

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE

INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET DES
TECHNOLOGIES AGROALIMENTAIRES

I.N.A.T.A.A.

Département de Technologies Alimentaires

N° d'ordre :

N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme Magister en Sciences
Alimentaires, option de Technologies Alimentaires

Par **CHEMACHE Loucif**

**Qualité de deux spécialités fromagères fabriquées
et commercialisées en Algérie**

Soutenu le : 12/07/2011

Devant le jury :

Président :	KACEM CHAOUCHE N.	Maître de conférences	Fac. S.N.V., U.M.C.
Rapporteur :	NAMOUNE H.	Professeur	I.N.A.T.A.A., U.M.C.
Examineurs :	BARKAT M.	Maître de conférences	I.N.A.T.A.A., U.M.C.
	KHAROUB K.	Maître de conférences	I.N.A.T.A.A., U.M.C.
	BEKHOUCHE F.	Maître de conférences	I.N.A.T.A.A., U.M.C.

Remerciements

Je tiens à remercier le Professeur NAMOUNE H., le rapporteur de ce mémoire, pour avoir encadré ce travail. Je tiens à vous remercier pour votre aide précieuse, vos conseils, votre objectivité, votre disponibilité, votre rigueur scientifique, et vos précieux conseils qui ont fait progresser ce travail. Il m'est aussi d'un agréable devoir de vous adresser un grand merci pour la sympathie, la confiance et la liberté d'action dont j'ai bénéficié tout au long de ce mémoire. Soyez assuré de ma sincère estime.

Je tiens à exprimer ma respectueuse reconnaissance au Dr. KACEM CHAOUICHE N., Maître de conférences à la faculté de sciences, Université Mentouri Constantine, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence de jury de ce travail.

Mes reconnaissances vont également au Dr. BARKAT M., Maître de conférences à l'I.N.A.T.A.A., Université Mentouri Constantine, qui m'a fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail. Veuillez accepter mes plus vifs remerciements pour votre présence dans ce jury et soyez assuré de tout mon respect et de ma profonde gratitude.

Mes remerciements les plus respectueux vont également au Dr. KHAROUB K., Maître de conférences à l'I.N.A.T.A.A., Université Mentouri Constantine, qui m'a fait l'honneur de prendre connaissance de ce travail et d'en participer au jury en tant qu'examinatrice. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie également au Dr. BEKHOUCHE F., Maître de conférences à l'I.N.A.T.A.A., Université Mentouri Constantine, de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury et d'examiner ce travail.

Des remerciements très particuliers sont présentés à M. MEZROUA Lyamine, pour son soutien et ses encouragements depuis mon arrivée à l'I.N.A.T.A.A., et avec qui j'ai partagé de très bons moments durant la réalisation de ce travail.

Je tiens également à remercier toutes les personnes du laboratoire de physicochimie et de la microbiologie de la laiterie de Beni Tamou de Blida plus particulièrement mes amis BERKANI Lyes et BOULAKROUNE Mounir, qui ont contribué au bon déroulement du stage pratique au sein de la laiterie. Je voudrais adresser mes remerciements au personnel des laboratoires pédagogiques de l'I.N.A.T.A.A. Que les participants des séances sensorielles soient remerciés pour leur disponibilité et leur application.

Mes sentiments de reconnaissance et mes remerciements vont aussi à l'encontre de toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A la mémoire de ma mère...

*A mon très cher père qui ma tout appris,
pour toutes les peines et les sacrifices
qu'il s'est donné pour me voir
réussir dans la vie*

*A mes frères : Youssef, Bachir leurs enfants et leur épouse
A mes sœurs : Lala Salîha, Khouhka et Saïda*

*A celle qui vient de rejoindre ma famille : Farida qui j'appelle Dêda ou
Frou, remède de mon track et de mes ennuis
Pour son soutien qui me fait une main-forte
Pour sa présence à mes côtés tout
au long des moments difficiles*

A toute la famille d'Aït laïd

*A toute la promotion de poste graduation
de Technologies Alimentaires*

au nutritionnistes Adêl et Abdallah

*à toute la promotion de Biotechnologie Alimentaires
et la promotion de Biochimie et Technologie Alimentaires*

*A tout mes amis : ceux de la chambre C1 (Lotfi, Fateh, Bachir, Farouk,
fahem et Oualid) et C13 qui m'on accueilli dans leur chambre*

Et à tous ceux qui me sont chères,

Je dédie ce travail..

Loucif

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. SPECIALITE FROMAGERE.....	4
1.1. Définition.....	4
1.2. Aperçu historique et économique.....	4
1.3. Classification.....	6
1.4. Valeur nutritionnelle.....	7
2. MATIERES PREMIERES DE LA TECHNOLOGIE DE LA SPECIALITE FROMAGERE.....	8
2.1. Matières premières laitières.....	8
2.1.1. Fromages naturels.....	8
2.1.2. Autres matières premières laitières.....	8
2.1.3. Préfonte.....	9
2.2. Matières premières non laitières.....	9
2.2.1. Eau.....	9
2.2.2. Matières premières végétales.....	10
2.2.2.1. Graisses végétales.....	10
2.2.2.2. Protéines végétales.....	10
2.2.2.3. Amidon.....	10
- Source.....	10
- Amidon réticulé alimentaire.....	11
- Comportement hydrothermique des amidons réticulés.....	12
2.2.3. Agents de texture.....	12
2.2.4. Sels de fonte.....	13

3. TECHNOLOGIE DE LA FONTE.....	15
3.1. Sélection des matières premières et contrôle de qualité.....	15
3.2. Ecrouûtage, découpage et broyage des fromages.....	15
3.3. Préparation de la formule et procédé technologique.....	15
3.3.1. Fonte proprement dite.....	17
3.3.2. Homogénéisation.....	18
3.3.3. Conditionnement.....	18
3.3.4. Refroidissement.....	18
3.3.5. Stockage du produit fini.....	19
3.4. Défauts de fabrication.....	20
3.5. Facteurs favorisant la fonte.....	21
3.5.1. Effet de l'affinage du fromage.....	21
3.5.2. Effet du pH.....	21
3.5.3. Effet des sels de fonte.....	21
3.5.4. Effet de la préfonte.....	22
3.6. Phénomènes biochimiques de la fonte.....	22
3.6.1. Peptisation.....	22
3.6.2. Crémage –phase de restructuration–.....	22
3.6.3. Refroidissement.....	23
4. CONTROLE DE LA QUALITE.....	24
4.1. Qualité de la matière première.....	24
4.2. Qualité au cours de fabrication.....	24
4.3. Qualité du produit fini.....	24

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Lieux du travail.....	26
2. Types de fromages étudiés.....	26
3. Fabrication des spécialités fromagères.....	26
3.1. Metidja.....	26
3.2. Ladhidh au camembert.....	27
4. Prélèvements et échantillonnages.....	28
4.1. Metidja.....	28

4.2. Ladhidh au camembert.....	28
5. Analyses physicochimiques.....	29
5.1. Mesure du pH.....	29
5.2. Mesure de la teneur en matière grasse.....	29
5.3. Mesure de l'extrait sec.....	30
5.3.1. Détermination de l'extrait sec par la méthode de référence.....	30
5.4. Détermination du taux de cendres.....	32
5.5. Dosage du taux de protéines.....	32
5.6. Dosage du taux de chlorures.....	33
5.7. Observation microscopique de l'amidon.....	33
5.7.1. Observation morphologique des grains d'amidon (E 1422).....	33
5.7.2. Observation morphologique des grains d'amidon dans la spécialité fromagère.....	34
5.8. Mesure de la viscosité.....	34
5.9. Mesure de l'écoulement.....	34
5.10. Analyses statistique.....	34
6. Analyses microbiologiques.....	35
6.1. Dénombrement des coliformes et/ou des coliformes présumés.....	35
6.2. Dénombrement des staphylocoques.....	36
6.3. Dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG).....	38
7. Analyse sensorielle.....	41
7.1. Les sujets.....	41
7.2. Déroulement de l'analyse.....	41
7.2.1. Test triangulaire.....	41
7.2.2. Test de classement par rang.....	43
7.3.3. Test hédonique.....	44

Chapitre III : Résultats et discussion

1. EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES AU COURS DE LA FABRICATION.....	46
1.1. pH.....	46
1.2. Extrait sec.....	47

1.3. Matière grasse.....	49
1.4. Matière grasse / extrait sec.....	50
1.5. Taux de Protéines.....	51
1.6. Taux de NaCl.....	52
1.7. Taux de cendres.....	52
1.8. Morphologie des grains d'amidon.....	54
1.8.1. Morphologie des grains d'amidon dans le phosphate de diamidon hydroxypropylé (E 1422).....	54
1.8.2. Comportement hydrothermique des grains d'amidon dans le produit fini.....	54
1.9. Variation de la viscosité de la pâte fromagère au cours du crémage.....	55
1.10. Propriétés d'écoulement.....	57
Conclusion.....	59
2. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES.....	59
2.1. Analyses microbiologiques pendant le procédé de fabrication de <i>Metidja</i>	59
2.2. Analyses microbiologiques pendant le procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i>	60
Conclusion.....	61
3. ANALYSES SENSORIELLES	61
3.1. Test triangulaire.....	62
3.2. Test de classement par rang.....	63
3.3. Test hédonique.....	64
3.3.1. Profils sensoriels des spécialités fromagères analysées.....	65
3.3.2. Test de corrélation.....	69
Conclusion.....	73
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	77
ANNEXES	
RESUMES	

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Figure I-1.	Réticulation de l'amidon.....	11
Figure I-2.	Réticulation de l'amidon en présence de phosphore oxytrichlorure, en milieu alcalin et pour une température comprise entre 30 / 50°C.....	12
Figure I-3.	Principales voies de fabrication du fromage fondu.....	16
Figure I-4.	Principe du traitement de stérilisation UHT directe : upérisation.....	17
Figure I-5.	Influence de la concentration des sels de fonte sur le pourcentage de NNS (300 000 trs/h à 20°C).....	22
Figure I-6.	Représentation schématique des phénomènes biochimiques de la fonte.....	23

Chapitre II : Matériel et méthodes

Figure II-1.	Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère <i>Metidja</i>	27
Figure II-2.	Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère <i>Ladhidh au camembert</i>	28
Figure II-3.	Bulletin du test triangulaire.....	42
Figure II-4.	Bulletin du test de classement par rang.....	44
Figure II-5.	Bulletin pour le test hédonique avec un barème de notation allant de 1 à 9.....	45

Chapitre III : Résultats et discussion

Figure III-1.	Evolution du pH au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i>	47
Figure III-2.	Evolution du pH au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i>	47
Figure III-3.	Evolution de l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i>	48
Figure III-4.	Evolution de l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i>	48

Figure III-5.	Evolution de la matière grasse au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i>	49
Figure III-6.	Evolution de la matière grasse au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i>	50
Figure III-7.	Evolution du rapport MG/ES au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i>	51
Figure III-8.	Evolution de la matière grasse (MG) au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i>	51
Figure III-9.	Observation morphologique des grains d'amidon réticulé (Phosphate de diamidon hydroxypropylé, E 1422) sous microscope optique de grandissement (Gx100).....	55
Figure III-10.	Observation morphologique des grains d'amidon de la spécialité fromagère <i>Metidja</i> sous microscope optique de grandissement (Gx100).....	55
Figure III-11.	Evolution de la viscosité apparente pendant le crémage de la spécialité fromagère <i>Metidja</i>	57
Figure III-12.	Variation de la viscosité apparente de la spécialité fromagère <i>Ladhidh au camembert</i> pendant le crémage.....	57
Figure III-13.	Valeurs moyennes des notes d'appréciation hédonique pour les cinq spécialités fromagères.....	64
Figure III-14.	Profils sensoriels des spécialités fromagères analysées, (A) <i>Metidja</i> , (B) Paysanne, (C) Quisto, (D) Cheezy, (E) <i>Ladhidh au camembert</i>	66
Figure III-15.	Analyse en composantes principales (ACP) des principales caractéristiques sensorielles et physicochimiques.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I-1.	Production mondiale du fromage fondu entre 1995 et 2000.....	5
Tableau I-2.	Evolution des importations des fromages en Algérie entre 1995 et 1998.....	5
Tableau I-3.	Classification des fromages fondus.....	6
Tableau I-4.	Composition du fromage fondu.....	7
Tableau I-5.	Caractéristiques des amidons et leurs empois selon leur origine botanique.....	11
Tableau I-6.	Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte.....	13
Tableau I-7.	Origines possibles de défauts de fabrication, et remèdes possibles à envisager.....	20

Chapitre II : Matériel et méthodes

Tableau II-1.	Composition de la gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL).....	35
Tableau II-2.	Composition du bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB).....	35
Tableau II-3.	Composition en grammes pour 1 litre de milieu Bouillon RCM de Hirsch et Grinsted.....	37
Tableau II-4.	Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM de Hirsch et Grinsted.....	38
Tableau II-5.	Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM semi-solide	39
Tableau II-6.	Composition du milieu Baird Parker précoulée.....	39
Tableau II-7.	Six ordres possibles pour servir les échantillons dans un test triangulaire.....	43

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III-1.	Récapitulatif des caractéristiques physicochimiques des produits finis	
-----------------------	--	--

	<i>(Metidja et Ladhidh au camembert)</i>	53
Tableau III-2.	Résultats des analyses microbiologies durant le procédé de fabrication de <i>Metidja</i>	60
Tableau III-3.	Résultats des analyses microbiologies durant le procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i>	60
Tableau III-4.	Résultats du test triangulaire.....	62
Tableau III-5.	Résultats du test de classement par rang.....	63
Tableau III-6.	Représentation des cinq spécialités fromagères analysées en groupes homogènes.....	65
Tableau III-7.	Analyse des différences par le test de Tukey (HSD) entre les spécialités fromagères sur la texture tranchable, la texture cassante et la couleur (avec un intervalle de confiance à 95%).....	68
Tableau III-8.	Analyse des différences par le test de Tukey (HSD) entre les spécialités fromagères sur la texture liquide et la texture tartinable (avec un intervalle de confiance à 95%).....	69
Tableau III-9.	Analyse des différences par le test de Tukey (HSD) entre les spécialités fromagères sur le goût (amer, piquant, salé acide, et sucré) et sur l'odeur.....	70
Tableau III-10.	Matrice de corrélation (Pearson (n)) entre les paramètres physicochimiques et les paramètres sensoriels.....	73

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1.	Structure de différents phosphates de sodium utilisés dans la fabrication des fromages fondus et des spécialités fromagères.....	I
Annexe 2.	Fonctionnement des sels de fonte ; (A) avant l'ajout des sels de fonte, (B) l'ajout des sels de fonte, (C) après l'ajout des sels de fonte.....	II
Annexe 3.	Effet de l'écémage sur la consistance de la pâte fromagère ; (D) avant écémage, (E) après écémage.....	II
Annexe 4.	Poudre de l'amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422).....	III
Annexe 5.	Installation de fonte de fromage continue UHT STERILCHOC FP 30000.....	III
Annexe 6.	Dénombrement des coliformes totaux (a) et des coliformes fécaux (b) après la pré cuisson de <i>Metidja</i>	IV
Annexe 7.	Dénombrement des coliformes totaux (a) et des coliformes fécaux (b) après le traitement UHT de <i>Metidja</i>	IV
Annexe 8.	Dénombrement des coliformes totaux (a) et des coliformes fécaux (b) après la cuisson de <i>Ladhidh au camembert</i>	IV
Annexe 9.	Test binomial à une queue. Probabilité de jugements corrects égale ou supérieure à X avec n essai ($p=1/3$).....	V
Annexe 10.	Différences des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de «tous les traitements» à un seuil de signification de 1 %.....	VI
Annexe 11.	Résultats de l'ANOVA pour les analyses physicochimiques avec un seuil de signification de 5 %.....	VII
Annexe 12.	Valeurs moyennes des notes d'appréciation hédonique pour les cinq spécialités fromagères.....	VIII
Annexe 13.	Résultats de l'ANOVA intergroupes pour le test hédonique avec un seuil de signification de 5 %.....	VIII
Annexe 14.	Résultats de l'ANOVA intragroupes pour le test hédonique avec un seuil de signification de 5 %.....	IX

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP	Analyse en composantes principales
ANOVA	Analyse de la variance
AOAC	Association of official analytical chemistry
A_w	Activité de l'eau
BLBVB	Bouillon lactosé bilié au vert brillant
DFI	Département Fédéral de l'Intérieur
ES	Extrait sec
ESD	Extrait sec dégraissé
EST	Extrait sec total
ISO	International standardisation organisation
MG	Matière grasse
MGLA	Matière grasse laitière anhydre
NaCl	Chlorure de sodium
NNS	Azote non sédimentable
NT	Azote total
pH	Potentiel d'hydrogène
RCM	Reinforced clostridial medium
SAG	Spores anaérobies gazogènes
trs	Tours
UHT	Ultra high temperature
USDA	United states department of agriculture
VRBL	Violet red bile agar with lactose

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le fromage a toujours été une valeur sûre de l'alimentation humaine. C'est le résultat d'une transformation du lait très ancienne puisque des écrits témoignent de sa fabrication quelque trois mille ans avant notre ère en basse Mésopotamie. Source précieuse de protéines, le fromage a été l'un des premiers moyens de conservation du lait, matière première rapidement périssable. Cependant, la coagulation du lait et l'égouttage du caillé qui en résulte n'offrent qu'une stabilité relative et variable selon les fromages qui sont des produits laitiers « vivants ». Ainsi, si la protéolyse est un phénomène fondamental lors de l'affinage, cette activité enzymatique se poursuit même à basse température et conduit au-delà d'un certain stade à une altération du fromage.

Plusieurs procédés ont été développés afin de prolonger la durée de vie du fromage. Le fromage fondu est une préparation beaucoup plus récente, qui a permis une stabilisation bien plus poussée des protéines lactiques, tout en conservant plus ou moins au produit fini l'aspect d'un fromage.

En 1911, WORKERS Swiss, GERBER Walter et STETTLER Fritz, ont procédé à la fonte du fromage Emmental en utilisant le citrate de sodium comme un sel de fonte conduisant à l'obtention d'un produit connu sous le nom « Schachtelkäse » (MEYER, 1973). Subséquemment, il a été démontré que d'autres fromages tels que le Cheddar peuvent être soumis à la fonte par addition d'autres types de sels de fonte comme les phosphates de sodium (GUINEE *et al.*, 2004).

L'Algérie est le premier consommateur de lait et produits dérivés au Maghreb et se place ainsi au troisième rang mondial en matière d'importation de laits et produits laitiers, après l'Italie et le Mexique (AMELLAL, 1995). Malgré l'immense diversification des types de fromage dans le marché, les fromages en portions ressortent avec une meilleure prédilection du consommateur algérien au dépend des autres types de fromage qui sont considérés comme des produits de luxe.

La hausse des prix des fromages fondus est le résultat des coûts élevés des matières premières d'origine laitière telles que les fromages, les caséines et les caséinates, le lactosérum et la matière grasse d'origine laitière. Dans la littérature, des travaux de recherche comme ceux de MOUNSEY *et al.* (2008a), NORONHA *et al.* (2008a) et KIZILOZ *et al.* (2009) ont fait l'objet de la commutation partielle ou intégrale de la matière grasse et de la matière protéique d'origine laitière par des matières premières d'origine végétale, dont le but est de réduire les coûts de production. Cette commutation entraînait des modifications des caractéristiques de la structure et de la rhéologie, mais aussi de la flaveur du produit fini, qui déterminent son acceptabilité auprès du consommateur.

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire vise une meilleure connaissance des phénomènes physicochimiques intervenant pendant le procédé de fabrication de la spécialité fromagère, une détermination de l'impact de la substitution partielle des protéines laitières par l'amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422) sur la viscosité et les propriétés d'écoulement ainsi que sur la texture du produit fini et enfin une détermination des corrélations existantes entre les paramètres physicochimiques et les caractéristiques sensorielles.

Hormis l'introduction et la conclusion, le manuscrit, résultat de ce travail, est donc organisé en trois grandes parties.

La première partie consiste en une synthèse bibliographique sur les spécialités fromagères fondues. En premier lieu, Les matières premières de la spécialité fromagère sont présentées. Après un rappel des préliminaires de la technologie, les données bibliographiques sur la technologie de la fonte ont été rassemblées. Les démarches de contrôle de qualité sont ensuite décrites.

Dans la deuxième partie est alors exposé l'éventail des matériels et les méthodes mis en œuvre dans le cadre du travail expérimental. Les techniques de caractérisation des propriétés physicochimiques et rhéologiques sont détaillées. Une petite brève de cette partie a été consacrée pour les analyses bactériologiques et les protocoles expérimentaux sont précisés. Trois tests d'évaluation sensorielle des produits sont abordés dans cette étude à savoir le test triangulaire, le test de classement par rang et le test hédonique. Une attention particulière a été portée à la description des principes et des choix qui président chacune des méthodes afin que l'exploitation des données soit facilitée.

Les résultats sont ensuite développés dans une troisième partie où ils sont discutés en trois étapes. Tout d'abord est présentée l'évolution des paramètres physicochimiques ainsi les propriétés d'écoulement et la viscosité pendant le procédé de fabrication. Par la suite, l'état et la morphologie des grains d'amidon réticulé dans le produit fini sont décrits. La deuxième étape porte sur les résultats obtenus lors des analyses microbiologiques. Enfin, les résultats des analyses sensorielles sont développés et une discussion fondée sur l'ensemble des résultats physico-chimiques et sensoriels permet de faire la synthèse sur les interactions entre paramètres physicochimiques et caractéristiques sensorielles.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. SPECIALITE FROMAGERE

La spécialité fromagère est obtenue par le mélange de fromages de différentes origines et à différents stades d'affinage avec des sels de fonte ; ce mélange est broyé puis chauffé sous vide partiel et agitation constante jusqu'à obtention d'une masse homogène (PAQUET, 1988 ; GUINEE *et al.*, 2004). D'autres ingrédients d'origine laitière et non laitière peuvent être additionnés au mélange.

