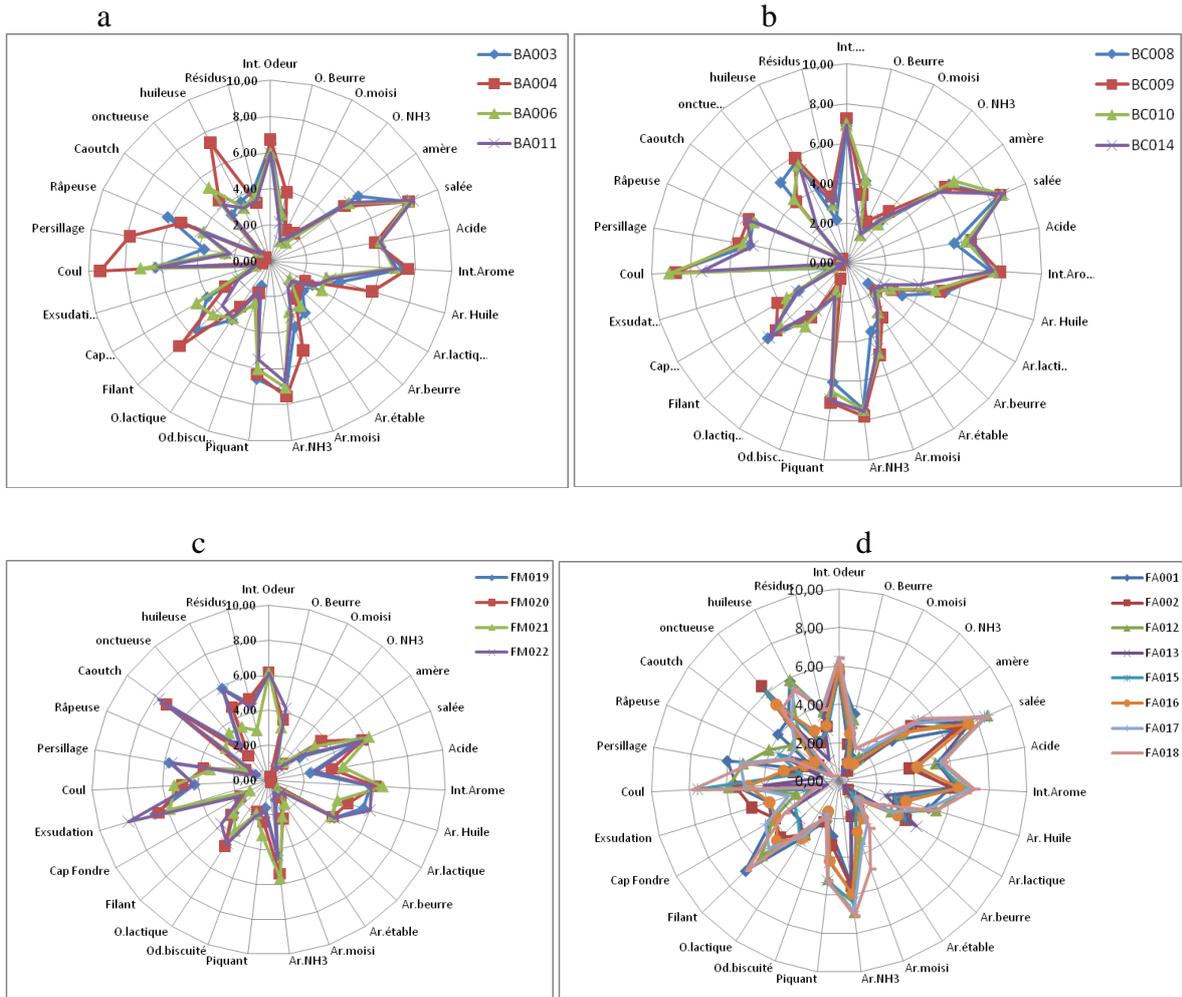


Figure n°20 a,b,c,d : Profils sensoriels des fromages à pâte persillée

a : Bleu d’Auvergne, b : Bleu des Causses, c : Fourme de Montbrison, d : Fourme d’Ambert