1.1. Définition

La dénomination « spécialité fromagère fondue » est réservée au produit laitier, dont la teneur minimale en matière sèche est de 25 grammes pour 100 grammes de produit, préparé à partir de fromage et d'autres produits laitiers. Ce produit est obtenu par des techniques de traitement qui incluent la fonte et conduisent à l'émulsification des matières premières et doit avoir subi, au cours de sa fabrication, une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison de durée et de température d'effet équivalent (JORF, 2007).

1.2. Aperçu historique et économique

La possibilité de produire le fromage fondu a été traitée pour la première fois en 1895. Les sels de fonte n'étaient pas utilisés et le produit n'a pas réussi. Le premier fromage fondu réussi, dans lequel les sels de fonte ont été utilisés, était introduit en Europe en 1911 et aux USA en 1916 par Kraft (MEYER, 1973).

Selon FOX et McSWEENEY (1998), la fonte des fromages présente plusieurs avantages ; on peut citer :

- Une certaine quantité de fromage qui est difficile ou même impossible à commercialiser peut être employée ;

- Le mélange de différentes variétés de fromage et d'autres matières premières non laitières permet de donner des fromages fondus différents du point de vue consistance, flaveur et forme ;
- Ils ont une stabilité à la conservation sous des températures modérées, ce qui réduit le coût de stockage et du transport (CHRISTENSEN *et al.*, 2003) ;
- Ils sont plus stables que les fromages naturels pendant le stockage ;
- Une valeur nutritionnelle excellente, spécialement comme source de calcium et de protéines pour les enfants, et bonne aptitude à la satisfaction des besoins nutritionnels s'ils sont enrichit en vitamines et en minéraux (ZHANG et MAHONEY, 1991 ; SUKHININA *et al.*, 1997) ;
- Ils sont attractifs pour les enfants qui refoulent les saveurs poussées des fromages naturels.

La production de la spécialité fromagère dans différents pays est illustrée dans le tableau I-1. La production globale est estimée à une quantité de 2 millions de tonnes/an, qui est l'équivalent de 13 % du total des fromages.

Tableau I-1. Production mondiale de la spécialité fromagère entre 1995 et 2000 (en milliers de tonnes) (GUINEE *et al.*, 2004)

Pays	1996	2000	Evolution 1996/2000 (%)
France	126	134	+1.5
Allemagne	157	171	+2.2
Italie	20	20	+0.1
Belgique	54	55	+0.8
Espagne	39	37	-1.3
USA	1081		
Australie	50		
Japon	97		

L'Algérie est un pays importateur des fromages. L'évolution des importations des fromages a enregistré un taux de 75 % entre 1995 et 1998 (Tableau I-2). Ceci montre que la production des fromages en Algérie était faible et n'arrivait pas à satisfaire les besoins du marché algérien.

Tableau I-2. Evolution des importations des fromages en Algérie entre 1995 et 1998 (en tonnes)
(PADILLA et GHERSI, 2001)

1995	1996	1997	1998	Evolution 98/95	
				En volume	En %
9051	12 260	16 733	15 862	6 811	75

1.3. Classification

Selon la teneur en matière grasse de l'extrait sec (MG/ES), les fromages fondus peuvent se diviser en sept catégories (Tableau I-3).

Tableau I-3. Classification des fromages fondus (DFI, 2009)

Catégorie selon la teneur en MG	Teneur minimale MG/ES en g/kg	Fromage fondu ES minimal en g/kg	Fromage fondu à tartiner ES minimal en g/kg
Double crème	650	530	450
Crème	550	500	450
Gras	450	500	400
Trois-quarts gras	350	450	400
Demi-gras	250	400	300
Quart-gras	150	400	300
Maigre	moins de 150	400	300

Pour le fromage fondu et le fromage fondu à tartiner dont la dénomination comprend le nom d'une variété de fromage, seuls les produits suivants peuvent être employés, outre le fromage (DFI, 2009) :

- des matières grasses lactiques;
- du sel comestible;
- de l'eau potable ;

La composition doit satisfaire aux exigences suivantes:

- si la dénomination spécifique comprend une appellation d'origine, seul le fromage en question peut être utilisé pour la fonte;

- si la dénomination spécifique comprend une indication de provenance, le mélange utilisé pour la fonte doit contenir au moins 750 g par kilogramme de la variété citée. Le reste du fromage doit être comparable;
- pour toute autre dénomination de fromage, le mélange utilisé pour la fonte doit contenir par kilogramme plus de 500 g du fromage en question.

1.4. Valeur nutritionnelle

La spécialité fromagère comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Elle apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire (Tableau I-4). Ne nécessitant aucune préparation, c'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines, etc.) (MEYER, 1973).

Tableau I-4. Composition du fromage fondu (MEYER, 1973)

Composants	Composition par 100g de fromage fondu	
	45 % MG dans ES	60 % MG dans ES
Eau	51,3 %	50,6 %
Matière grasse	23,6 %	30,4 %
Protéines	14,4 %	13,2 %
Sodium	1,26 mg	1,01 mg
Potassium	65,0 mg	108 mg
Calcium	547,0 mg	355,0 mg
Phosphore	944,0 mg	795,0 mg
Vitamine A	0,30 mg	/
Vitamine D	3,13 µg	/
Vitamine B1	34,0 µg	40,0 µg
Vitamine B2	0,38 mg	0,35 mg
Vitamine B6	70,0 µg	80,0 µg
Biotine	3,60 µg	2,80 µg
Acide folique	3,46 µg	3,40 µg
Vitamine B12	0,25 µg	0,25 µg
Vitamine C	Traces	Traces
Valeur énergétique (Kj/Kcal)	1178/282	1490/339

2. MATIERES PREMIERES DE LA TECHNOLOGIE DE LA SPECIALITE FROMAGERE

Les spécialités fromagères sont fabriquées à partir des matières premières laitières et non laitières au lieu du lait ; caséine ou caséinates, lactosérum, matière grasse d'origine laitière et végétale, amidons, sels de fonte, additifs... (CARIĆ, 2000 ; FOX *et al.*, 2000 ; HUANG *et al.*, 2010).

2.1. Matières premières laitières

2.1.1. Les fromages naturels

Le fromage fondu et la spécialité fromagère sont les produits laitiers dans lesquels le fromage est l'ingrédient laitier majoritairement utilisé comme matière première (Commission codex alimentarius, 2004). Une sélection adaptée des fromages naturels est primordiale pour la fabrication d'une spécialité fromagère de qualité (CHAMBRE et DAURELLES, 1997).

D'après BOUTONNIER (2002), les fromages sont caractérisés par :

- le pH ;
- l'extrait sec total (EST) ;
- la matière grasse (MG) ;
- l'extrait sec dégraissé (ESD) ;
- la nature de la texture en liaison avec la structure de la pâte ;
- le niveau de minéralisation (% massique de calcium sur extrait sec dégraissé) ;
- la teneur en caséine relative.

Ces critères sont fondamentaux pour sélectionner les différents fromages en fonction du procédé technologique et des matériaux utilisés d'une part et du type de produit fini recherché d'autre part (USDA, 2007).

Le choix des fromages utilisés se fait entre le Cheddar, l'Emmental, le Gruyère, Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressée (McSWEENEY *et al.*, 2004) en se basant sur le type, la flaveur, la maturité, la consistance, la texture et l'acidité (CHAMBRE et DAURELLES, 1997).

2.1.2. Autres matières premières laitières

En outre des fromages, d'autres matières premières laitières sont utilisées pour la fabrication du fromage fondu. On peut citer, les concentrés protéiques laitiers, les poudres de lait écrémé, lactosérum, lactose, caséines-caséinates, protéines de sérum, coprécipités, crème, beurre et matière grasse laitière anhydre (FOX *et al.*, 2000).

2.1.3. Préfonte

Il s'agit de fromage déjà fondu qui résulte de la récupération de la pâte contenue dans différents endroits du circuit du produit dans l'atelier en fin de production et notamment au niveau du conditionnement. On a constaté en pratique que lorsqu'elle était refondue, la préfonte se comportait sur le plan de la chimie des colloïdes comme un fromage fondu ayant été exposé depuis un certain temps déjà aux phénomènes chimiques, physiques et mécaniques du processus de fonte. Ainsi, la préfonte transmet fortement ce processus physicochimique de modification de la structure au fromage fraîchement fondu auquel elle est ajoutée. Dès lors, le crémage est beaucoup plus rapide qu'en l'absence de préfonte (BERGER *et al.*, 1993).

Mais pour que cette addition soit profitable, la préfonte doit être de bonne qualité texturale, c'est-à-dire « crémeuse » et non surcrémée, sous peine d'entraîner un surcrémage de toute la pâte du fromage fondu. Son rôle régulateur du processus de fonte se justifie surtout dans le cas des fabrications de produits tartinables et son taux d'incorporation varie de 2 à 10 % en masse selon la nature des matières premières mises en œuvre et le type de texture recherché pour les produits finis. Elle est particulièrement intéressante dans le cas de traitements UHT pour lesquels la pâte est extrêmement fluide après stérilisation et le crémage relativement délicat (PATART, 1987).

2.2. Matières premières non laitières

2.2.1. Eau

L'humidité des fromages étant généralement faible et puisque l'on incorpore des poudres, il est absolument nécessaire d'apporter de l'eau au mélange. Celle-ci permet de solubiliser et de disperser les protéines et d'émulsionner par conséquent la matière grasse libre. Cette eau doit être de qualité alimentaire, c'est-à-dire avec une faible teneur en micro-organismes et en contaminants chimiques tels que les nitrates. Elle peut être apportée sous forme liquide en une ou plusieurs fois à différents moments de la fabrication mais toujours froide afin d'assurer une quantité d'eau de condensation constante lors du chauffage. Dans le cas des traitements thermiques de type stérilisation UHT, cette eau est injectée sous forme de vapeur dans une plage de 120 à 140°C et sous une pression de 2,105 à 4,105 Pa (MARSHALL, 1990 ; BERGER *et al.*, 1993 ; GLIGUEM *et al.*, 2009a).

Le ramollissement et l'augmentation de l'aptitude à la refonte des spécialités fromagères peuvent être attribués à l'effet de l'augmentation de la teneur en eau libre, à l'augmentation du volume des globules gras (GLIGUEM *et al.*, 2009b) et à la diminution des interactions protéines-protéines. A une humidité de 50 g/100 g, l'eau est presque entièrement liée au réseau caséique, elle va être servie comme une eau d'hydratation, à 52 g/100 g d'humidité, la capacité

d'hydratation du réseau caséique est dépassée ce qui donne une eau en plus appelée « eau libre ». Toute augmentation de l'humidité entraîne une augmentation de l'eau libre et l'optimum se situe à 54 g/100 g (HENNELLY *et al.*, 2005).

2.2.2. Matières premières végétales

Les matières premières d'origine végétale sont utilisées pour la fabrication du fromage fondu d'imitation (MOUNSEY *et al.*, 1999 ; 2008 ; KIZILOZ *et al.*, 2009). L'utilisation des matières premières d'origine végétale proscrit l'appellation « fromage fondu » et contraint à la dénomination « spécialité fromagère fondue » (BOUTONNIER, 2002).

2.2.2.1. Graisses végétales

Plus économiques que la matière grasse laitière, elles présentent en outre l'avantage d'une absence de cholestérol et d'une grande pauvreté en acides gras saturés (BACHMANN, 2000).

2.2.2.2. Protéines végétales

Des études ont été entreprises sur le remplacement de la caséine dans les spécialités fromagères par différents types de protéines végétales ; les protéines de soja, des arachides et le gluten du blé. Ces dernières ont une capacité élevée d'absorption d'eau et génèrent une consistance épaisse et peu fluide. Elles doivent être incorporées à de faibles doses (2 à 3 %) (CHEN *et al.*, 1979 ; LEE *et al.*, 1981 ; TARANTO et YANG, 1981 ; YANG et TARANTO, 1982 ; YANG *et al.*, 1983 ; KIM *et al.*, 1992 ; ORTEGA-FLEITAS *et al.*, 2001).

2.2.2.3. Amidon

Aucun autre ingrédient alimentaire ne rivalise avec l'amidon en terme de polyvalence et d'application dans l'industrie alimentaire. Les amidons ont été employés pour la diversification des textures ; l'amélioration de l'esthétique des produits ; la simplification de la déclaration du label ; la réduction des coûts de production ; la garantie de la consistance des produits et pour prolonger la durée de conservation (TAGGART *et al.*, 2009).

- **Source**

Malgré l'ubiquité de l'amidon dans la nature, le nombre des sources commerciales est très réduit. Les sources de l'amidon les plus importantes sont le maïs, la pomme de terre, le blé, le tapioca et le riz. Plusieurs céréales telles que le blé, le maïs et le maïs cireux sont cultivées en Amérique et en Europe, tandis que la pomme de terre provient des régions froides du nord

Européen. Le tapioca est originaire du Brésil, Thaïlande et Indonésie, et le riz de l'Asie. La morphologie et la taille des granules d'amidon sont illustrées dans le tableau I-5.

Tableau I-5. Caractéristiques des amidons et leurs empois selon leur origine botanique (NAYOUF, 2003)

Propriétés	Maïs	Maïs cireux	Pomme de terre	Manioc	Blé
- Taille des grains d'amidon (μm)	2-30	2-30	5-100	4-35	2-55
- % d'amylose	28	<2	21	17	28
- Pouvoir de gonflement à 95°C (g/g)	24	64	1150	71	21

- **Amidon réticulé alimentaire**

La réticulation consiste à créer des pontages inter ou intramoléculaires dans le granule d'amidon (Figure I-1). On trouve sur le marché des phosphates et des adipates de diamidon sur base maïs cireux et fécula de manioc pour les amidons à cuire, et sur base maïs cireux et fécula de pomme de terre pour les amidons précuits ou prégélatinisés (BOURSIER, 2008).

L'opération est réalisée par ajout des agents de réticulation à la suspension d'amidon maintenue à une température inférieure à la température de gélatinisation (inférieure 50). Le taux d'agent réticulant, c'est-à-dire le nombre de pontages inter ou intramoléculaire dans le granule d'amidon, est ajusté suivant la résistance qui doit être conférée à l'amidon : ce nombre varie environ de 1 pontage pour 3000 unités glucose pour un amidon faiblement réticulé à 1 pontage pour 300 unités glucose pour un amidon fortement réticulé (TAKACHE, 2006).

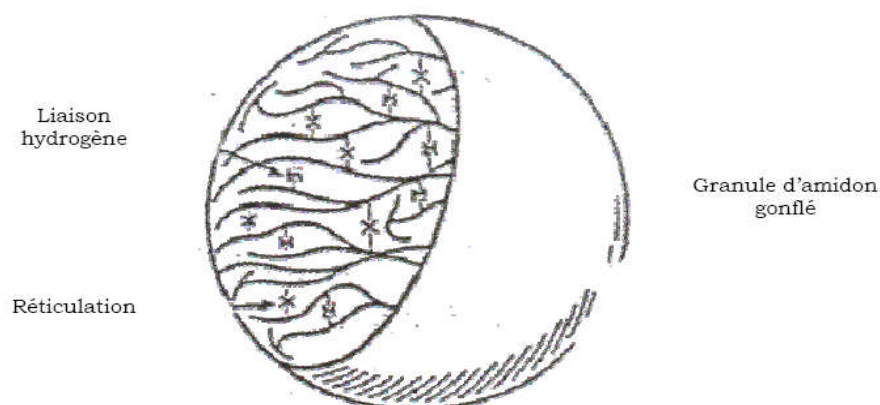


Figure I-1. Réticulation de l'amidon (CHENE, 2004)

Le processus de réticulation se produit lors de la formation de liaisons entre deux molécules d'amidon et il conduit à une augmentation du degré de polymérisation des molécules (Figure I-2). La structure du granule est renforcée pour qu'il soit plus résistant au gonflement et à la rupture, celle-ci étant provoquée par des températures et un cisaillement élevés.

Ces amidons sont obtenus dans des conditions de faibles températures (40 à 50°C) et à des pH variables, selon le réactif polyfonctionnel utilisé (acide pour les dérivés aldéhydiques et basique pour les autres). Les degrés de réticulation obtenus sont en général très faibles (0,5 %) mais sont toutefois suffisants pour modifier radicalement les propriétés des amidons (BULEON *et al.*, 1990). Ces amidons modifiés sont employés au niveau de la fabrication des produits conditionnés sous forme de boîtes stérilisables, des produits extrudés à chaud pour leur donner une meilleure expansion et enfin, au niveau des produits chauffés à haute température (plus de 100°C) (WÜRZBURG, 1995).

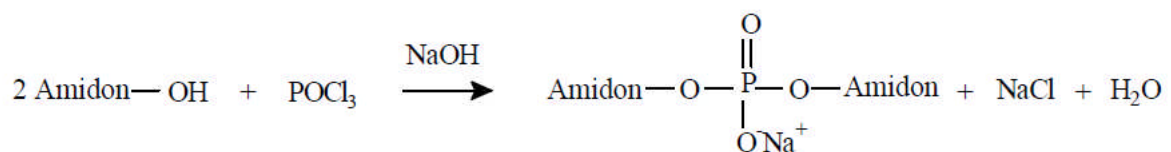


Figure I-2. Réticulation de l'amidon en présence de phosphore oxytrichlorure, en milieu alcalin et pour une température comprise entre 30 / 50°C (BULEON *et al.*, 1990)

- **Comportement hydrothermique des amidons réticulés**

Lors d'un traitement hydrothermique, le gonflement des granules d'amidon réticulé intervient à une température proche de la température de gélatinisation de l'amidon natif de référence. Les modifications structurales accompagnant la gélatinisation, se retrouvent sur les amidons réticulés, mais la solubilisation du contenu granulaire se fait peu ou pas (TAKACHE, 2006). Les pontages chimiques apportent une intégrité suffisante pour maintenir le grain d'amidon à l'état de granule gonflé. Contrairement aux amidons natifs, les amidons réticulés gardent cet état de granules gonflés qui peut disparaître lorsque la température de cuisson croît, les forces de cisaillements mécaniques augmentent et lorsque le pH du milieu diminue jusqu'à rupture des pontages chimiques (TAKACHE, 2006 ; BOURSIER, 2008).

2.2.3. Agents de texture

Ce sont des hydrocolloïdes qui, en présence d'eau ont un fort pouvoir épaississant voire gélifiant et une action stabilisante vis-à-vis de l'eau du produit. Ils peuvent être d'origine animale

(gélatine), végétale (amidon, gommés de guar, de caroube, alginates, carraghénanes, carboxyméthylcellulose...) ou produits par voie fermentaire (gommés xanthane et gellane) (KIZILOZ *et al.*, 2009). Leur rôle est d'améliorer la consistance et l'onctuosité de la spécialité fromagère, et permet d'éviter toute synérèse et par conséquent faciliter le décollement de l'emballage au contact du produit. En France, le recours à ces additions interdit l'appellation fromage fondu et contraint à la dénomination « spécialité fromagère fondue ». Les quantités couramment employées varient entre 0,1 et 0,25 % en masse. Toutefois, ces agents de texture ne peuvent pas remplacer en totalité les sels de fonte. Leur utilisation se justifie beaucoup plus dans le cas de la fabrication de fromages fondus à partir de fromages frais qui sont des matières premières fortement déminéralisées et pauvres en protéines. Dans ce cas particulier, l'association entre agents de texture et sels de fonte donne d'excellents résultats tant sur le plan de la stabilisation physico-chimique que sur le plan de la sensation en bouche (GUINEE *et al.*, 2002 ; LUCEY *et al.*, 2003).

2.2.4. Sels de fonte

Les sels de fonte utilisés dans la fabrication du fromage fondu sont essentiellement les sels de sodium de l'acide phosphorique et l'acide citrique (GUPTA *et al.*, 1984) (Tableau I-6).

Tableau I-6. Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte (BOUTONNIER, 2002)

Code Européen	Type d'acide ou de sel de fonte	Taux d'incorporation réglementaire
E 330	Acide citrique	Quantité suffisante (1)
E 331	Citrates de sodium	
E 338	Acide orthophosphorique	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 339	Orthophosphates de sodium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 340	Orthophosphates de potassium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 341	Orthophosphates de calcium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 450	Diphosphates de sodium, potassium et calcium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 451	Triphosphates de sodium et potassium	20 mg.kg ⁻¹ au total
E 452	Polyphosphates de sodium, potassium et calcium	20 mg.kg ⁻¹ au total

(1) Aucune toxicité n'a été démontrée ; aucune DJA (dose journalière admissible) n'a donc été fixée.

Les principales propriétés pour lesquelles les sels de fonte sont utilisés sont :

- **Le pouvoir complexant ou chélatant**

Il peut être défini comme l'aptitude à fixer des cations métalliques pour former des complexes solubles ; cette propriété de séquestration qu'ont les polyphosphates permet de retirer le calcium du système protéique (WAGNER et WAGNER-HERING, 1981 ; LAMURE, 1988 ; SCHÄR *et al.*, 2002). Il en résulte un réarrangement des molécules protéiques et l'exposition des groupes hydrophiles. L'évolution du calcium au cours de ce processus est donc un point important ; de même que l'état des phosphates et, secondairement, celui du potassium et du magnésium (HORNE, 1998).

- **Le pouvoir tampon**

L'ajustement du pH d'une formule de fromage fondu constitue une étape importante dans le procédé de fabrication. Les valeurs de pH tolérées durant le procédé se situent entre 5,6 et 6,1, le pouvoir tampon des sels de fonte affecte la conformation des protéines, l'hydratation et la séquestration du calcium (GUINEE *et al.*, 2004). Son effet sur la texture a été clairement démontré par KARAHADIAN *et al.* (1984). Les différents sels de fonte permettent, par leur pouvoir tampon, d'ajuster le pH du produit à la bonne valeur (GUPTA *et al.*, 1984 ; CHAMBRE *et al.*, 1997). Cependant, SWIATEK (1964) a rapporté que l'augmentation de la concentration de polyphosphate a un effet moindre sur le pH.

- **Effet bactériostatique**

Certains sels possèdent un effet bactériostatique, c'est le cas surtout des polyphosphates et des orthophosphates qui peuvent inhiber très nettement la multiplication de plusieurs espèces de *Salmonella*, des bactéries à Gram-positif y compris *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sporogenes* et *Clostridium botulinum* (VAN WAZER, 1971 ; TANAKA *et al.*, 1979, 1986 ; WAGNER, 1986 ; Ter STEEG *et al.*, 1995 ; LOESSNER *et al.*, 1997) en prolongeant la durée de conservation du produit fini. Cet effet s'explique par le fait que les parois et les membranes cellulaires de nombreux micro-organismes sont stabilisées par des ions Ca^{2+} . La liaison avec des anions qui ne peuvent traverser la membrane, comme c'est le cas avec les orthophosphates et les citrates, déstabilise l'enveloppe des micro-organismes (BOUTONNIER, 2002).

3. TECHNOLOGIE DE LA FONTE

Les principales étapes que comprend la fabrication de la spécialité fromagère sont représentées dans la figure I-3.

3.1. Sélection des matières premières et contrôle de qualité

Avant leur utilisation, les matières premières sélectionnées feront l'objet d'un contrôle rigoureux quant à leur composition physicochimique et bactériologique et leurs caractéristiques organoleptiques (CHAMBRE *et al.*, 1997).

3.2. Ecroûtage, découpage et broyage des fromages

Dans certains cas, la dureté des fromages peut entraîner des difficultés de fonte et une présence dans le produit fini de particules infondues.

L'écroûtage est réalisé traditionnellement par raclage ou abrasion, ou encore par de nouvelles techniques telles que les jets d'eau chaude sous pression. Pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de fonte, il est impératif de fragmenter les fromages (Figure I-3).

Ce broyage grossier est généralement suivi d'un broyage plus fin dans un appareil à double vis sans fin qui conduit les morceaux vers une grille dont les perforations mesurent 2 à 10 mm de diamètre selon le niveau d'intensité acceptable par le produit fini.

3.3. Préparation de la formule et procédé technologique

De l'eau et des sels de fonte sont ajoutés aux matières premières fromagères et laitières, puis un prébroyage de l'ensemble est effectué pendant quelques minutes pour obtenir un mélange prêt à être fondu (McSWEENEY *et al.*, 2004).

L'ordre d'addition des matières premières dépend du matériel à disposition, le type de cuiseur et la durée de cuisson. Selon McSWEENEY *et al.*, (2004), l'ordre typique de l'addition est comme suit : les meules de fromages, mélange de sels émulsifiants secs, les ingrédients laitiers tels que la poudre de lait, l'eau et d'autres agents technologiques tels les colorants, les hydrocolloïdes et les conservateurs.

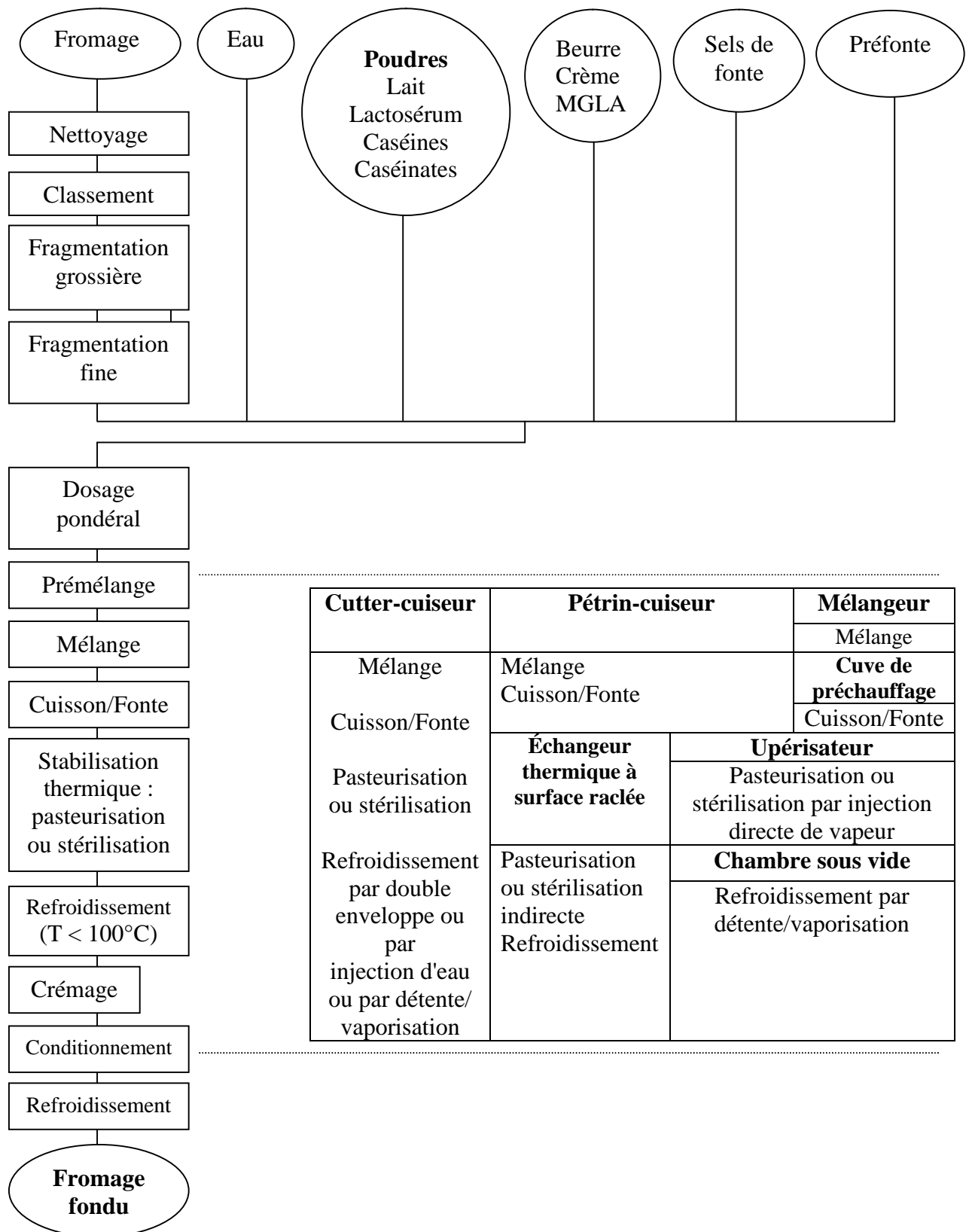
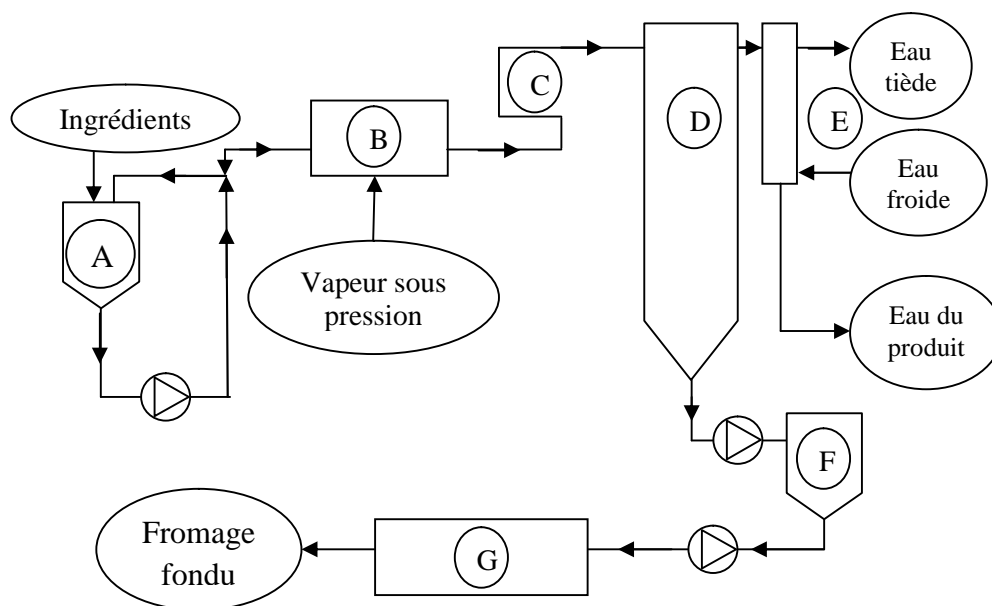


Figure I-3. Principales voies de fabrication du fromage fondu (GUINEE *et al.*, 2004)

3.3.1. Fonte proprement dite

C'est l'opération clef de la fabrication du fromage fondu, elle peut être réalisée dans des installations en continu reliées à des pompes d'eau, de vapeur et du vide (Figure I-4). Le temps et la température de fonte varient entre 70 et 95°C pendant 4 à 15 minutes, tout dépend de l'intensité de l'agitation, la texture souhaitée du produit fini et ses caractéristiques de conservation (FOX *et al.*, 2000). Les traitements thermiques sont généralement suffisants pour éliminer toutes formes végétatives (WARBURTON *et al.*, 1986), mais restent inadéquats pour se débarrasser des formes sporulées. Des températures supérieures à 130°C sont exigées pour éliminer quelques spores (ZEHREN et NUSBAUM, 1992 ; MAFART *et al.*, 2001).

Dans les cuiseurs continus, le mélange peut être chauffé jusqu'à 140°C pendant 2 à 20 secondes (traitement UHT à une valeur stérilisatrice de 4 min, c'est-à-dire de pratiquer un barème de stérilisation équivalent à 4 min à 121°C), puis refroidi et maintenu à une température comprise entre 70 et 95°C durant 4 à 15 minutes (ZUBER *et al.*, 1987 ; BLOND *et al.*, 1988 ; TATSUMI *et al.*, 1989 ; TATSUMI *et al.*, 1991 ; BEGUERIA, 1999).



- ⊞ Pompe
- Ⓐ Cutter : mélange/cuisson/fonte des ingrédients à une température de 90°C.
- Ⓑ Upérisateur : injection directe de vapeur alimentaire dans le produit.
- Ⓒ Chambreur : maintien de la température de stérilisation de 140°C pendant quelques secondes.
- Ⓓ Chambre de détente/flash sous pression réduite avec vaporisation instantanée d'une partie de l'eau du produit et refroidissement simultané de celui-ci à une température de 90°C.
- Ⓔ Condenseur : condensation de la vapeur d'eau évaporée du produit.
- Ⓕ Crémage : réglage de la consistance du fromage fondu par agitation à chaud.
- Ⓖ Conditionnement du fromage fondu à une température minimale de 70 à 75°C.

Figure I-4. Principe du traitement de stérilisation UHT directe : upérisation (BOUTOUNIER, 2002)

3.3.2. Homogénéisation

La masse fondue doit être homogénéisée avec des pressions variant entre 5 et 15 mPa. L'homogénéisation a un certain nombre d'effets (MEYER, 1973) :

- Amélioration de la stabilité de l'émulsion de matière grasse en diminuant la taille des globules gras ;
- Amélioration de la consistance, de la structure, de l'apparence et de l'onctuosité des spécialités fromagères ;
- Favorise une dispersion plus fine des globules gras (WALSTRA et JENNESS, 1984);
- Favorise généralement l'épaississement.

Toutefois, du fait de son coût supplémentaire, de la prolongation du temps de fabrication, l'homogénéisation n'est recommandée que pour les produits à teneur élevée en matière grasse (CARIC et KALAB, 1993).

3.3.3. Conditionnement

Le transfert du fromage se fait de plus en plus par des tuyauteries en acier inoxydable alimentant des couleuses pour éviter toute recontamination au conditionnement.

Le fromage fondu chaud liquide est emballé dans les feuilles d'aluminium laqué ou des contenants en matériau plastique thermoscellable. Le fromage fondu peut être aussi emballé en tube, en boîte de conserve, ou dans des boyaux en plastique (MEYER, 1973 ; ZEHREN et NUSBAUM, 1992 ; NORONHA *et al.*, 2008b).

3.3.4. Refroidissement

Un refroidissement trop lent peut favoriser le développement de la réaction de Maillard, mais sa vitesse varie en fonction du type du produit ; il doit être rapide pour les fromages fondus à tartiner et pour les spécialités fromagères afin d'interrompre le processus de crémage et conserver au produit une structure courte indispensable à l'obtention d'une tartinabilité satisfaisante. Il doit être lent pour les blocs.

Ce refroidissement peut se faire par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des tunnels de refroidissement (ECK et GILLIS, 1997).

3.3.5. Stockage du produit fini

Les produits mis en carton sont stockés dans des entrepôts dont la température se situe autour de 10 à 15°C et la durée de conservation peut être estimée entre 6 à 12 mois si les conditions optimales au cours de différentes étapes de fabrication sont bien respectées (ECK et GILLIS, 1997 ; GUINEE *et al.*, 2004 ; BUNKA *et al.*, 2008). A des températures de stockage comprises entre 30 et 35°C, une contamination par les moisissures, les levures et *Clostridium botulinum* pourra survenir ce qui peut mener à une sécrétion des toxines (KAUTTER *et al.*, 1979 ; TANAKA *et al.*, 1979 ; ECKNER *et al.*, 1994).

3.4. Défauts de fabrication

Au cours du processus technologique et pendant le stockage, quelques défauts technologiques peuvent apparaître (Tableau I-7).

Tableau I-7. Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager (BERGER *et al.*, 1989)

Aspect de la pâte	Origine possible	Remède
La pâte n'est pas homogène	- Le pH est faible, et sa valeur dépend de la matière première employée (ex : emmental nécessite un pH plus élevé que le cheddar)	- Augmenter le pH
	- La teneur de sel de fonte est faible - Le temps de cuisson étant court	- Augmenter la dose - Augmenter le temps
Le fromage fondu liquide	- La matière première utilisée n'est pas affinée, n'arrive pas à crémier ou à l'inverse, est trop vieille et ne gonfle pas	- Mélanger la matière première jeune avec une autre affinée
	- Les sels de fonte employés n'étaient pas crémants	- Mettre un sel de fonte crémant
	- Le mélange contient une quantité élevée d'eau	- Vérifier la qualité d'eau
La pâte forme des fils	- L'emploi des sels n'est pas adéquat	- Augmenter le temps
	- Temps de fonte court	- Augmenter la dose de sels
	- Dose de sels de fonte n'est pas exacte	- Augmenter la vitesse des brassoirs
	- Brasseur d'une vitesse faible	
à l'ouverture des pétrins la pâte est trop molle	pH élevé	Diminuer le pH
A l'ouverture du pétrin la pâte est relativement épaisse	pH faible	Augmenter le pH
Le fondu a un goût prononcé de fromage	Cela tient dans la plupart des cas, à un emploi élevé du fromage trop vieux où une valeur élevée du pH	- Si c'est possible de mélanger la matière première à un fromage plus jeune. - Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le goût indésirable

3.5. Facteurs favorisant la fonte

3.5.1. Effet de l'affinage du fromage

Plus le fromage est affiné, plus les protéines sont hydrolysées, plus elles perdent leurs propriétés émulsifiantes. D'où la nécessité de garder une quantité minimale nécessaire de caséine intacte (PATART, 1987).

3.5.2. Effet du pH

Les phases de peptisation (déstructuration) et de restructuration ne sont possibles que dans une gamme de pH comprise entre 5,2 et 6,2. Vers des pH = 5, la capacité émulsifiante des caséines est altérée et ne permet plus d'obtenir l'émulsion (MARCHESSEAU *et al.*, 1997).

3.5.3. Effet des sels de fonte

L'action peptisante ne se traduit pas par une augmentation continue de l'azote non sédimentable (NNS) lorsque la concentration en polyphosphate va en croissant. Il existe une concentration en polyphosphate au-delà de laquelle la valeur de NNS reste presque constante (CAVALIER-SALOU et CHEFTEL, 1991) (Figure I-5).

La capacité peptisante du pyrophosphate est faible. Ceci se traduit par un faible taux de calcium non sédimentable, témoignant du peu de pouvoir chélatant de ce sel vis-à-vis du calcium. Celle de l'orthophosphate est quasiment nulle. Ce sel est susceptible de former des ponts calcium entre les molécules de caséine. TATSUMI *et al.* (1975), remarquent que l'orthophosphate provoque une association des molécules de caséinate de calcium. NAKAJIMA *et al.* (1975), pensent que l'orthophosphate réagit préférentiellement avec le calcium colloïdal pour former des sels insolubles.

Pour obtenir une peptisation convenable, il faut que le polyphosphate utilisé contienne au moins 3 atomes de phosphore par molécule ; au-delà, l'influence de la condensation n'est pas sensible (DIMITRELI *et al.*, 2005). Par ailleurs, une peptisation suffisante n'apparaît qu'avec la présence de polyphosphates dont le taux de polymérisation est au moins égal au tripolyphosphate dans le mélange de sels de fonte (LEE *et al.*, 1979 ; 1986 ; ENNIS *et al.*, 1999).

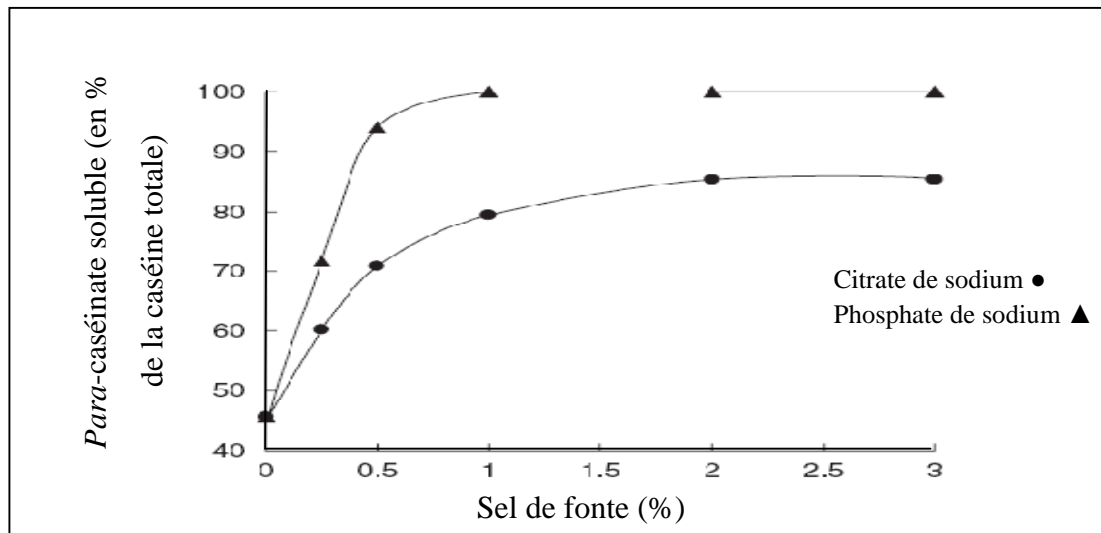


Figure I-5. Influence de la concentration des sels de fonte sur le pourcentage de NNS (300 000 trs/h à 20°C) (CAVALIER-SALOU et CHEFTEL, 1991).

3.5.4. Effet de la préfonte

Elle permet d'accélérer la cinétique de réaction et stabilise l'émulsion en favorisant les interactions protéines/lipides ; elle est utilisée pour améliorer la texture et la stabilité du fromage fondu (BERGER *et al.*, 1993).

3.6. Phénomènes biochimiques de la fonte

Les phénomènes biochimiques de la fonte peuvent être résumés en trois phases principales (Figure I-6).

3.6.1. Peptisation

Après avoir broyé finement les matières premières fromagères et des mises en contact avec l'eau et les sels de fonte on assiste au démarrage de l'étape de déstructuration. Les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble (LEE *et al.*, 1979 ; SCHÄFFER *et al.*, 1999).

Après l'échange du calcium contre du sodium, les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées ; c'est le stade de peptisation (SCHÄFFER *et al.*, 2001).

3.6.2. Crémage –phase de restructuration

Selon ÉTIENNE (1992), l'étape de crémage correspond à un épaississement du produit qui a deux origines :

- La peptisation des protéines, qui permet l'hydratation des chaînes, aboutit à un gonflement du milieu et à une augmentation de la viscosité.

- Les pyrophosphates de calcium formés au cours du traitement thermique ont une taille qui leur permet de s'insérer entre les chaînes protéiques pour former des liaisons ioniques inter et intra-protéiques ce qui entraîne la gélification du réseau.

La constitution du réseau protéique se fait d'autant plus vite que l'on incorpore de la préfonte ; cette dernière (fromage fondu déjà structuré) va conférer au sein du mélange où elle est introduite un modèle favorisant les interactions, ce qui va accélérer la cinétique de restructuration (LEE *et al.*, 1986).

3.6.3. Refroidissement

C'est au cours de cette phase que se produit la gélification. Le réseau protéique formé grâce aux liaisons hydrogènes, hydrophobes et ioniques établies, va se structurer pour former un gel qui va emprisonner fortement la matière grasse émulsionnée ainsi que l'eau d'hydratation (BOWLAND *et al.*, 2001 ; HENNELLY *et al.*, 2005).