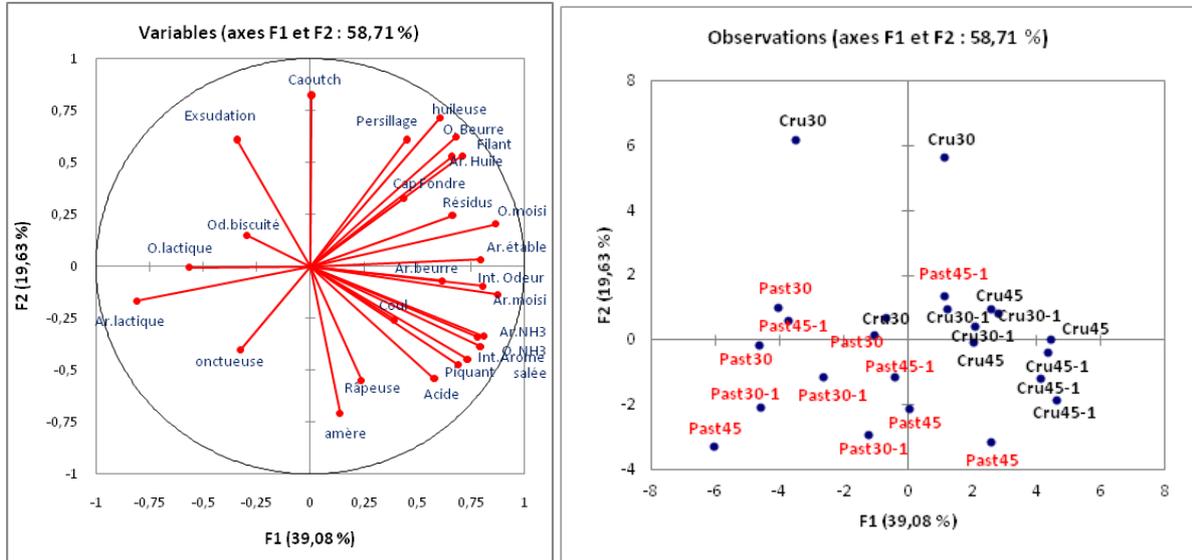


Figure n°21 : Cercle de corrélation et carte des Fourmes d'Ambert issus de l'ACP sur les plans factoriels 1-2