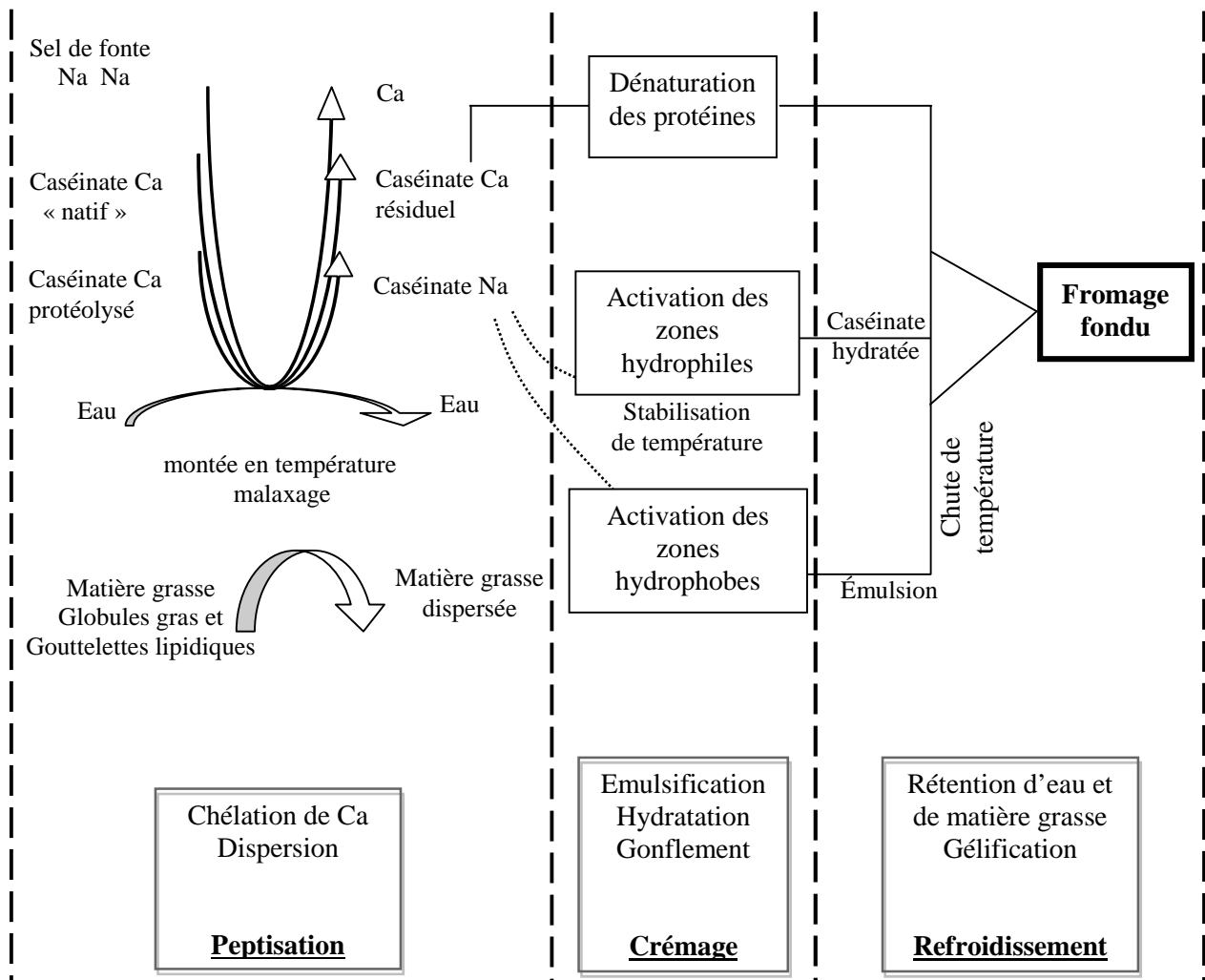


Figure I-6. Représentation schématique des phénomènes biochimiques de la fonte (PAQUET, 1988)

4. CONTROLE DE LA QUALITE

4.1. Qualité de la matière première

Ces contrôles doivent être réalisés dès l'arrivée des matières premières sur le lieu de fabrication (BOUTONNIER, 2002).

- **Plan physico-chimique** : pH, extrait sec et matière grasse. Il est également souhaitable de réaliser une analyse de la teneur en caséine relative, notamment pour les fromages affinés et de vérifier l'absence de contaminants.
- **Plan organoleptique** : aspect externe et interne, texture, couleur et flaveur.
- **Plan bactériologique** : estimation de la charge microbienne initiale en germes totaux et sporulés.

4.2. Qualité au cours de fabrication

Aux principales étapes du procédé de fonte, plusieurs paramètres doivent être suivis (BOUTONNIER, 2002).

- **Préparation, dosage** : respect des proportions des ingrédients par contrôle des masses des ingrédients respectifs.
- **Prémélange, mélange** : homogénéité de la pâte, mesure du pH et de la teneur en eau et si possible de la teneur en matière grasse.
- **Cuisson, fonte** : temps et température de fonte, vitesse de brassage.
- **Stabilisation thermique** : temps et température de pasteurisation ou de stérilisation, temps et température de refroidissement.
- **Crémage** : temps, température et intensité du brassage, qualité et quantité de préfonte ajoutée.
- **Conditionnement** : température de conditionnement, absence de fils de fromage, pliage et étanchéité des soudures pour les emballages souples, suivi des masses, de l'étiquetage et du banderolage.
- **Refroidissement** : temps et température.

4.3. Qualité du produit fini

- **Présentation** du fromage fondu emballé (contrôle général).
- **Emballage** : aspect, étanchéité.

- **Produit débarrassé de son emballage:**
 - *aspect externe* : brillance, couleur, absence de trous, de cristaux, de particules infondues, d'exsudation grasse... ;
 - *texture* : consistance par analyse pénétrométrique, tartinabilité ;
 - *flaveur* : olfaction, rétro-olfaction et gustation.
- **Tests de fonctionnalité** : stabilité à la chaleur, aptitude à la fonte dans différentes conditions (four à air chaud, four à micro-ondes...). Cette liste n'est pas exhaustive, seuls les principaux contrôles qualitatifs ont été mentionnés.

D'autres contrôles sont pratiqués, notamment ceux spécifiques à chaque type de fromage fondu ainsi que tous les contrôles quantitatifs.

Chapitre II : Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Lieux du travail

L'ensemble des travaux est effectué dans l'atelier du fromage fondu et au laboratoire de physicochimie et de microbiologie de la laiterie Beni Tamou de Blida. Les séances des analyses sensorielles ont été réalisées au niveau du laboratoire de l'Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agroalimentaires (I.N.A.T.A.A., U.M.C.).

2. Types de fromages étudiés

Notre étude a porté sur deux types de fromage en portions ; portions triangulaires dit « *Metidja* », et portions rectangulaires dit « *Ladhidh au camembert* ».

3. Fabrication des spécialités fromagères

3.1. Metidja

La formule pour la spécialité fromagère *Metidja* est constituée de :

- **Poudre**

- Amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422) à raison de 3 % sous forme de poudre blanche, pH = 6 à 8 et taux maximal d'humidité de 20 % ;
- Sels de fonte (Citrates de sodium E 331, Phosphate de sodium E 339, Diphosphate E 450 et Phosphate de calcium Polyphosphate E 452) ;
- Caséine présure et caséine acide ;
- Sel de table NaCl ;
- Poudre de lait à 0 % de matière grasse.

- **Matières**

Matière grasse végétale partiellement hydrogénée, Préfonte, matière protéique laitière (Cheddar, pâte fraîche, crème cheese, fromage frais, eaux blanches des pâtes molles, des pâtes fraîches, et des pâtes fondues).

- **Eau**

La quantité d'eau ajoutée dans les fromages était déterminée en tenant compte de la quantité d'agents humectant et de l'eau délivrée à l'état de vapeur (condensat) au cours de la cuisson.

Le procédé de fabrication est illustré dans la figure II-1. Une quantité de 25 % de l'eau totale est injectée à froid ainsi que les poudres dans le mélangeur où elles sont mélangées pendant 10 minutes. Les matières sont par la suite additionnées, et enfin l'eau chaude à 70°C est injectée. Le tout est mélangé pendant 45 minutes. La précuisson est effectuée à 90°C (68°C à 110°C), puis le mélange subit un traitement UHT à 138°C pendant 3 secondes (132°C à 145°C), puis le produit est refroidi et conditionné.

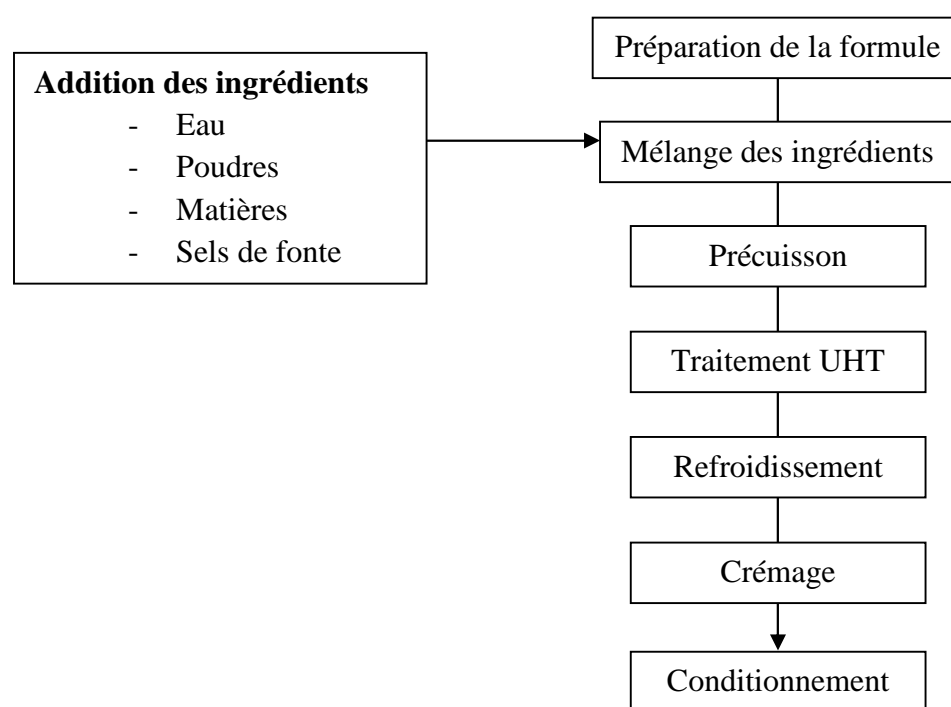


Figure II-1. Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère *Metidja*

3.2. Ladhidh au camembert

Pour *Ladhidh au camembert*, après préparation de la formule de la même manière que pour *Metidja*, mais sans amidon réticulé, le mélange subit les opérations suivantes :

- Broyage (à 30°C pendant 200 secondes, vitesse des couteaux 2500 trs/min) ;
- Injection de vapeur d'eau à 110°C (première quantité d'eau) ;

- Recirculation (1500 trs/min) ;
- Chambrage (60 secondes) ;
- Injection d'eau froide à 90°C (deuxième quantité d'eau) ;
- Recirculation (1500 trs/min pendant 30 secondes).

Subséquentement, la pâte passe par le crémage à 1500 trs/min pendant 60 secondes et enfin le fromage est conditionné en portions rectangulaires de 90 g (Figure II-2).

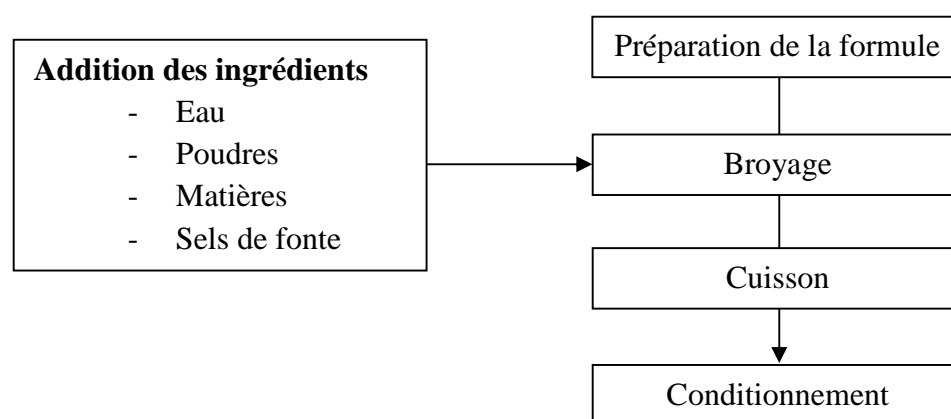


Figure II-2. Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère *Ladhidh au camembert*

4. Prélèvement et échantillonnage

4.1. Metidja

Le prélèvement est effectué dans quatre points du procédé de fabrication dans trois flacons stériles pour chacun des prélèvements ; au niveau du mélangeur, après la précuisson, après traitement UHT deux prélèvements et après le conditionnement dans la couleuse.

4.2. Ladhidh au camembert

Pour *Ladhidh au camembert*, les prélèvements ont été réalisés de la même manière mais seulement à trois niveaux de fabrication ; après broyage, après cuisson et dans la conditionneuse.

Les flacons stériles sont stockés par la suite dans un réfrigérateur à une température de 4°C jusqu'à analyse.

5. Analyses physicochimiques

5.1. Mesure du pH

Les mesures du pH sont réalisées avec un pH-mètre (Model 9450, Unicam, Cambridge, UK) en introduisant directement les deux sondes (pH et température) dans un échantillon de la pâte de fromage à une température de 20 à 25°C. Les mesures ont été faites en triple.

5.2. Mesure de la teneur en matière grasse

La matière grasse est déterminée par la méthode de Gerber ou méthode acidobutyrometrique de VAN GULIK (ISO : 3433-2002).

- **Principe**

La matière grasse du fromage est séparée par centrifugation au butyromètre, après avoir dissous les protéines du fromage par l'acide sulfurique. La séparation de la matière grasse est favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool isoamylique. La teneur en matière grasse est obtenue par lecture directe sur l'échelle du butyromètre.

- **Mode opératoire**

Dans un contenant en verre préalablement taré, on introduit 4 g de l'échantillon de fromage. On introduit le gobelet dans la panse du butyromètre et on fixe le bouchon au col. On ajoute l'acide sulfurique par l'ouverture de la tige jusqu'à ce que le niveau d'acide dépasse le gobelet de 2 mm environ.

Après avoir bouché l'ouverture de la tige, le butyromètre est placé dans un bain d'eau à 65°C. On agite de temps en temps le butyromètre dans un plan horizontal jusqu'à dissolution complète de la prise d'essai.

On ajoute 1 ml d'alcool iso-amylique, ensuite de l'acide sulfurique jusqu'au trait 35 ml de la graduation. Le butyromètre est agité énergiquement dans un agitateur vortex pour rendre le liquide homogène et placé ensuite dans le bain d'eau pendant 5 min.

On centrifuge pendant 10 min et on place de nouveau le butyromètre dans le bain d'eau pendant 5 min. La teneur en matière grasse est obtenue par lecture directe sur la graduation du butyromètre et les mesures sont effectuées en triple.

5.3. Mesure de l'extrait sec

La détermination de l'extrait sec est réalisée par un dessiccateur SARTORI W-M150, son principe repose sur l'élimination de toute l'eau à une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'un poids constant de la prise d'essai analysée.

Une prise d'essai de 3 g est étalée sur toute la surface d'une capsule en aluminium préalablement tarée, puis introduite dans le dessiccateur et l'analyse est lancée. La valeur de l'extrait sec en pourcentage (%) est lue directement sur l'afficheur numérique après le bip sonore. Les mesures sont effectuées en triple.

5.3.1. Détermination de l'extrait sec par la méthode de référence

- **Principe**

Cette méthode est basée sur l'évaporation de l'eau d'une prise d'essai, en présence de sable (sable de quartz ou sable de mer lavé aux acides de granulométrie $> 150 \mu\text{m}$ et $< 600 \mu\text{m}$), dans une étuve à la température de $102 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à poids constant (ISO : 5534-2004).

- **Mode opératoire**

- **Essai à blanc**

Parallèlement à la détermination de la prise d'essai, effectuer un essai à blanc selon le même mode opératoire que pour la préparation de la capsule et la détermination mais sans la prise d'essai.

- **Préparation de la capsule**

Placer la capsule contenant environ 20 g de sable, la baguette et le couvercle à l'étuve pendant au moins 1 heure, lorsque l'étuve a atteint la température requise.

Mettre le couvercle, laisser refroidir la capsule fermée dans le dessiccateur jusqu'à température ambiante et peser l'ensemble à 1 mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales.

- **Prise d'essai**

- Faire glisser le sable sur un côté en inclinant de capsule préparée.
- Mettre environ 3 g de l'échantillon sur une surface de la capsule exempte de sable.
- Remettre le couvercle, y disposer la baguette et peser à 1 mg près, enregistrer la masse à 4 décimales près.

➤ Détermination

- Mélanger soigneusement ensemble la prise d'essai et le sable et étaler régulièrement le mélange sur le fond de la capsule.
- Laisser l'extrémité aplatie de la baguette dans le mélange.
- Placer à l'étuve la capsule avec le couvercle dessous pendant 3 heures (une fois que la température requise est atteinte).
- Mettre le couvercle, laisser refroidir la capsule fermée dans le dessiccateur jusqu'à température ambiante et peser à 1 mg près, enregistrer la masse à 4 décimales près.
- Mettre de nouveau à l'étuve pendant 1 heure (une fois que la température requise est atteinte).
- Mettre le couvercle et laisser refroidir au dessiccateur comme précédemment.
- Peser à 1 mg près, enregistrer la masse à 4 décimales près.
- Répéter la mise à l'étuve pendant 1 heure jusqu'à observer, entre 2 pesées successives, une diminution de masse ≤ 2 mg ou une augmentation de masse. Noter la masse la plus faible.

- **Expression des résultats**

La matière sèche exprimée en pourcentage en masse, est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$MS = [(m_2 - m_0) - (m_3 - m_4) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

Où :

MS : matière sèche.

m_0 : est la masse, en gramme, de la capsule (y compris le sable), du couvercle et de la baguette.

m_1 : est la masse, en gramme, de la capsule (y compris le sable), du couvercle, de la baguette et de la prise d'essai.

m_2 : est la masse, en gramme de la capsule (y compris le sable), du couvercle, de la baguette et de la prise d'essai sèche.

m_3 : est la masse, en gramme de la capsule utilisée pour l'essai à blanc pour le même temps de dessiccation que m_2 .

m_4 : est la masse, en gramme de la capsule préparée utilisée pour l'essai à blanc.

Exprimer le résultat en g / 100 g avec 2 décimales.

5.4. Détermination du taux de cendres

Le taux de cendres est déterminé selon la méthode décrite par AOAC (2002) par calcination d'une prise d'essai de 5 g de la spécialité fromagère dans un creuset à une température de 550°C dans un four à moufle « LINN HightTherm » pendant 4 heures, par la suite les cendres contenues dans les creusets sont transférées dans un dessiccateur puis pesées par une balance de précision.

La teneur en cendre se détermine par la formule suivante :

$$\text{Taux de cendre (\%)} = (M_f - M_0 / 5) \times 100$$

Où : M_f : masse à vide du creuset plus celle de l'échantillon, M_0 : masse à vide du creuset.

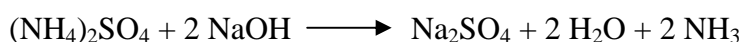
La détermination du taux de cendres est réalisée en triple.

5.5. Dosage du taux de protéines

La détermination de la matière azotée est effectuée selon la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1997).

Cette méthode de référence est fondée sur la transformation de l'azote organique en azote minéral sous forme ammoniacale $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par l'action oxydative de l'acide sulfurique bouillant sur la matière organique en présence d'un catalyseur de minéralisation (Na_2SO_4 17 g/100 g ; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1,5 g/100 g).

Les échantillons sont introduits dans des matras (tubes de minéralisation), puis minéralisés sur une rampe (Kjeldatherm, Gerhardt, Les Essarts le Roi, France) à 420°C pendant 3 h. Le sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ est le produit essentiel de la minéralisation, obtenu par l'ajout d'acide sulfurique 0,01N (H_2SO_4). Une base forte (NaOH) est ajoutée en volume égal au volume d' H_2SO_4 introduit.



Au cours de la distillation, l'hydroxyde d'ammonium formé (NH_4OH) est entraîné par la vapeur d'eau et récupéré dans un vase de titrage contenant une solution d'acide borique en excès. Le borate d'ammonium formé $((\text{NH}_4)_3\text{BO}_3)$ fait augmenter le pH de la solution. La solution est ensuite titrée par de l'acide sulfurique titre. Le volume d'acide sulfurique ajouté correspond à l'ammonium contenu dans l'échantillon du départ. Le dosage est réalisé de façon automatique

avec un appareil de type Vapodest 50 Gerhardt. Pour chaque échantillon, l'analyse est répétée trois fois.

Les résultats sont exprimés en g pour 100 g de fromage selon les formules suivantes et les résultats finaux sont exprimés en pourcentage d'azote total (% NT).

$$NT = (V_1 - V_0) \times 0,14 \times 10 / P$$

$$\text{Taux protéines (g/100 g fromage)} = 6,38 \times NT$$

Avec V_1 : volume d' H_2SO_4 nécessaire au titrage de l'échantillon en ml ;

V_0 : volume d' H_2SO_4 nécessaire au titrage du blanc en ml ;

P : masse de l'échantillon du fromage en g ;

6,38 : facteur protéique (ADLER-NISSEN, 1986).

5.6. Dosage du taux de chlorures

La teneur en chlorure de sodium est déterminée par une méthode potentiométrique au moyen d'un chloruromètre (Subra-S100 Grosseron, St-Herblain, France). Une prise d'essai de 10 g de fromage exactement pesés, sont ajoutés 90 ml d'eau distillée. L'ensemble est homogénéisé dans un mortier. L'appareil est mis en marche 20 minutes avant la mesure. Le commutateur est positionné sur 100 μ l. Un volume de 15 ml de solution "pour chloruromètre", selon la formule du fabricant, sont introduits dans un bécher. Après avoir mis le bécher en place, le bouton "C" (conditionnement) est actionné, afin d'éliminer les traces de NaCl dans la solution. Une valeur fixe est affichée. Un volume d'un ml de solution à 1 $g.l^{-1}$ de NaCl est ajouté et le bouton "T" (titration) est actionné. Dans le récipient contenant encore la solution d'étalonnage, 1 ml de la suspension aqueuse de fromage est introduit, suivi d'une titration. Les résultats sont exprimés en g (NaCl). kg^{-1} de fromage (DFI 88A : 1988).

5.7. Observation microscopique de l'amidon

5.7.1. Observation morphologique des grains d'amidon (E 1422)

L'observation des grains d'amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422), est réalisée par un microscope optique sous un objectif de grandissement (G x 100), en montant une pincée de la poudre d'amidon avec une goutte d'huile de cèdre pour une clarté microscopique entre lame et lamelle puis (DALLY *et al.*, 2007).

5.7.2. Observation morphologique des grains d'amidon dans la spécialité fromagère

Quelques mg de la spécialité fromagère sont parfaitement étalés sur une lame avec une goutte d'huile de cèdre, puis une lamelle est posée. L'échantillon est observé au microscope optique avec un objectif de grandissement ($G \times 100$).

Des photos sont prises sur les observations à l'aide d'un appareil photo numérique à une résolution de 3 Méga pixel.

5.8. Mesure de la viscosité

La viscosité a été déterminée par un viscosimètre BRABENDER MESSTECHNIK intégré dans le crémeur à un niveau de la pâte fromagère de 380 kg et à une température de 83°C pour la spécialité fromagère *Metidja*, et à une vitesse du racleur de 7 trs/min, un niveau de 14 cm et une température de $73 \pm 1^\circ\text{C}$ pour *Ladhidh au camembert* toutes les 5 minutes.

5.9. Mesure de l'écoulement

La détermination de l'écoulement est réalisée par la méthode d'OLSON et PRICE (1958) modifiée par MOUNSEY et O'RIORDAN (1999).

Un tube de 2 cm de diamètre intérieur et 20 cm de long est gradué tous les 2 cm dans le sens de la longueur et fermé par des bouchons en caoutchouc aux deux extrémités. Dix-sept grammes de la spécialité fromagère sont préalablement placés dans le tube et tassés jusqu'à occuper un volume correspondant à une distance dans le tube de 5,5 cm de long. Ce tube est placé horizontalement dans un bain marie à une température de 82°C pendant 9,5 minutes. Le tube est par la suite retiré du bain marie et la distance parcourue à partir de la ligne de référence est mesurée en mm après 1 minute à une température ambiante comme indicateur de l'écoulement.

5.10. Analyses statistiques

Les résultats ont été traités à l'aide d'un logiciel statistique XLSTAT (2008). Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour déterminer la signification des évolutions des paramètres physicochimiques pendant le procédé de fabrication (le seuil de signification a été fixé à 0,05).

6. Analyses bactériologiques

Au cours de la présente étude, nous nous sommes bornés à vérifier la présence ou l'absence des germes indicateurs des conditions d'hygiène, compte tenu des règlements sanitaires. Selon TESONE et QUEVEDO (1978), les germes d'importance particulière qui peuvent être à l'origine de toxi-infections alimentaires sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les staphylocoques et les spores anaérobies gazogènes (SAG).

6.1. Dénombrement des coliformes et/ou des coliformes présumés

6.1.1. Rappel

Les coliformes sont compris dans la famille des Enterobacteriaceae mais appartiennent à des genres différents tels que Citrobacter, Klebsiella, Escherichia et Enterobacter. Ce sont des bacilles Gram (-) à oxydase négatif.

6.1.2. Principe

Numération des colonies caractéristiques des coliformes totaux qui se sont développées en 24 h à 30°C et les coliformes fécaux se développent en 24 h à 44°C, sur gélose VRBL puis confirmation du nombre de colonies par fermentation du lactose. Il s'agit d'un dénombrement de coliformes (NF ISO 4832).

6.1.3. Milieux de culture

Le milieu de culture est une gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL) avec un pH = $7,4 \pm 0,2$ à 25°C, sa composition est donnée dans le tableau II-1.

Tableau II-1. Composition de la gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL)

- Digestat enzymatique de tissus animaux (Peptone)	7,0 g
- Extrait de levure.....	3,0 g
- Lactose	10,0 g
- Sels biliaires	1,5 g
- Chlorure de sodium	5,0 g
- Rouge neutre.....	30,0 mg
- Cristal violet	2,0 mg
- Agar-agar.....	12 à 18 g

- Eau	1000 ml
-------------	---------

6.1.4. Milieu de confirmation

Le milieu de confirmation est le bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB) avec un pH = $7,2 \pm 0,2$ à 25°C, sa composition est donnée dans le tableau II-2.

Tableau II-2. Composition du bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB)

- Digestat enzymatique de caséine (Tryptone).....	10,0 g
- Lactose	10,0 g
- Bile de bœuf déshydratée	20,0 g
- Vert brillant	0,0133 g
- Eau	1000 ml

6.1.5. Mode opératoire

- Inoculer dans une boîte de pétri stérile, 1 ml de l'échantillon ou de la dilution primaire ;
- Recommencer avec la première dilution décimale, puis avec les dilutions décimales suivantes ;
- Couler la gélose en surfusion dans chaque boîte de Pétri ;
- Homogénéiser parfaitement l'ensemble par rotation et laisser solidifier ;
- Réaliser ensuite une double couche du milieu VRBL en surface du milieu ensemencé ;
- Incuber à $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$.

6.1.6. Sélection et numération des colonies

Les colonies caractéristiques des coliformes sont violacées avec un diamètre de 0,5 mm ou plus et parfois entourées d'une zone rougeâtre due à la précipitation de la bile. Les résultats sont exprimés en nombre de coliformes / ml du produit.

6.2. Dénombrement des staphylocoques

6.2.1. Principe

A partir de l'échantillon (produit liquide) ou de la solution mère (autres produits), on réalise des dilutions décimales et, en parallèle, on ensemence en surface de gélose Baird Parker précoulée en boîte de Pétri avec chacune des dilutions retenues (ISO 6888-1).

Après une incubation de 48 heures à 37°C, les colonies caractéristiques et/ou non caractéristiques apparues sont dénombrées.

6.2.2. Milieu de culture

Le milieu de culture est une gélose Baird Parker précoulée avec un pH de $7,2 \pm 0,2$ à 25°C , sa composition est donnée dans le tableau II-3.

Tableau II-3. Composition du milieu Baird Parker précoulée

- Tryptone.....	9,47 g
- Extrait de viande	4,74 g
- Extrait autolytique de levure.....	0,95 g
- Pyruvate de sodium	9,47 g
- Glycine	11,37 g
- Chlorure de lithium.....	4,74 g
- Agar agar bactériologique.....	14,21 g
- Plasma de lapin, EDTA.....	25,0 ml
- Fibrinogène bovin	5,0 g
- Inhibiteur de trypsine.....	25,0 mg
- Tellurite de potassium.....	25,0 mg
- Eau.....	1000 ml

6.2.3. Mode opératoire

- Sécher les boîtes de gélose dans une étuve à $46^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ jusqu'à disparition complète des gouttelettes à la surface du milieu (couvercle enlevé et surface de la gélose tournée vers le bas).

- Homogénéiser chaque dilution avant inoculation à la surface des boîtes gélosées et avant la réalisation des dilutions décimales.

- Déposer 0,1 ml, de la suspension mère et / ou des dilutions décimales retenues, à la surface de la gélose en changeant de pipette à chaque dilution.

- Etaler soigneusement l'inoculum le plus rapidement possible sans toucher les bords de la boîte.

- Laisser les boîtes, couvercle fermé, pendant 15 minutes à température ambiante.

- Incuber à l'étuve pendant 48 heures ± 2 heures à $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

6.2.4. Dénombrement

Les boîtes contenant moins de 150 colonies caractéristiques et / ou non caractéristiques au niveau de deux dilutions successives sont retenues ; mais l'une d'entre elle doit renfermer au moins 15 colonies. Les colonies caractéristiques et / ou non caractéristiques sont dénombrées manuellement.

Les colonies caractéristiques après $48\text{h} \pm 2\text{h}$ d'incubation sont noires ou grises, brillantes et convexes dont le diamètre est au minimum de 1 mm et au maximum 2,5 mm entourées d'un halo d'éclaircissement et de précipitation.

Les colonies non caractéristiques après $48\text{h} \pm 2\text{h}$ d'incubation sont noires et brillantes avec ou sans bord blanc étroit avec les halos d'éclaircissement et de précipitation absents ou à peine visibles. Elles peuvent être grises dépourvues de zone claire.

6.3. Dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG) : Technique du nombre le plus probable NPP

6.3.1. Principe

Ensemencement de 3 tubes par dilution décimale, ceci pour 3 dilutions décimale successives, d'un milieu semi-solide non sélectif RCM (Reinforced Clostridial Medium) de Hirsch et Grinsted, ajout d'un bouchon d'agar pour obtenir les conditions d'anaérobiose. Mise en évidence de la production de gaz et obtention d'un coefficient NPP par calcul du nombre de tubes positifs et comparaison avec la table NPP. Les résultats sont exprimés en nombre des spores anaérobies gazogènes par gramme du produit.

6.3.2. Milieux de culture et réactifs

- **Bouillon RCM de Hirsch et Grinsted**

Le tableau II-4, donne la Composition en grammes pour 1 litre de milieu Bouillon RCM de Hirsch et Grinsted (38 g/l).

Tableau II-4. Composition en grammes pour 1 litre de milieu Bouillon RCM de Hirsch et Grinsted (38 g/l)

- Tryptone.....	10
- Extrait de viande.....	10
- Extrait enzymatique de levure.....	3
- Cystéine (Chlorydrate)	0.5
- Chlorure de sodium (NaCl)	5
- Glucose	5
- Amidon soluble.....	1
- Acétate de sodium	3
- Agar agar bactériologique	0.5

- **Gélose RCM de Hirsch et Grinsted**

Le tableau II-5, donne la Composition en grammes pour 1 litre de milieu de gélose RCM de Hirsch et Grinsted (52,5 g/l)

Tableau II-5. Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM de Hirsch et Grinsted

- Tryptone	10
- Extrait de viande	10
- Extrait enzymatique de levure.....	3
- Cystéine (Chlorydrate)	0.5
- Chlorure de sodium (NaCl)	5
- Glucose	5
- Amidon soluble.....	1
- Acétate de sodium	3
- Agar agar bactériologique	15

- **Milieu RCM semi-solide**

Le milieu complet est obtenu en utilisant pour une préparation d'un litre de milieu semi solide comme l'indique le tableau II-6. Pour le milieu semi solide, sa composition est donnée par le tableau II-7.

Tableau II-6. Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM semi-solide

Bouillon RCM de Hirsch et Grinsted.....	32 g
Gélose RCM de Hirsch et Grinsted	8 g
Eau	1000 ml

- Mettre en suspension dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée ;
- Porter à ébullition lentement en agitant jusqu'à dissolution complète ;
- Répartir en tubes à vis de diamètre 16 x 160 mm à raison de 10 ml par tube ;
- Stériliser à 121°C pendant 15 minutes.

Les milieux préparés doivent être systématiquement désaérés avant utilisation même dans le cas où ils sont préparés le jour de l'utilisation, les milieux désaérés sont portés à $46 \pm 1^\circ\text{C}$ avant utilisation.

- **Agar (bouchon)**

L'agar utilisé comme bouchon est obtenu par dissolution complète de l'agar bactériologique type E dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée, répartir en flacons à vis à raison de 100 ml maximum par flacon et enfin stériliser à 121°C pendant 15 minutes.

6.3.3. Mode opératoire / méthode de dénombrement

- **Epreuve thermique**

Réaliser une épreuve thermique à 80°C pendant 10 minutes effectives.

- **Ensemencement et incubation des milieux**

Trois tubes par dilution et 3 dilutions successives

- Transférer 1 ml de la dilution primaire dans 3 tubes de milieu désaéré, faire de même avec les 2 dilutions suivantes ;
- Mélanger soigneusement l'inoculum et le milieu sans introduire d'air ;
- Refroidir rapidement jusqu'à semi-solidification ;
- Ajouter un bouchon de 3 ml de la solution d'agar maintenue à $46 \pm 1^\circ\text{C}$ (environ 1,5 cm) ;
- Refroidir de nouveau jusqu'à solidification du bouchon d'agar ;
- Incuber les tubes à $37 \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 5 jours ($120 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$).

- **Lectures des tubes et expression des résultats**

- Noter comme positif les tubes présentant une production de gaz (soulèvement du bouchon, décollement de la paroi des tubes, fissures de la gélose...);
- Calculer le nombre de tubes positifs par dilution et utiliser ce nombre pour lire le coefficient sur la table NPP ;
- Seuls, les coefficients appartenant aux catégories 1 et 2 sont acceptables ;
- Exprimer le résultat en nombre de spores par gramme de produit en tenant compte du facteur de la 1^{ère} dilution.

7. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle s'est déroulée en trois étapes. Nous avons réalisé un test triangulaire, un test de classement et un test de dégustation.

7.1. Les sujets

Le panel est constitué de 09 sujets de sexe masculin ; étudiants en graduation et en postes graduation de l'Institut de Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaire (I.N.A.T.A.A.) de l'Université Mentouri Constantine, et recrutés selon leur motivation et leur disponibilité pour participer au test. Il leur est montré la façon dont les bulletins seront remplis, en se servant de bulletins agrandis projetés sur un écran. Nous avons évité de discuter de l'aliment qui sera soumis aux essais, en expliquant la méthode et les protocoles d'analyses utilisées, pour réduire la confusion et rendre la tâche plus facile aux dégustateurs. Il est important qu'ils comprennent bien les procédures utilisées et la façon de remplir les cartes de notation afin de participer aux essais sur la même base.

Il faut recommander aux dégustateurs d'éviter l'utilisation de produits à l'odeur prononcée, comme les savons, les lotions et les parfums avant de participer à un panel et d'éviter de manger, de boire ou de fumer au moins 30 minutes avant de procéder aux essais.

7.2. Déroulement de l'analyse

Les analyses sensorielles ont été réalisées en trois tests ; test triangulaire, test de classement et test hédonique. Avant l'analyse, les spécialités fromagères à analyser sont au préalable découpées en échantillons cubiques de 10 g et équilibrées à la température ambiante (21°C).

7.2.1. Test triangulaire

Le test triangulaire est une forme de test de différence dont on se sert couramment pour déterminer s'il y a des différences perceptibles entre deux échantillons (ISO 4120, 1983). Ce test s'utilise aussi pour déterminer l'aptitude des dégustateurs à distinguer entre des différences d'apparence, d'odeur, de saveur ou de texture des aliments (WATTS *et al.*, 1991).

Description de la tâche des dégustateurs : On présente aux dégustateurs trois échantillons codés, deux identiques et un différent, on leur demande d'identifier l'échantillon différent et de remplir la fiche donnée dans la figure II-3. Ils doivent choisir un échantillon, même s'ils ne peuvent pas distinguer de différence entre les échantillons (c'est-à-dire qu'ils doivent choisir au hasard en cas de doute).

FICHE DE TEST TRIANGULAIRE	
NOM :.....	
PRENOM :.....	
	DATE :.....
<u>Question</u> : goutez les échantillons énumérés ci-dessous et notez l'échantillon parmi les trois que vous percevez différent ?	
Code	Classement
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Figure II-3. Bulletin du test triangulaire

Présentation des échantillons : Les deux échantillons distincts (A et B) sont présentés aux dégustateurs par groupes de trois, c'est-à-dire qu'ils reçoivent soit deux échantillons A et un B ou deux échantillons B et un A. Les trois échantillons sont présentés dans des contenants identiques codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres. Les trois numéros de codes des échantillons remis à chaque dégustateur doivent être différents, même si deux échantillons sont identiques.

Il y a six possibilités d'ordre de présentation avec le test triangulaire et ils sont indiqués au Tableau II-8. On doit se servir de chaque ordre de présentation un nombre égal de fois, pour équilibrer l'ordre de présentation. Cela n'est possible que s'il y a six dégustateurs ou un multiple de six. Les échantillons sont présentés tous ensemble à chaque dégustateur dans l'ordre retenu afin qu'ils puissent évaluer les échantillons de la gauche vers la droite. Ils peuvent les goûter plusieurs fois.

Tableau II-7. Six ordres possibles pour servir les échantillons dans un test triangulaire

Numéro du dégustateur	Ordre de présentation des échantillons		
	Premier	Second	Troisième
1	256 (A)	831 (A)	349 (B)
2	256 (A)	349 (B)	831 (A)
3	670 (B)	256 (A)	831 (A)
4	349 (B)	670 (B)	256 (A)
5	349 (B)	256 (A)	670 (B)
6	831 (A)	349 (B)	670 (B)

Analyse des données : On analyse la signification des résultats à l'aide d'un test binomial à une queue. Ce test convient puisqu'on sait qu'il y a un échantillon qui est différent et qu'il n'y a donc qu'une réponse «correcte». Le nombre de dégustateurs ayant identifié l'échantillon différent était totalisé et la signification du total était vérifiée en se servant du tableau de l'annexe 10.

7.2.2. Test de classement par rang

Ce test a pour objectif de déterminer la mesure dans laquelle le consommateur accepte un produit. L'acceptation d'un produit alimentaire indique en général la consommation réelle de ce produit (achat et consommation).

Description de la tâche des dégustateurs : On demande aux dégustateurs de classer par rang des échantillons codés en fonction de l'acceptation en allant du moins acceptable au plus acceptable (Figure II-4). En règle générale, on ne permet pas les égalités.

Présentation des échantillons : On présente cinq échantillons dans des contenants identiques, codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres. Chaque échantillon a un numéro distinct. Tous les échantillons sont présentés simultanément à chaque dégustateur dans un ordre prévu à l'avance ou au hasard, et ils ont droit de goûter plusieurs fois les échantillons. La figure II-4, donne le bulletin à remplir pour le classement par rang de l'acceptation.

Analyse des données : Aux fins de l'analyse des données, on fait le total des classements attribués à chaque échantillon. On procède ensuite à la détermination de la signification des différences en comparant les totaux des classements pour toutes les paires possibles des échantillons en se servant du test de Friedman. Les différences entre toutes les paires possibles des classements totalisés sont comparées à la valeur critique du tableau donné dans l'annexe 11, pour un niveau de signification de 5 %.

FICHE DE TEST DE CLASSEMENT	
NOM :	
PRENOM :	
	DATE :
-Veuillez classer les cinq échantillons par ordre de préférence.	
Code	Classement
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Figure II-4. Bulletin du test de classement par rang

7.3.3. Test hédonique

Dans cette étude, nous avons suivi une démarche de réalisation des profils sensoriels, et nous nous sommes intéressés à l'analyse réelle des échantillons sur la base de la liste des descripteurs de la texture tels que la tranchabilité sur des tranches de pain, qui est une propriété d'un produit alimentaire lui permettant facilement d'être coupé en tranches de façon mécanique, l'aspect liquide, la tartinabilité qui est une propriété d'un produit alimentaire lui permettant d'être étalé sur une surface et l'aspect cassant de la texture pendant la mastication avec les dents, du goût (amer, piquant, sucré, salé et acide), de la couleur et d'odeur (Figure II-5).

Après l'évaluation de notre produit, les résultats ont été présentés sous forme d'un tableau et soumis à l'analyse de variance (ANOVA).

FICHE DE TEST HEDONIQUE					
NOM :					
PRENOM :					
DATE :					
<p>Veillez examiner et goûter chaque échantillon de fromage, et donnez une note de <u>1 à 9</u> selon l'intensité du caractère.</p>					
	A	B	C	D	E
Texture tranchable					
Texture liquide					
Texture tartinable					
Texture cassante					
Goût amer					
Goût piquant					
Goût sucré					
Goût salé					
Goût acide					
Couleur					
Odeur					
<p>REMARQUE : Si le goût mentionné dans la fiche n'est pas détecté dans le produit, vous mettez 0, la note doit être attribuée en fonction de l'intensité du goût.</p>					

Figure II-5. Bulletin pour le test hédonique avec un barème de notation allant de 1 à 9

Analyse des données : Les résultats ont été traités par deux analyses indépendantes à l'aide d'un logiciel statistique XLSTAT (2008). La première analyse permet de déterminer par la méthode de l'ANOVA la signification des différences (le seuil de signification a été fixé à 0,05) d'une spécialité fromagère à une autre, et d'une caractéristique sensorielle à une autre au sein d'un même produit. La deuxième analyse permet par la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) de réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre de dimensions dont le but est de visualiser la corrélation entre les paramètres physicochimiques et les paramètres sensoriels.

Chapitre III : Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

Cette étude a été conduite dans le but de comprendre l'évolution des paramètres et des phénomènes physicochimiques qui interviennent pendant le procédé de fabrication de la spécialité fromagère. Mais au préalable, une substitution partielle de la matière protéique laitière par l'amidon modifié (E 1422) a été réalisée et l'impact de cette substitution sur le comportement rhéologique et sur la texture du produit fini a été étudié.

1. EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES AU COURS DE LA FABRICATION

1.1. pH

L'observation des valeurs expérimentales montre que le pH augmente pendant la fonte des fromages tant dans le procédé *Metidja* (Figure III-1), ces résultats concordent avec ceux obtenus par LEE *et al.* (2004) et DIMITRELI *et al.* (2005). Ceci peut être le résultat de l'influence de l'eau sur l'environnement ionique de la spécialité fromagère en induisant l'ionisation des complexes de phosphate de calcium et des différents groupements fonctionnels aminoacides.

Par ailleurs, ces valeurs font preuve d'une diminution significative ($p < 0,05$) du pH jusqu'à 5,67 pour *Metidja* et 5,97 pour *Ladhidh au camembert* dans le produit fini, cette chute est probablement due au pouvoir tampon des sels de fonte qui a pu ajuster le pH à la bonne valeur (GUPTA *et al.*, 1984 ; CHAMBRE *et al.*, 1997) ; les sels de fonte chélatent le calcium lié aux protéines et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble, ce qui se traduit par le déroulement et la dissociation des chaînes protéines (peptisation) (SOOD *et al.*, 1979; LEE *et al.*, 1986 ; MARCHESSEAU *et al.*, 1997).