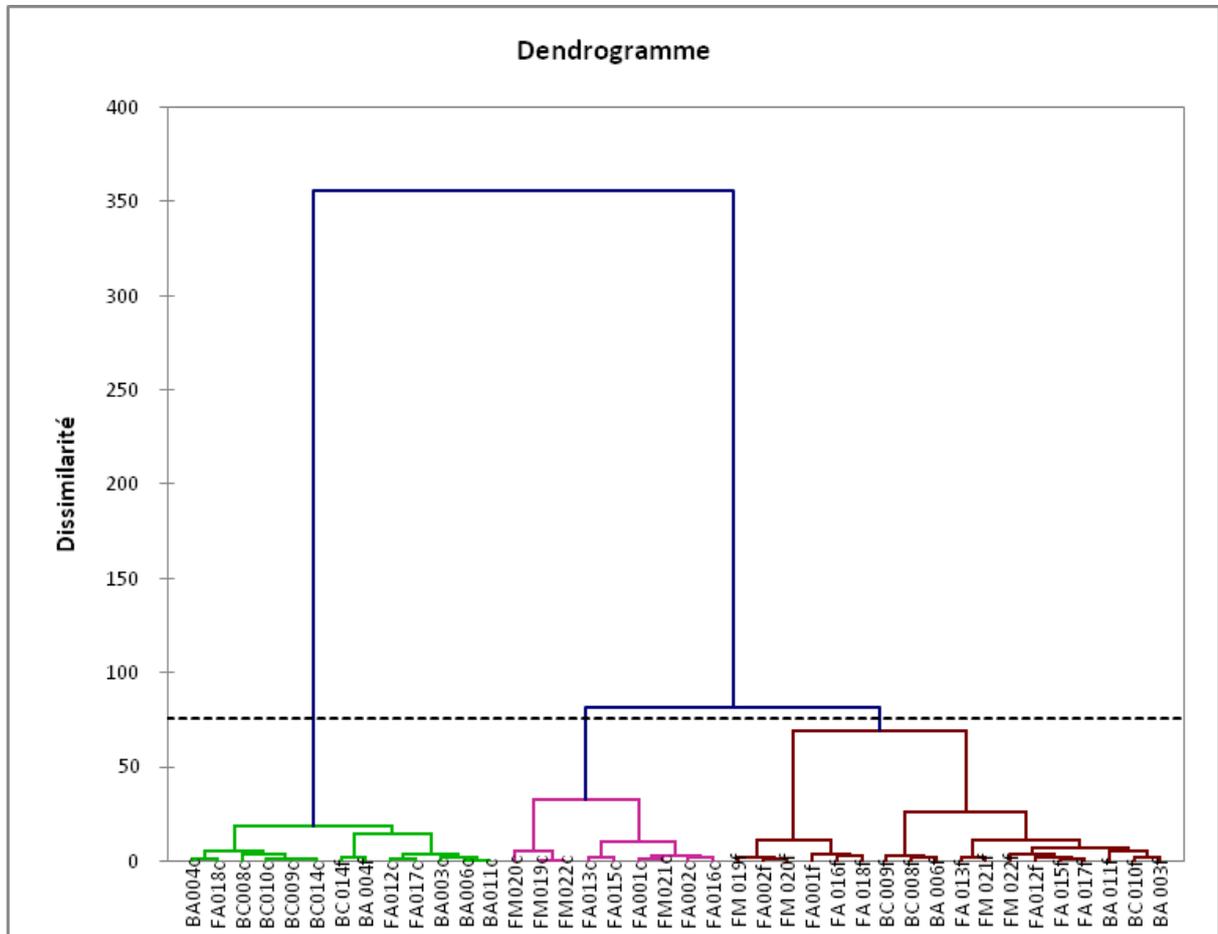


Figure n°22 : Classification hiérarchique ascendante (dissimilarité, méthode de Ward) sur les notes des 13 descripteurs pour les fromages à chaud et à froid.

Les annexes

Annexe 1 : Communication écrite, JED UBP Clermont-Ferrand, France (2010)



VetAgro Sup

Synchronous fluorescence Spectroscopy for monitoring physicochemical changes during heat-treatment of blue cheeses

ABBAS K.*, AIT KADDOUR A., LEBECQUE A.

U.R Typicité des Produits Alimentaires, VetAgro Sup, Campus agronomique de Clermont, 89 av. de l'Europe -BP 35- 63370 Lempdes, France

*k.abbas@vetagro-sup.fr



Université Blaise Pascal

1. INTRODUCTION:

Today 35-45% of total cheese consumed as an ingredient in other foods. On cooking applications, fats and proteins of cheese are subject to physical and chemical changes, which determine the behaviour of cheese in food application. In order to acquire a better knowledge of these changes, several analytical techniques have already been developed in different domains of expertise. Recently, new investigations have been attempted by using fluorescence spectroscopy. In this work the synchronous fluorescence spectroscopy (SFS) along with chemometric methods was used for monitor the physicochemical changes during thermal treatment of blue cheeses. Synchronous fluorescence spectra of four different French blue cheeses (*Bleu d'Auvergne*, *Fourme d'Ambert*, *Fourme de Montbrison*, *Bleu des Causses*) were recorded directly on cheese samples using SFS ($\lambda_{excitation}$: 250-550nm, $\Delta\lambda$: 80nm) during increase (20 to 80°C/20min) and decrease (80 to 20°C/20min) of temperature. For each cheese, synchronous fluorescence spectra were evaluated using principal component analysis (PCA) in order to extract the most relevant information related to physicochemical changes of cheese.

2. MATERIALS AND METHODS:



- 4 marketed French blue cheeses manufactured from pasteurized milk: (*Bleu d'Auvergne*, *Fourme d'Ambert*, *Fourme de Montbrison* and *Bleu des Causses*)

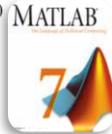
- Slices of 2x2x0.2cm were cut off in the middle of the cheese,



- SFS ($\lambda_{excitation}$: 250-550nm, $\Delta\lambda$: 80nm)

- Synchronous fluorescence spectra of cheeses samples placed in a quartz cell were recorded at 20 \leftrightarrow 80°C/20min.

- Spectra were recorded in triplicate for each condition.