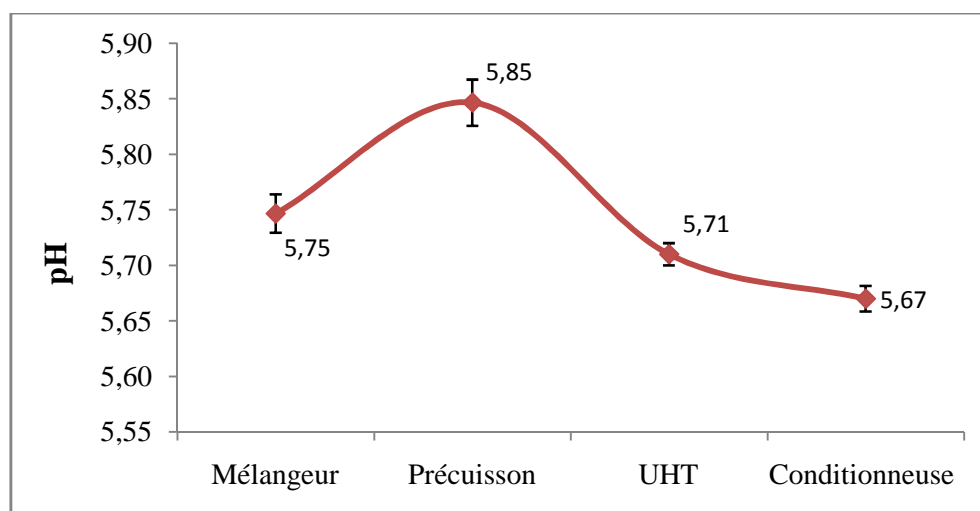


Figure III-1. Evolution du pH au cours du procédé de fabrication de *Metidja*

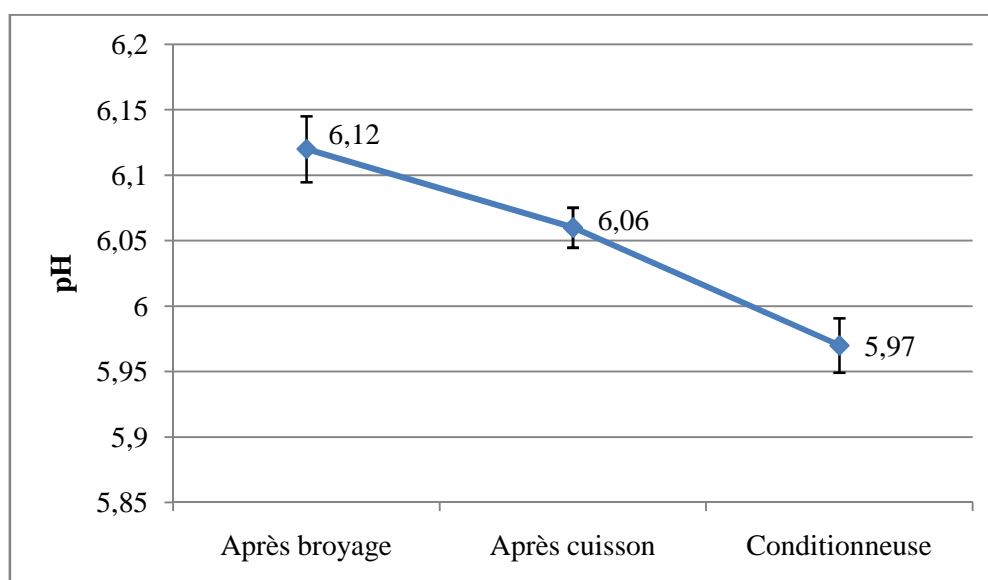


Figure III-2. Evolution du pH au cours du procédé de fabrication de *Ladhidh au camembert*

1.2. Extrait sec

Les propriétés fonctionnelles des fromages sont contrôlées par la composition chimique, y compris le taux d'humidité (McMAHON *et al.*, 1999). De là, la mutilation de la formule des préparations fromagère implique des effets sur le comportement fonctionnel dans les applications pratiques.

La diminution du taux de l'extrait sec n'était pas significative ($p > 0,05$) au cours du processus de fabrication de la préparation fromagère *Metidja* (Figure III-3). Des valeurs de 45,85%, 43,84 %, 42,66 %, 41,99 % sont enregistrées respectivement dans le mélangeur, après la précuisson, après traitement UHT et dans la conditionneuse (produit fini *Metidja*).

Pour *Ladhidh au camembert*, le taux de l'extrait sec diminue de façon significative ($p < 0,05$) (Figure III-4). Cette diminution est très nette après la cuisson et reste légère jusqu'à la conditionneuse où le produit fini avait 39,84 % en extrait sec.

Ces résultats sont très proches de ceux apportés par HENNELLY *et al.* (2005) et NORONHA *et al.* (2008b). L'injection de l'eau froide (25 % de la quantité d'eau totale injectée) dans le mélangeur peut être la cause principale de l'augmentation du taux d'humidité dans le mélange et par conséquent de la diminution de l'extrait sec. Après les traitements thermiques ; la précuisson (68°C à 110°C) et le traitement UHT (132°C à 145°C), il pourrait y avoir des pertes du condensat qui sont compensées par l'injection de l'eau chaude à 70°C (75 % de l'eau totale ajoutée).

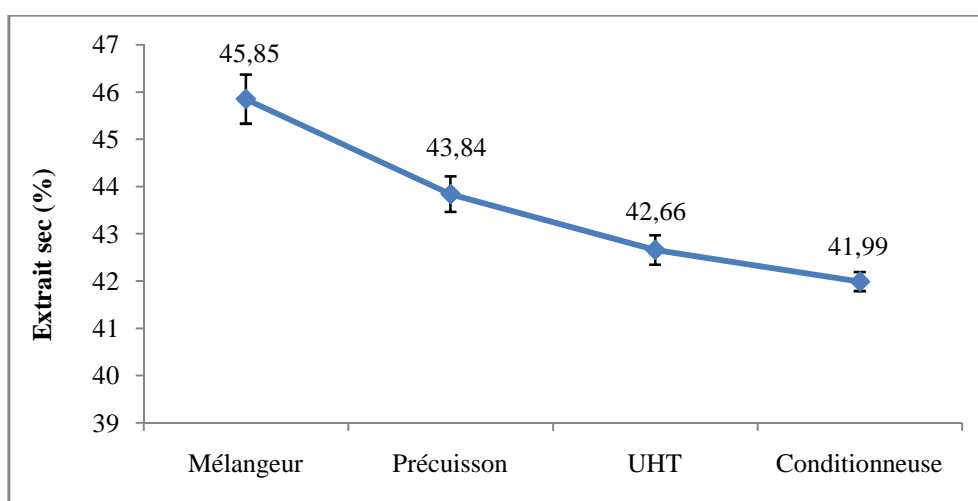


Figure III-3. Evolution de l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de *Metidja*

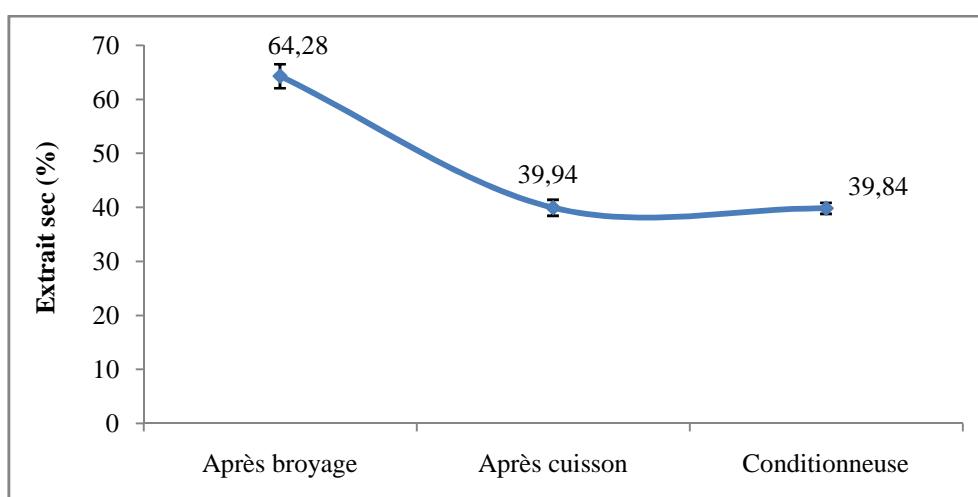


Figure III-4. Evolution de l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de *Ladhidh au camembert*

1.3. Matière grasse

Comme le montre la figure III-5, le taux de matière grasse était de 26,00 %, ce dernier ne varie pas significativement ($p > 0,05$) après le mélange des matières premières, mais une diminution assez nette de la teneur en matière grasse peut être notée après la précuisson, elle atteint 21,50 % après le traitement UHT, cette dernière est maintenue par la suite constante jusqu'au produit fini. Concernant *Ladhidh au camembert*, selon la figure III-6, le mélange de la formule renferme un taux de 30,50 % en matière grasse. Cette dernière provenait essentiellement des camemberts utilisés et aussi de matière grasse végétale ajoutée. Après la cuisson et au conditionnement, le taux de matière grasse chute jusqu'à 17,50 %.

La baisse de la teneur en matière grasse peut être glosée par l'effet des traitements thermiques, des sels de fonte qui ont un rôle émulsifiant et d'homogénéisation ; qui engendrent une réduction de la taille des globules gras jusqu'à 1 μm de diamètre (RAYAN *et al.*, 1980 ; HEERTJE *et al.*, 1981 ; KIMURA *et al.*, 1986 ; LELIEVRE *et al.*, 1990 ; TAMIME *et al.*, 1990) mais aussi une destruction de leur membrane qui est remplacée par la membrane des micelles de caséine et de submicelles (KEENAN *et al.*, 1988 ; MICHALSKI *et al.*, 2002) pour former des particules dites pseudo-protéines qui interagissent avec les micelles de caséine et deviennent par la suite une partie intégrale de la pâte et par conséquent échappent à la quantification (TUNICK *et al.*, 1997 ; MICHALSKI *et al.*, 2002).

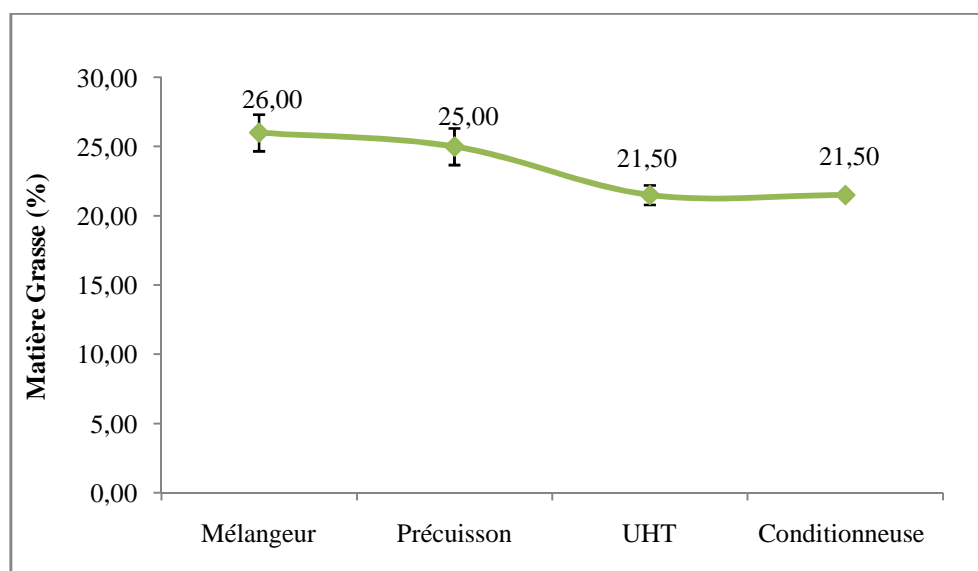


Figure III-5. Evolution de la matière grasse au cours du procédé de fabrication de *Metidja*

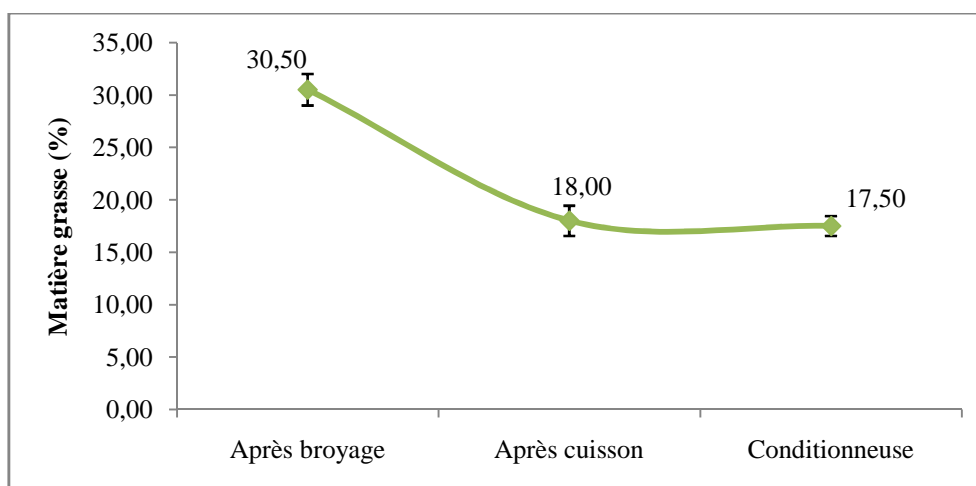


Figure III-6. Evolution de la matière grasse au cours du procédé de fabrication de *Ladhidh au camembert*

1.4. Matière grasse / extrait sec

Le taux de la matière grasse par rapport à la matière sèche, pendant les différentes étapes de fabrication de *Metidja* représente 56,70 %, 57,02 %, 50,39 % et 51,20 % respectivement dans le mélangeur, après la précuisson, après traitement UHT et dans le produit fini (Figure III-7). Ces valeurs sont semblables à celles observées par DIMITRELI *et al.* (2007) et GLIGUEM *et al.* (2009a). La diminution du rapport MG/ES peut être notée après la cuisson du mélange durant la fabrication de *Ladhidh au camembert* (Figure III-8).

La diminution du rapport (MG/ES) n'était pas significative ($p > 0,05$), mais indique une réduction du taux de la matière grasse pendant le processus de fabrication suite à l'augmentation de la teneur en eau dans la pâte au cours de la fonte sous l'effet de l'agitation (EMMONS *et al.*, 1980 ; METZGER et MISTRY, 1994 ; DRAKE *et al.*, 1995). Selon McMAHON *et al.* (1999), les globules gras peuvent être emprisonnés dans les poches du sérum qui seront plus abondantes et plus volumineuses en raison de l'augmentation du taux d'humidité.

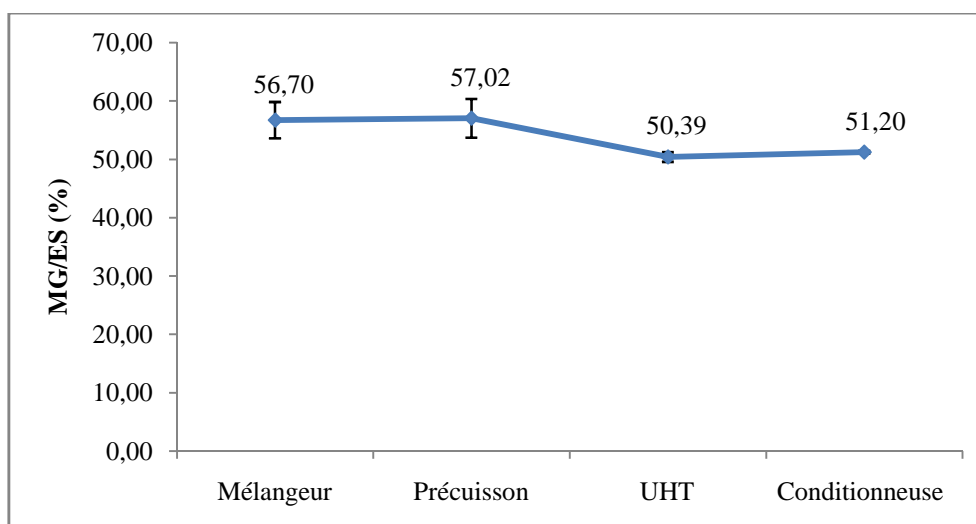


Figure III-7. Evolution du rapport MG/ES au cours du procédé de fabrication de *Metidja*

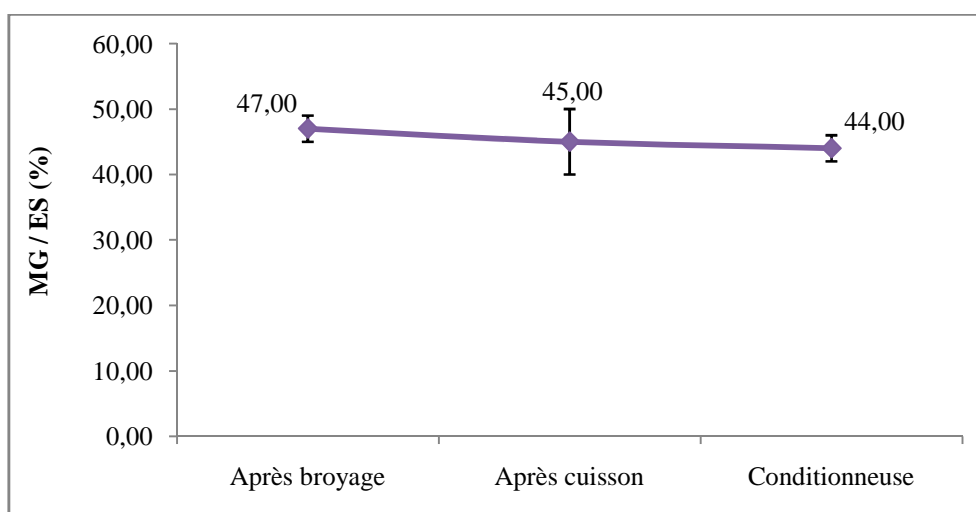


Figure III-8. Evolution du rapport MG/ES au cours du procédé de fabrication de *Ladhidh au camembert*

1.5. Taux de protéines

Le taux de protéines (azote total x 6,38) dans le produit fini, exprimé en g/100 g fromage a été de 15,50 % et 17,30 % pour *Metidja* et *Ladhidh au camembert* respectivement. Les taux de protéines des deux spécialités fromagères sont légèrement inférieurs à ceux rapportés dans les travaux de MOUNSEY et O'RIORDAN (2008a ; 2008b) où la spécialité fromagère avec 3 % avait un taux de protéines de 16,90 % et 20,50 % en absence d'amidon dans la formule.

En stades du processus de fonte, sous l'action du chauffage, le fromage broyé et dispersé dans l'eau perd sa structure compacte. Les sels émulsifiants chélatent le calcium lié aux protéines fromagères, transformant ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble. Au cours de ce processus de déstabilisation du fromage naturel, le déroulement des

chaînes protéiques ainsi que l'augmentation du nombre de charges négatives résultant tous deux de la disparition de ponts calciques, augmentent les capacités d'interaction des groupements latéraux polaires des protéines avec les molécules d'eau ; c'est la phase de gonflement et d'hydratation (PAQUET, 1988). En même temps que se déroule ce processus d'hydratation, le paracaséinate de sodium émulsifie la matière grasse libérée sous la forme de gros globules gras dans le mélange au cours de la fonte. L'homogénéisation provoquée par les effets simultanés des sels émulsifiants, du chauffage et de l'agitation réduit la taille de ces globules gras et améliore ainsi la stabilité de l'émulsion (RAYAN *et al.*, 1980). La gélification se produit au cours du refroidissement du mélange fondu dans lequel s'est formée une structure protéique tridimensionnelle retenant fortement l'eau d'hydratation et la matière grasse émulsifiée (PAQUET, 1988). Malgré les modifications structurelles profondes qui se produisent dans le système protéique, le taux des protéines reste inchangé durant le procédé de la fonte.

1.6. Taux de NaCl

Les résultats obtenus montrent que les taux de sel entre les deux spécialités fromagères sont légèrement différents, ils sont de 0,6 % et à 0,75 % pour *Metidja* et *Ladhidh au camembert* (Tableau III-1). Cette différence est probablement due aux taux de sel des fromages naturels utilisés comme matière première, sachant qu'il s'agit du cheddar pour *Metidja* et du camembert pour *Ladhidh au camembert*. L'effet du NaCl sur la force des gels dépend néanmoins de sa concentration dans le produit. Le NaCl améliorerait l'équilibre entre les forces attractives et les forces répulsives. A des concentrations élevées, les répulsions entre molécules protéiques deviendraient excessives pour permettre l'établissement d'interactions protéine-protéine à un niveau optimal.

L'addition de NaCl dans la formule a pour but d'entraîner une augmentation de la force des gels et de leur capacité de rétention d'eau. Les minéraux, selon leurs propriétés naturelles et leur concentration dans le milieu, peuvent influencer les attractions et les répulsions électrostatiques intra ou inter molécules protéiques en atténuant la charge électrostatique des groupements COO^- et NH_3^+ des protéines (BAU *et al.*, 1985).

1.7. Taux de cendres

Le dosage du taux de cendres dans les produits finis a révélé des taux en cendres de $4,36 \pm 0,075$ % dans la spécialité fromagère *Metidja*, et $3,80 \pm 0,09$ % dans *Ladhidh au camembert* (Tableau III-1) ; ce résultat est trop proche de celui rapporté dans les travaux de

HENNELLY *et al.* (2005) dans lesquels le taux d'humidité dans la spécialité fromagère était fixé à 46 % et le taux de cendre était de $4,56 \pm 0,07$ %, et $3,93 \pm 0,17$ % pour une autre spécialité fromagère avec un taux d'humidité de 54 %.

Dans le produit fini, les cendres sont composées principalement des minéraux provenant des matières premières laitières et des poudres telles que les sels de fonte ; on retrouve le calcium, le phosphore, le potassium, le chlore, le sodium, le magnésium et le sel de table. VARUNSATIAN *et al.* (1983) ont rapporté que ces derniers ont un rôle non négligeable dans la gélification des caséines qui dépend de la force ionique et de la nature des ions ; à force ionique égale, les ions Na^+ préviendraient l'agrégation des protéines chauffées à plus de 70°C , tandis que les ions Ca^{++} ou Mg^{++} la favoriseraient. Cet effet du calcium serait néanmoins dépendant de sa concentration, une certaine quantité de calcium étant requise pour des liaisons croisées inter-protéines (KOHNHORST et MANGINO, 1985 ; GUINEE et O'KENNEDY, 2009). D'après ces auteurs, le calcium à des concentrations élevées, inhibe la formation de gel en favorisant les interactions protéine-protéine conduisant à l'agrégation, ce qui va influencer négativement la viscosité de la spécialité fromagère. En l'absence de NaCl, le calcium qui se trouve en plus grande concentration que le sodium et le magnésium peut porter préjudice à la consistance de la pâte en formant des ponts salins entre les molécules de caséines partiellement dépliées et chargées négativement (ÉTIENNE, 1992).

Tableau III-1. Récapitulatif des caractéristiques physicochimiques des produits finis (*Metidja* et *Ladhidh au camembert*)

	<i>Metidja</i>	<i>Ladhidh au camembert</i>
pH	$5,67 \pm 0,30$	$5,97 \pm 0,02$
Extrait sec (%)	$41,99 \pm 0,93$	$39,84 \pm 1,04$
Taux d'humidité (%)	$58,01 \pm 0,93$	$60,16 \pm 1,04$
Matière grasse (%)	$21,50 \pm 0,00$	$17,5 \pm 0,95$
MG/ES (%)	$51,20 \pm 0,002$	$44,00 \pm 2,00$
Protéines (%)	$15,50 \pm 0,00$	$17,30 \pm 0,00$
Taux de NaCl (%)	0,6	0,75
Taux de cendres (%)	$4,365 \pm 0,075$	$3,808 \pm 0,099$
Ecoulement (mm)	$126,67 \pm 5,13$	$138,33 \pm 3,06$

1.8. Morphologie des grains d'amidon

1.8.1. Morphologie des grains d'amidon dans le phosphate de diamidon hydroxypropylé (E 1422)

L'observation microscopique de l'amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422), sous microscope optique (G x 100), laisse apparaître que les grains d'amidon sont blancs de formes lenticulaires, lisses et dépourvus de pores ou de fissures (Figure III-9).

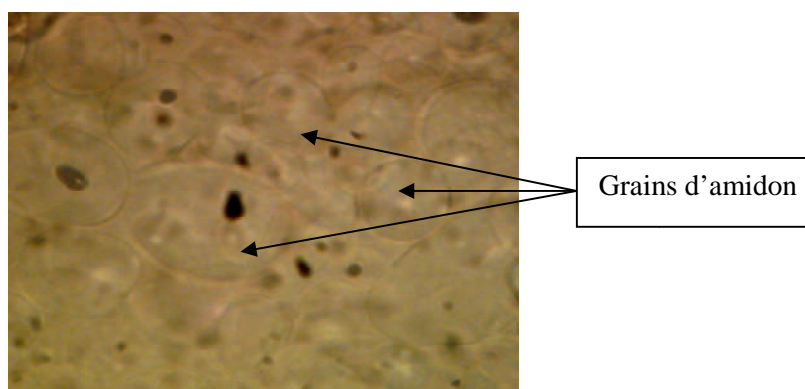


Figure III-9. Observation morphologique des grains d'amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422) sous microscope optique (Gx100)

1.8.1. Comportement hydrothermique des grains d'amidon dans le produit fini

Durant les étapes de fabrication de la spécialité fromagère, l'amidon contenu dans la formule subissait l'effet des traitements hydrothermiques et les forces de cisaillement mécaniques, ce qui se traduit par des modifications morphologiques et texturales des grains d'amidon (Figure III-10).

En présence d'une teneur en eau, accompagnée par un traitement thermique de 90 °C pendant la précuisson (température supérieure à la température de gélatinisation de l'amidon natif d'origine) le gonflement des granules d'amidon réticulé intervient et leur volume augmente en raison de l'absorption de l'eau. Ce gonflement des grains d'amidon s'accompagne d'une perte de la structure cristalline : c'est le phénomène irréversible de gélatinisation mais sans qu'il ait la solubilisation du contenu granulaire. Il semble que les grains d'amidon ont atteint le stade de cuisson optimale avec un aspect onctueux (Figure III-10a).

Les grains d'amidon réticulés continuent à maintenir l'état de gonflement et garantissent une bonne rétention en eau. Par ailleurs, l'observation microscopique a révélé l'existence de quelques granules avec ruptures (Figure III-10b). Selon NAYOUF *et al.* (2003), l'éclatement des granules d'amidon réticulés pouvait être justifié par les contraintes imposées par le traitement thermique (UHT à 138°C pendant 3 secondes), mais aussi par les forces de cisaillement et l'acidité qui peuvent aboutir à l'éclatement des grains d'amidon, ces derniers ont atteint le stade de surcuisson en donnant une texture gélatineuse.

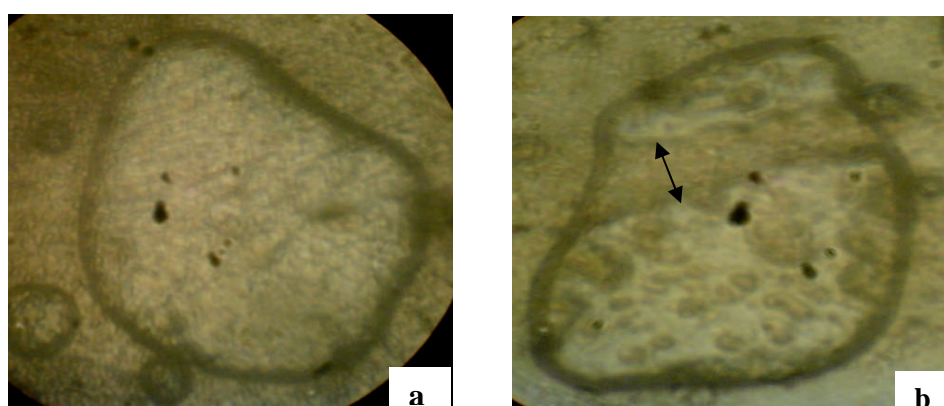


Figure III-10. Observation morphologique des grains d'amidon réticulé (a) à l'état gonflé, (b) à l'état éclaté dans la spécialité fromagère *Metidja* sous microscope optique (Gx100)

1.9. Variation de la viscosité de la pâte fromagère au cours du crémage

Nous pouvons constater à partir de la figure III-11, que la viscosité apparente de la pâte est en augmentation graduelle tout en augmentant la vitesse du racleur qui influence le comportement de la matière grasse, de l'amidon réticulé et des para-caséines (NORONHA *et al.*, 2008b) ; en réduisant la taille des globules gras et en améliorant leur distribution dans la matrice protéique, en privilégiant le gonflement des grains d'amidon et en améliorant l'hydratation des para-caséines pendant le processus de fabrication de la spécialité fromagère. La viscosité apparente de *Metidja* atteint son seuil (1253 mPa) à une vitesse de racleur qui correspond à 75 %. Cette augmentation est vraisemblablement due à la diminution de l'eau libre dans la pâte ; étant donné que les granules d'amidon réticulé et les para-caséines se mettent en compétition pour absorber une grande partie de l'eau, ceci favorise le gonflement des grains d'amidon d'une part, qui se traduit par l'augmentation de la viscosité, et d'une autre part l'hydratation des para-caséines. Selon SAVELLO *et al.* (1989), la présence des sels de fonte peut également influencer la viscosité par leur pouvoir tampon en maintenant le pH à la bonne valeur, ce qui augmente leur

capacité de séquestration du calcium et aussi le nombre des charges négatives responsables des répulsions électrostatiques des para-caséines (LU *et al.*, 2008).

Pour *Ladhidh au camembert*, la figure III-12, indique que la viscosité apparente augmente au début du crémage et elle atteint un seuil de 1049 mPa, par la suite une diminution peut être notée et se stabilise à 510 mPa. Ces résultats montrent que ce produit présente une viscosité moins importante que *Metidja*, ce qui peut être du probablement à l'effet de la présence ou à l'absence de l'amidon réticulé sur l'augmentation de la viscosité de la pâte fromagère. L'effet de la température et du taux d'humidité peut s'ajouter à la présence ou l'absence de l'amidon réticulé. Dans le même contexte, GLIGUEM *et al.* (2009) ont rapporté que l'augmentation de taux d'humidité entraîne une diminution de la viscosité.

L'effet des températures supérieures à 95°C, peuvent être à l'origine de la légère diminution de la viscosité apparente lorsque la vitesse du racleur était à 80 %. Les travaux menés par JELEN *et al.* (1995) et SINGH (1995), indiquent que les températures élevées engendrent une hydrolyse thermique des polyphosphates et une dénaturation des protéines et par conséquence une réduction de l'hydratation des para-caséines ainsi que le degré d'émulsification de la matière grasse.

Selon les données de littérature (KUHAN et SCHULAUCH, 1994 ; NAYOUF, 2003), les forces de cisaillement peuvent se rejoindre aux températures élevées et font décroître la viscosité suite à l'éclatement des grains d'amidon réticulés (Figure III-10b) ; le traitement thermique UHT appliqué pendant le processus de fabrication était de 138°C qui est une température supérieure à la température maximale (130°C) pour laquelle l'amidon réticulé peut résister et les forces d'agitation trop élevées provoquent la rupture des granules d'amidon, ce qui aboutit à une perte de viscosité.

DIMITRELI et THOMAREIS (2004), ont rapporté que la matière grasse n'affecte pas d'une façon significative la viscosité apparente pendant le processus de fabrication de la spécialité fromagère. Par contre, WARNER (1981) a montré qu'aux fortes concentrations, le glycérol augmenterait la viscosité de la phase aqueuse ; il manifesterait un effet plastifiant comparable à celui de l'eau. Ce composé de trois carbones possédant trois fonctions hydroxyles pourrait remplacer l'eau d'hydratation des protéines en occupant les sites de fixation des molécules d'eau sur les molécules protéiques, avec pour conséquence une augmentation de la viscosité.

La spécialité fromagère *Metidja* présente une viscosité plus élevée que la spécialité fromagère *Ladhidh au camembert* qui ne renferme pas d'amidon réticulé. En dépit de l'augmentation de la viscosité, la pâte fromagère présentait une machinabilité souhaitée et ne posait pas de problèmes de colmatage du stérilisateur UHT.

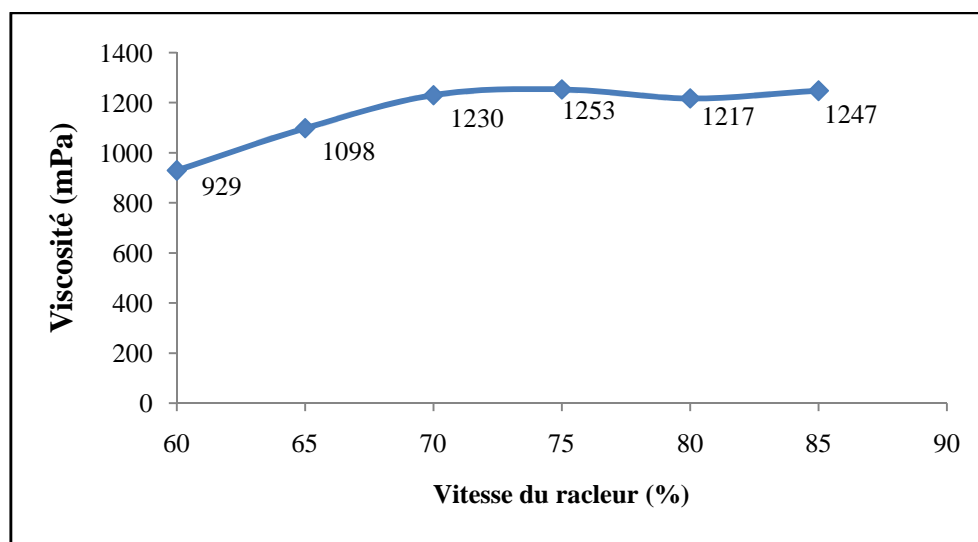


Figure III-11. Evolution de la viscosité apparente pendant le crémage de la spécialité fromagère *Metidja*

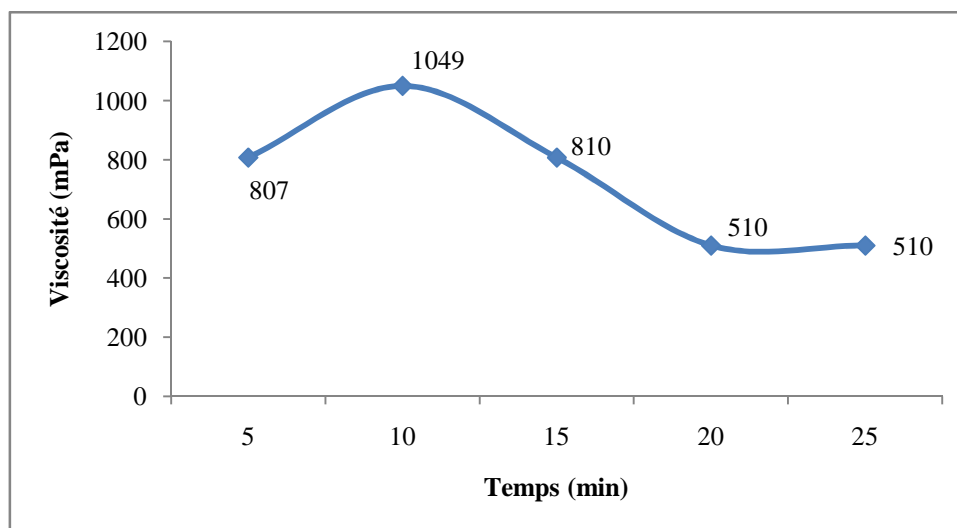


Figure III-12. Variation de la viscosité apparente de la spécialité fromagère *Ladhidh au camembert* pendant le crémage

1.10. Propriétés d'écoulement

Les résultats portant sur la rhéologie ont montré que le seuil d'écoulement est significativement ($p < 0,05$) différent entre les deux spécialités fromagères ; il était de $124,33 \pm$

5,13 mm et $138,33 \pm 3,06$ mm pour *Metidja* ($58,01 \pm 0,20$ % d'humidité) et *Ladhidh au camembert* ($60,16 \pm 1,94$ % d'humidité) respectivement. Ces résultats peuvent être jugés très proches de ceux obtenus par HENNELLY *et al.* (2005). Ces auteurs ont rapporté qu'à 54 % d'humidité (g/100 g), l'écoulement était de 126 mm. Par ailleurs, MOUNSEY *et al.* (2008) ont montré dans leurs travaux que les spécialités fromagères (à un taux d'humidité de $48,90 \pm 0,21$ %), présentaient un écoulement de $112,9 \pm 3,30$ mm en présence de l'amidon pré-gélatinisé dans la formule, et $185,6 \pm 9,80$ mm sans utilisation de l'amidon dans la recette.

A partir de ces résultats il apparaît clairement que les propriétés d'écoulement sont fortement liées aux taux d'humidité dans la spécialité fromagère et à la présence de l'amidon réticulé dans la formule ; pendant le procédé de fabrication des spécialités fromagères, l'immobilisation rapide de l'eau par les granules d'amidon réticulé empêche probablement l'hydratation des caséines en entraînant leur agrégation. DELLA VALLE *et al.* (1996) ont montré que le rapport amylose sur amylopectine a un rôle rhéologique important dans le cas de produits à base d'amidon et que la proportion d'amylose agissait directement sur la viscosité du produit et conditionnait la sensibilité du produit au taux d'humidité, à l'énergie mécanique et à la température.

La différence d'écoulement entre *Metidja* et *Ladhidh au camembert* peut être attribuée à l'inégalité du taux d'humidité et à la présence de l'amidon réticulé ; à 58 % d'humidité, l'eau semble entièrement absorbée par les granules d'amidon réticulé et impliquée dans l'hydratation des caséines, mais en allant jusqu'à 60 % d'humidité, le gonflement de l'amidon et l'hydratation des protéines atteindront leur maximum et l'eau libre sera plus abondante et jouera un rôle plastifiant conférant au produit un caractère coulant.

La teneur en eau des fromages ne peut pas expliquer seule les propriétés d'écoulement, mais aussi le pH et le taux de sel (NaCl) peuvent influencer la rhéologie des spécialités fromagères. A des pH < 6, le NaCl diminue la charge nette des protéines fromagères et modifie les interactions protéines-protéines et protéines-eau. Les caséines et les protéines lactosériques composant les fromages subissent une diminution de leur capacité d'hydratation en se rapprochant de pH 5,0 (CARIC et KALAB, 1987). Toutes ces modifications influent sur le réseau protéique tridimensionnel constituant la charpente des fromages. L'écoulement augmenterait à la suite de l'hydratation accrue des protéines en présence de faibles concentrations salines et diminuerait aux fortes concentrations de sel qui entre en compétition avec les protéines pour l'eau. La prédominance des interactions eau-sel, au détriment des interactions eau-protéines

provoquerait cette déshydratation des protéines aux fortes teneurs en sel (CHEFTEL *et al.*, 1985). Par ailleurs, de par sa nature ionique dans l'eau, le NaCl peut diminuer les propriétés d'écoulement des fromages en prévenant à la fois l'expansion moléculaire et l'hydratation des protéines. L'action du NaCl porterait sur l'atténuation des forces répulsives intramoléculaires et sur la stabilisation de la structure quaternaire des protéines. L'augmentation de la force ionique du milieu en présence de sel diminue également l'absorption d'eau et la solubilité des protéines (URBANSKI *et al.*, 1983).

Conclusion

La spécialité fromagère est un système physicochimique hybride, donc hautement instable, dans lequel la matière grasse est toujours dispersée et les protéines sont plus ou moins gélifiées selon la texture recherchée qui est hautement influencée par la constitution de la formule mais aussi par les différents traitements que cette formule avait subis. La présence de l'amidon réticulé dans la formule de *Metidja* lui confère une viscosité élevée et un écoulement faible. En revanche, le degré de réticulation semble insuffisant et peut causer préjudices à la texture du produit fini à cause du phénomène de suintement qui peut être généré par l'éclatement des grains d'amidon qui ne résistaient pas aux forces de cisaillement et aux traitements sévères.

2. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les spécialités fromagères sont des aliments complexes habituellement obtenus en mélangeant une ou plusieurs variétés de fromages naturels avec des agents émulsifiants (les sels de fonte), de nombreux ingrédients optionnels incluant des ingrédients laitiers et de l'eau. Le produit final caractérisé par une teneur en eau, un pH légèrement acide et une activité de l'eau (A_w) élevés et conditionné dans des emballages fermés hermétiquement, présente des risques d'activité microbienne et spécialement celle des clostridies et d'autres microorganismes anaérobies.

2.1. Analyses microbiologiques pendant le procédé de fabrication de *Metidja*

Selon les résultats consignés dans le tableau III-2, les matières premières constituant le mélange sont hautement contaminées par les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les staphylocoques et les spores anaérobies gazogènes (SAG), la présence abondante de ces germes dans le mélange nous renseigne sur un problème d'hygiène dans les locaux de stockage, des conditions et des outils de découpage. Durant la précuisson, une diminution de la charge microbienne peut être notée et les colonies deviendraient dénombrables ; il est à noter que le niveau de contamination était de 190 germes/g du produit pour les coliformes totaux, 140 germes

/ g pour les coliformes fécaux, 40 germes/g pour les Staphylocoques et une production de gaz est aussi notée indiquant la présence des spores anaérobies gazogènes. Ceci peut être expliqué par la destruction thermique de la forme végétative de ces microorganismes. La précuisson semble être insuffisante pour l'élimination totale de la flore microbienne, mais le traitement UHT s'avère efficace et aucun germe ni spore n'ont été détecté, ce qui nous donne une indication sur la bonne pratique du traitement UHT. Cette absence de coliformes, des staphylocoques et des SAG persiste jusqu'au produit fini à la sortie de la conditionneuse grâce aux températures élevées à la sortie du stérilisateur UHT et aux conditions aseptiques, à la salubrité et bonnes conditions d'hygiène de la conditionneuse, du personnel et de tout l'atelier.

Tableau III-2. Résultats des analyses microbiologies durant le procédé de fabrication de *Metidja*

	Coliformes totaux / g	Coliformes fécaux / g	Staphylocoques / g	Spores anaérobies gazogènes (SAG)
Mélangeur	++	++	++	+
Précuisson	190	140	40	+
UHT	Absence	Absence	Absence	Absence
Produit fini	Absence	Absence	Absence	Absence

2.2. Analyses microbiologiques pendant le procédé de fabrication de *Ladhidh au camembert*

Le contrôle de la qualité microbiologique de *Ladhidh au camembert* a été effectué après trois étapes principales du procédé de fabrication ; après broyage, après la cuisson et après conditionnement (dans le produit fini).

Les résultats obtenus (Tableau III-3) montrent que la matière première peut représenter un risque de contamination majeur du produit fini, ce degré de contamination par les bactéries coliformes peut être lié aux conditions d'hygiène dans lesquelles s'effectuent la préparation et la manipulation des matières premières.

De ce fait, l'étape de la cuisson va déterminer la qualité microbiologique du produit fini. Le résultat négatif du dénombrement des coliformes, des staphylocoques des spores anaérobies gazogènes à la fin de cuisson confirme l'efficacité de cette opération qui est effectuée à 90°C et de la vapeur d'eau injectée à 110°C. Ces résultats indiquent aussi qu'aucun germe ni spore n'ont été repérés dans le produit fini.

Tableau III-3. Résultats des analyses microbiologiques durant le procédé de fabrication de *Ladhidh au camembert*

	Coliformes totaux / g	Coliformes fécaux / g	Staphylocoques / g	Spores anaérobies gazogènes (SAG)
Après broyage	++	++	++	+
Après cuisson	Absence	Absence	Absence	Absence
Produit fini	Absence	Absence	Absence	Absence

Conclusion

La présence des spores et leurs formes végétatives notamment le genre *Clostridium* (provenant des fromages naturels ou des autres matières premières) dans les spécialités fromagères peut engendrer un risque sanitaire majeur, dans le cas où les conditions favorables de germination sont réunies à savoir la température d'activation des spores, l'anaérobiose, un pH relativement élevé et une (A_w) adéquate. Les résultats des analyses microbiologiques ont révélé que les spécialités fromagères présentaient une bonne qualité microbiologique grâce à l'application et à l'efficacité des traitements thermiques (cuisson et traitement UHT).