Data sets have been evaluated by PCA

3. RESULTS:

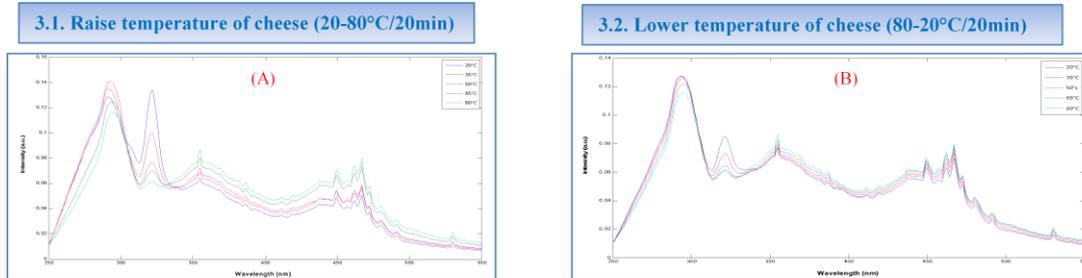


Fig.1. Synchronous fluorescence spectra of *Bleu d'Auvergne* cheese recorded during heat treatment (A: increase temperature from 20-80°C/20min; B: decrease temperature from 80-20°C/20min).

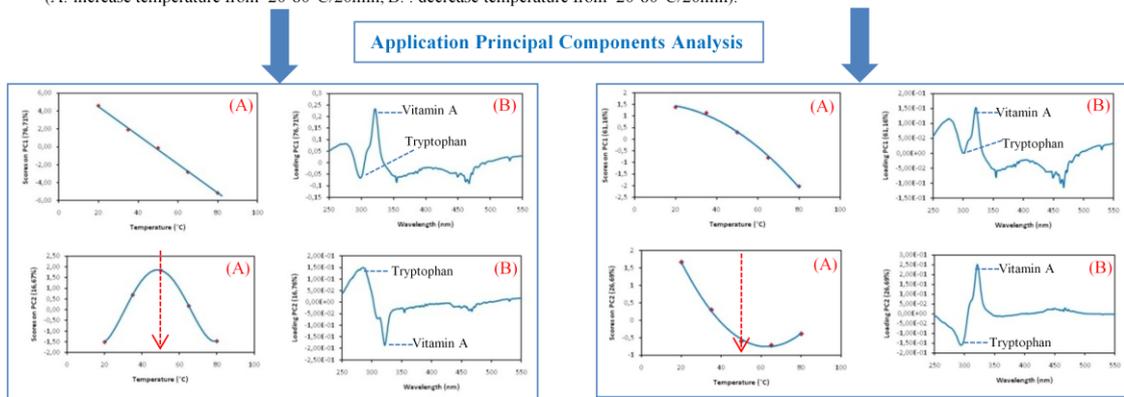


Fig.2.A: Evaluation of sample scores of *Bleu d'Auvergne* cheese as a function of temperature according to PC₁ and PC₂
 B: Evaluation of loading spectra of *Bleu d'Auvergne* cheese as a function of temperature according to PC₁ and PC₂.

4. CONCLUSION:

Synchronous fluorescence spectroscopy coupled with chemometric methods offers significant potential for the development of rapid methods and non-destructive for identification and characterization of cheese matrix. Our results showed that the SFS method can be used to monitor physicochemical changes observed in blue cheeses matrices during heat treatments (heating and cooling) because it able to monitor the changes in protein-protein and protein-lipid interactions and the network structures resulting from cheese melting and cooling.

Annexe 1 : Communication écrite, Food Innovation Congrès, Valence, Espagne(2010)



VetAgro Sup

Synchronous fluorescence Spectroscopy for monitoring physicochemical changes during heat-treatment of blue cheeses

Khaled ABBAS*, Annick LEBECQUE, Abderrahmane AIT KADDOUR

U.R Typicité des Produits Alimentaires, VetAgro Sup, Campus agronomique de Clermont, 89 av. de l'Europe -BP 35- 63370 Lempdes, France

k.abbas@vetagro-sup.fr



Université Blaise Pascal

http://www.vetagro-sup.fr

INTRODUCTION:

Blue cheeses are popularly used as an ingredient in various dishes. Thermal-induced effects of cooking on the cheese structure, resulting in changes in their physico-chemical properties, which determine their behaviour as an ingredient in food application and in their quality evaluation. The cheese industry needs objective methods to monitor physico-chemical properties of cheese. In this work synchronous fluorescence spectroscopy (SFS) was used for monitor the physicochemical changes during thermal treatment (heating, cooling) of blue cheeses. For each cheese, synchronous fluorescence spectra were evaluated using principal component analysis (PCA) in order to extract the most relevant information related to physicochemical changes of cheese.

OBJECTIVES:

The objective of this research was to investigate the potentiality of SFS to monitor physicochemical changes of different blue cheeses during thermal treatments (heating and cooling).

MATERIALS AND METHODS:

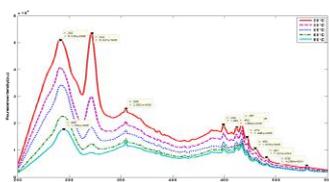
-*Cheese sampling*: Four marketed French blue cheeses (*Fourme d'Ambert, Bleu d'Auvergne, Fourme Montbrison and Bleu des Causses*).

-*Synchronous fluorescence Spectroscopy*: $\lambda_{excitation}$: 250-550nm using offset 80nm. The synchronous spectra of cheeses were recorded at 20, 35, 50, 65 and 80°C/20min and drop from 80 to 20°C/20min. Spectra were recorded in triplicate for each condition.

-*Statistical analysis*: The data sets have been analysed by PCA using MATLAB.

RESULTS AND DISCUSSION:

The synchronous spectrum recorded exhibited sharp and intense bands at 292nm (tryptophan) and 322nm (vitamin A) and a broader band centered at 355nm (vitamin B₂) and some smaller peaks are seen around 449, 462, 467, 480, 491 and 530nm corresponding to Maillard reaction products.



The shape of fluorescence spectral was larger at lower temperature than those at higher temperature. The highest intensity observed for the band 322nm had totally disappeared at 80°C. The band at 292nm decreased and a slight shift was observed when the T°C increased from 20 to 80°C, i.e. the maxima at 292 and 295 nm were observed for 20 and 80°C, respectively.

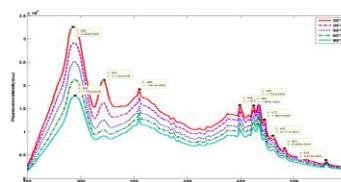
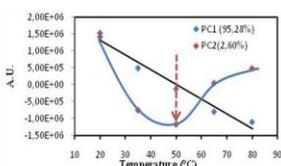


Fig.1. Synchronous fluorescence spectra of *Bleu d'Auvergne* cheese recorded during the increase of temperature from 20-80°C/20min.

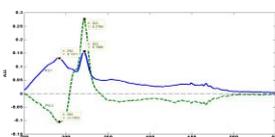
Fig.2. Synchronous fluorescence spectra of *Bleu d'Auvergne* cheese recorded during the decrease of temperature from 80-20°C/20min.

(a)



The visual appearance of the scores is similar to the scores obtained for PCA's made on samples either during heating or cooling. The PC₁ discriminated the samples as a function of temperature: at low temperature the scores were positive, while at high temperature the scores were negative. The PC₂ scores represents the cheese matrix becomes softer and less elastic at 50°C.

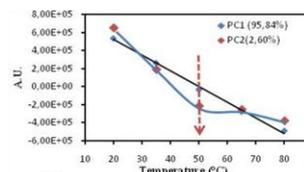
(b)



The loadings showed that the PC₁ expresses a change in the tryptophan peak and vitamin A peak, the PC₂ represents the variation in the smaller peaks, a negative broad band and a positive band.

Fig.3. Sample scores (a) and loading spectra (b) corresponding to PC₁ and PC₂ made on fluorescence spectra of *Bleu d'Auvergne* cheese during the increase of temperature from 20-80°C/20min.

(a)



(b)

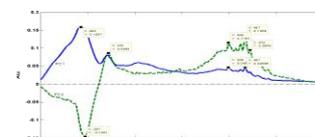


Fig.4. Sample scores (a) and loading spectra (b) corresponding to PC₁ and PC₂ made on fluorescence spectra of *Bleu d'Auvergne* cheese during the decrease of temperature from 80-20°C/20min.

CONCLUSION:

Synchronous fluorescence spectroscopy coupled with chemometric methods offers significant potential for the development of rapid methods and non-destructive for identification and characterization of cheese matrix. Our results showed that the SFS method can be used to monitor physicochemical changes observed in blue cheeses matrices during heat treatments (heating and cooling) because it able to monitor the changes in the network structures of protein-protein and protein-lipid interactions resulting from cheese melting and cooling.



International Conference on Food Innovation 2010,
25-29 October, Valencia, Spain.