3. ANALYSES SENSORIELLES

Après le suivi des évolutions des paramètres physicochimiques pendant le procédé de fabrication des deux spécialités fromagères ; *Metidja*, dont une partie de la matière protéique est substituée par l'amidon réticulé, et *Ladhidh au camembert* qui ne renferme pas de l'amidon, nous nous sommes intéressés au comportement rhéologique en terme de viscosité et d'écoulement. Par la suite, nous avons soumis ces produits à une appréciation sensorielle. Dans un premier temps, un test triangulaire a été effectué dans le but de déterminer s'il y a des différences perceptibles entre notre échantillon et un autre d'un côté, et pour déterminer l'aptitude des dégustateurs à distinguer entre des différences d'apparence, d'odeur, de saveur ou de texture des aliments d'un autre côté. Par la suite, un test de classement par rang qui a pour objectif de classer et de situer notre produit par rapport aux trois autres spécialités fromagères (Paysanne, Quisto et Cheezy), et enfin un test hédonique qui permet de déterminer la présence ou l'absence des corrélations entre les paramètres physicochimiques et le profil sensoriel.

3.1. Test triangulaire

Quand tous les dégustateurs ont eu fini le test, nous avons indiqué la bonne réponse avec un (+) quand ils avaient bien identifié l'échantillon distinct ou avec un (-) dans le cas de mauvaises réponses. Les résultats ont été présentés sous forme de tableau (Tableau III-4). Au moyen du tableau statistique de l'annexe 9, nous avons comparé le nombre total de dégustateurs ayant de bonnes réponses (X) au nombre total de dégustateurs (n) et déterminé le niveau de signification.

Tableau III-4. Résultats du test triangulaire

Dégustateur	Résultat
1	-
2	-
3	-
4	+
5	+
6	+
7	+
8	+
9	+
Total de bonnes réponses = 6	

Le Tableau de l'annexe 9, indique que pour un ensemble de 9 dégustateurs et 6 bonnes réponses, la probabilité est de 0,042 avec un niveau de signification est de 5 %. Comme on estime en général qu'il faut une probabilité égale ou inférieure à 0,05 pour que la différence soit significative, nous déduisons que la différence entre les échantillons était significative au niveau de probabilité de 5 %, puisque 6 des 9 dégustateurs avaient bien choisi l'échantillon différent est la probabilité était de $0,042 \leq 0,05$. Cette différence est vraisemblablement attribuée à l'incorporation de l'amidon réticulé dans la formule de la spécialité fromagère *Metidja*, qui lui attribue des particularités en lui donnant une qualité différente par rapport à l'autre échantillon.

Les résultats de ce test nous permettent notamment de conclure que les dégustateurs ont une aptitude significative à distinguer entre les différences d'apparence, d'odeur, de saveur ou de texture des aliments.

3.2. Test de classement

Nous avons demandé aux dégustateurs de classer le goût des échantillons en terme d'acceptabilité sans donner d'égalité, en donnant à chaque échantillon une cote différente même s'il semblait comparable. L'échantillon auquel on accordait le goût le plus acceptable se voyait donner la cote 1, le suivant la cote 2 et celui qui paraissait le moins acceptable la cote 3 et le dernier la cote 4. Les cotes de classement données à chaque échantillon par les 09 dégustateurs ont été regroupées sous forme de tableau (Tableau III-5).

Tableau III-5. Résultats du test de classement par rang des cinq spécialités fromagères

Dégustateur	Echantillons				
	A	B	C	D	E
1	2	4	3	5	1
2	2	3	5	4	1
3	1	3	4	5	2
4	1	3	4	5	2
5	3	2	5	4	1
6	2	1	4	5	3
7	1	2	5	3	4
8	3	5	1	4	2
9	3	2	4	5	1
Total classement	18	25	35	40	17
Classement	2	3	4	5	1

Les différences entre les totaux de classement par paires étaient les suivantes :

$$A - E = 18 - 17 = 1$$

$$B - E = 25 - 17 = 8$$

$$C - E = 35 - 17 = 18$$

$$D - E = 40 - 17 = 23$$

$$D - A = 40 - 18 = 22$$

$$D - B = 40 - 25 = 15$$

$$D - C = 40 - 35 = 5$$

$$C - A = 35 - 18 = 17$$

$$C - B = 35 - 25 = 10$$

$$B - A = 25 - 18 = 7$$

La valeur critique calculée pour $p \leq 0,05$, (09 dégustateurs et 05 échantillons) est de 19 d'après le tableau de l'annexe 10.

Les différences entre les totaux de classement par paires, montrent qu'il y a absence de différences significatives (différences < 19) entre les goûts des spécialités fromagères (A et E), (B et E), (C et E), (D et B), (D et C), (C et A), (C et B) et (A et B). Pour les autres paires (D et A) et (D et E), il s'avère que la différence du goût entre ces trois spécialité est significative, c'est-à-dire ≥ 19 .

Nous concluons que les dégustateurs ont classé les cinq spécialités fromagères par ordre de préférence selon l'intensité du goût en attribuant le deuxième rang pour notre spécialité fromagère *Metidja* codée par la lettre A précédé par *Ladhidh au camembert* codé par la lettre E, suivie par celles codées par la lettre B. Et enfin, les spécialités fromagères C et D sont classées en dernier.

3.3. Test hédonique

Les résultats du test hédonique sont représentés dans la figure III-13. Les résultats de l'ANOVA (les détails de l'ANOVA sont donnés dans l'annexe 13 et 14) mettent en évidence l'absence de différences significatives ($P > 0,05$) entre les cinq produits analysée et que ces derniers ont été regroupé en un seul groupe homogène (Tableau III-6).

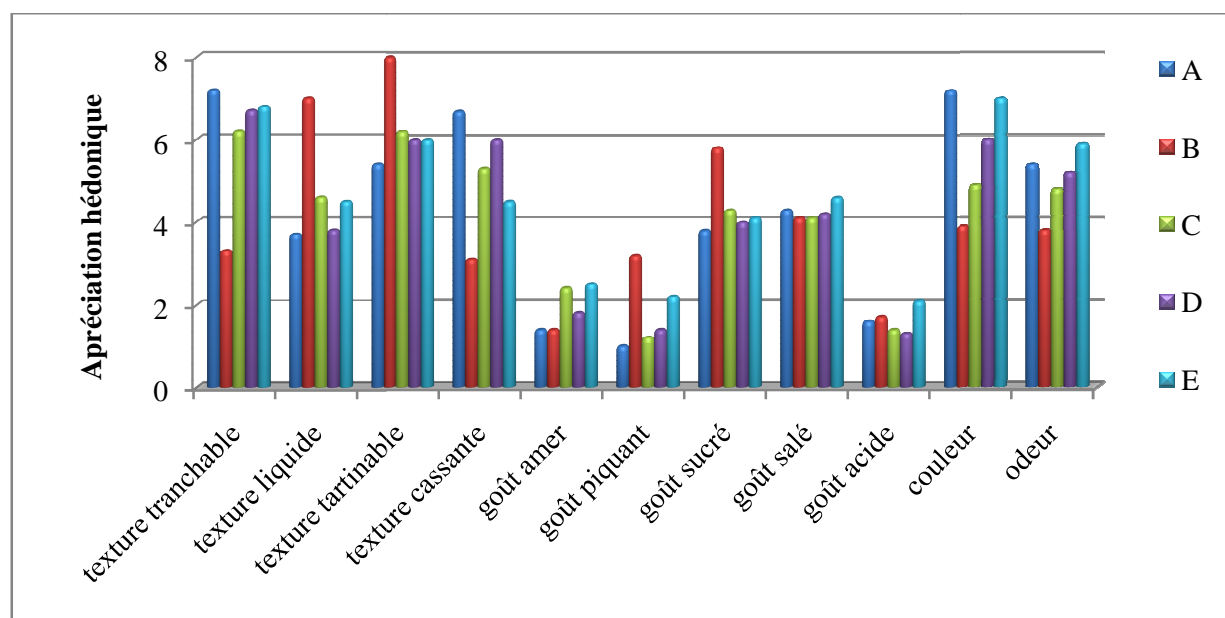


Figure III-13. Valeurs moyennes des notes d'appréciation hédonique pour les cinq spécialités fromagères

Tableau III-6. Représentation des cinq spécialités fromagères analysées en groupes homogènes par le test de Tukey (HSD)

Spécialités fromagères	Moyenne estimée	Groupes
A	4,336	A
B	4,118	A
C	4,127	A
D	4,218	A
E	4,764	A

3.3.1. Profils sensoriels des spécialités fromagères analysées

La figure III-14, rassemble les profils sensoriels des spécialités fromagères (*Metidja* (A), *Paysanne* (B), *Quisto* (C), *Cheezy* (D) et *Ladhidh au camembert* (E)) concernées par l'analyse sensorielle. Nous constatons que les membres du panel de dégustation perçoivent que les paramètres sensoriels décrivant la texture ainsi que l'odeur sont les plus intenses. Contrairement au goût, nous notons une faible intensité pour chacun de ses descripteurs.

Il apparaît clairement que la spécialité fromagère *Metidja* a une texture tranchable, mais aussi une texture cassante et une couleur jugée meilleure. Par contre, notre produit présentait une texture moins liquide et une tartinabilité faible. Les zones d'acceptabilité indiquées dans les séries de données des profils sensoriels par la couleur grise, indiquent que *Ladhidh au camembert* est plus apprécié par les dégustateurs grâce à ces caractéristiques organoleptiques intenses. Par contre, les autres produits ont une zone d'acceptabilité trop restreinte due aux faibles intensités des descripteurs de la texture, du goût, de la couleur et de l'odeur.

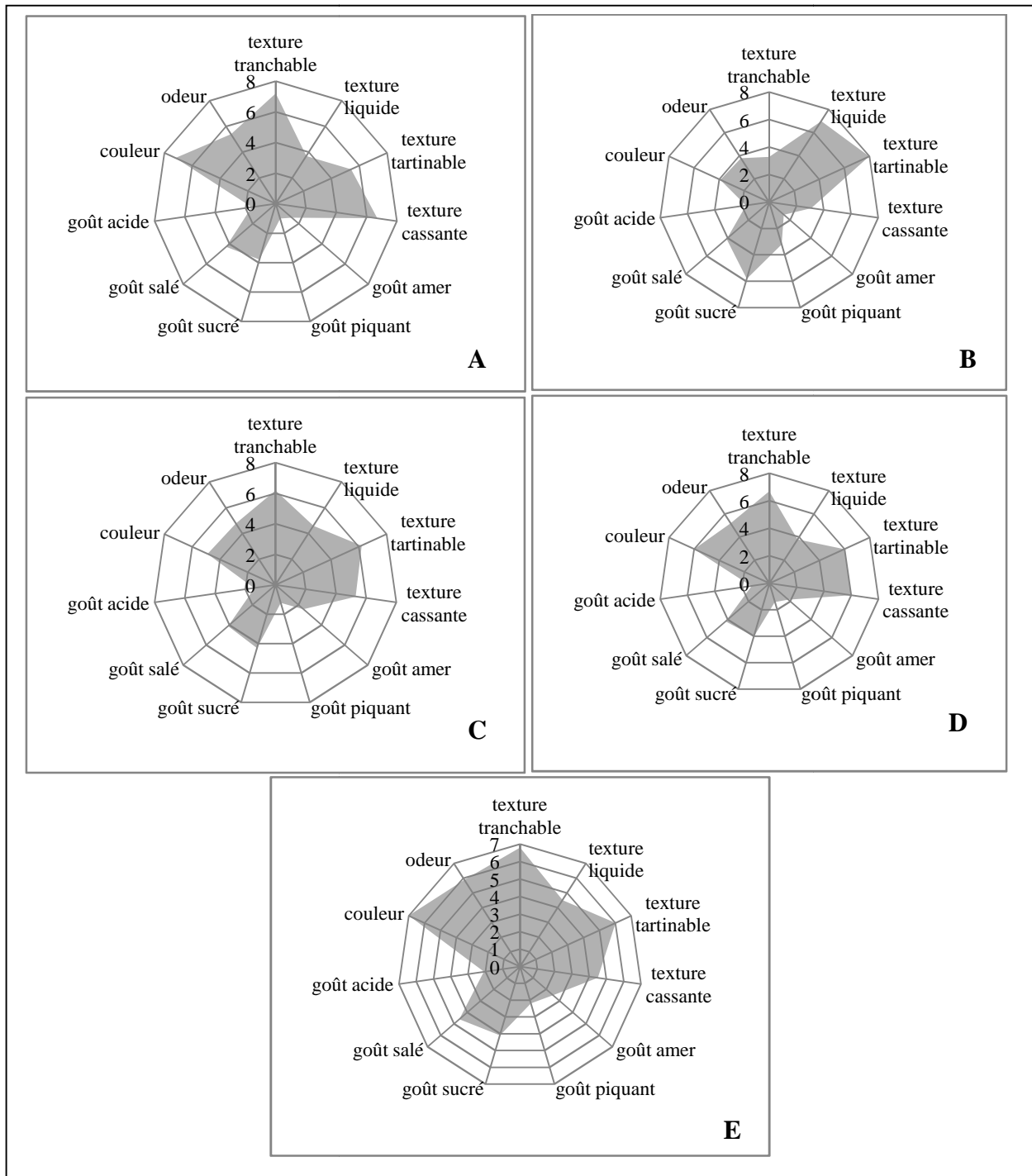


Figure III-14. Profils sensoriels des spécialités fromagères analysées, (A) *Metidja*, (B) *Paysanne*, (C) *Quisto*, (D) *Cheezy*, (E) *Ladhith au camembert*

L'ANOVA sur les notations de la texture tranchable et de la texture cassante confirme la différence significative ($p < 0,05$) entre les spécialités fromagères, et les membres du panel se mettaient en accord pour attribuer les meilleures notes pour *Metidja*. Cette dernière présentait une couleur qui était appréciée et jugée supérieure par la plus part des membres du panel (Tableau III-7).

Tableau III-7. Analyse des différences par le test de Tukey (HSD) entre les spécialités fromagères sur la texture tranchable, la texture cassante et la couleur (avec un intervalle de confiance à 95%)

Attribut	Moyenne estimée	Groupes	
Texture tranchable A	7,222	A	
Texture tranchable E	6,820	A	
Texture tranchable D	6,667	A	
Texture tranchable C	6,222	A	
Texture tranchable B	3,333	B	
Texture cassante A	6,667	A	
Texture cassante D	6,000	A	
Texture cassante C	5,333	A	B
Texture cassante E	4,548	A	B
Texture cassante B	3,111	B	
Couleur A	7,222	A	
Couleur E	7,000	A	
Couleur D	6,000	A	B
Couleur C	4,889	B	
Couleur B	3,889	B	

Pour les notations de la texture liquide et de la texture tartinable, le tableau de l'analyse de la variance (ANOVA) montre que la différence est significative ($p < 0,05$) d'une spécialité fromagère à une autre tout en admettant que *Metidja* présentait une texture moins cassante et moins tartinable (Tableau III-8).

Tableau III-8. Analyse des différences par le test de Tukey (HSD) entre les spécialités fromagères sur la texture liquide et la texture tartinable (avec un intervalle de confiance à 95%)

Attribut	Moyenne estimée	Groupes	
Texture liquide B	7,000	A	
Texture liquide C	4,556		B
Texture liquide E	4,465		B
Texture liquide D	3,778		B
Texture liquide A	3,667		B
Texture tartinable B	8,000	A	
Texture tartinable C	6,222	A	B
Texture tartinable D	6,000	A	B
Texture tartinable E	5,925	A	B
Texture tartinable A	5,444		B

Par ailleurs, d'après l'analyse de la variance (ANOVA), il semble que *Metidja* ne présentait pas de différences significatives ($p > 0,05$) sur le plan gustatif (goût amer, piquant, sucré, salé et acide) et sur l'odeur. Les descripteurs du goût et d'odeur pour lesquels les notes sont particulièrement faibles, ne permettent pas au panel de différencier les produits de manière significative. Ceci peut s'expliquer par de faibles différences entre produits sur ces perceptions. Ces deux caractéristiques organoleptiques (olfactive et gustative) peuvent être confondues sur tous les produits analysés, et cela peut être confirmé par le tableau III-9, qui donne la répartition en un seul groupe homogène des avis des sujets du panel.

Tableau III-9. Analyse des différences par le test de Tukey (HSD) entre les spécialités fromagères sur le goût (amer, piquant, salé acide, et sucré) et sur l'odeur (avec un intervalle de confiance à 95%)

Attribut	Moyenne estimée	Groupes	Attribut	Moyenne estimée	Groupes
Goût amer E	2,486	A	Goût salé E	4,111	A
Goût amer C	2,444	A	Goût salé A	4,333	A
Goût amer D	1,778	A	Goût salé D	4,222	A
Goût amer A	1,444	A	Goût salé C	4,111	A
Goût amer B	1,444	A	Goût salé B	4,111	A
Goût piquant B	3,222	A	Goût acide E	2,123	A
Goût piquant E	2,234	A	Goût acide B	1,667	A
Goût piquant D	1,444	A	Goût acide A	1,556	A
Goût piquant C	1,222	A	Goût acide C	1,444	A
Goût piquant A	1,000	A	Goût acide D	1,333	A
Goût sucré B	5,778	A	Odeur E	5,887	A
Goût sucré C	4,333	A	Odeur A	5,444	A
Goût sucré E	4,136	A	Odeur D	5,222	A
Goût sucré D	4,000	A	Odeur C	4,778	A
Goût sucré A	3,778	A	Odeur B	3,778	A

3.3.2. Test de corrélation

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique statistique permettant de réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre de dimensions. Le but ici est de visualiser la corrélation entre les paramètres physicochimiques et les paramètres sensoriels.

L'analyse en composantes principales (ACP) montre que certaines caractéristiques sensorielles sont corrélées avec les paramètres physicochimiques (Figure III-15).

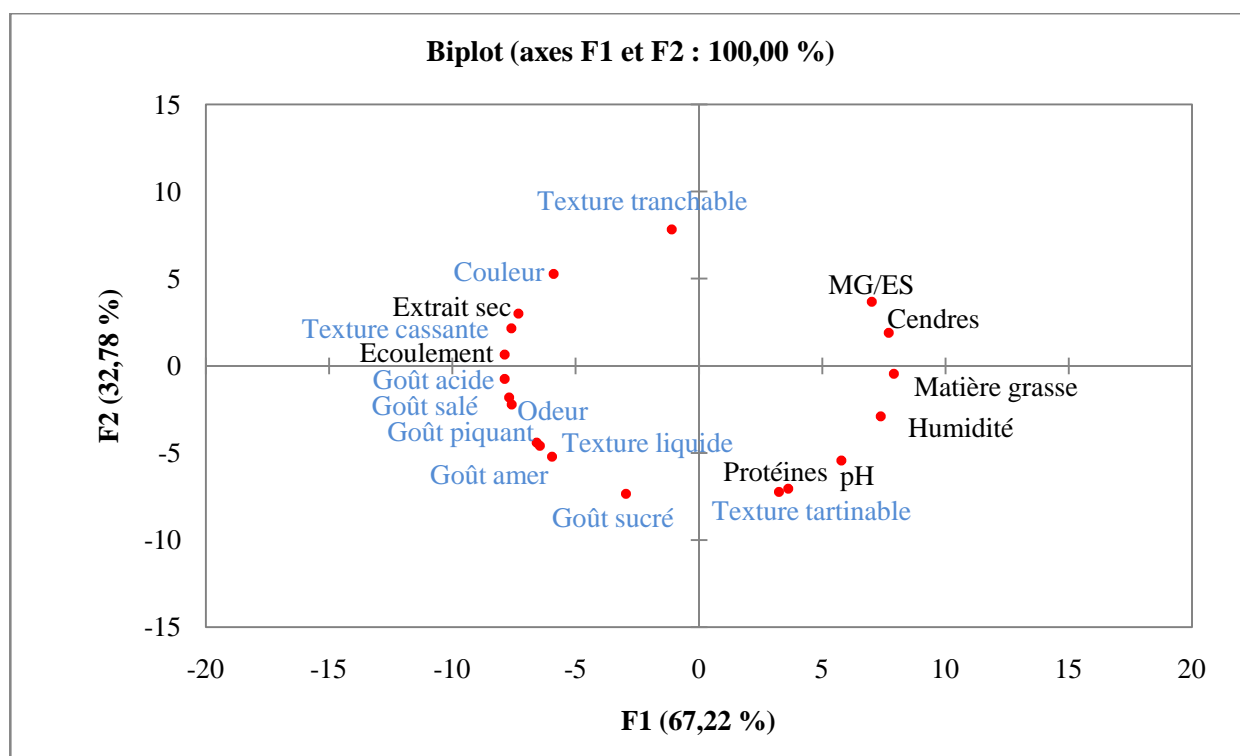


Figure III-15. Analyse en composantes principales (ACP) des principales caractéristiques sensorielles et physicochimiques (avec un seuil de signification de 0,05)

Une corrélation négativement significative ($r = -0,945$) (Tableau III-10) a été observée lors de l'expérimentation sensorielle entre l'aspect tranchable de la texture et le taux de protéines. Cette corrélation peut être expliquée par l'agrégation des caséines qui donne un aspect friable à la pâte de la spécialité fromagère en diminuant sa tranchabilité. Par contre, le taux des protéines est corrélé positivement d'une manière significative ($r = 0,999$) avec la tartinabilité ; lorsque la concentration en protéines augmente, la force des gels augmente également tandis que la perte d'eau diminue. La force des gels exprimée à la fois par la tartinabilité et la force de rupture augmenterait en fonction de la concentration en protéines suite à une augmentation de la probabilité d'interaction des protéines et à la formation d'un réseau plus dense (BAU *et al.*, 1985). Par ailleurs, aux concentrations protéiques élevées, il y aurait formation d'un réseau gélifié avec des mailles serrées et de plus petits pores pouvant retenir plus fortement l'eau libre (WOODWARD et COTTERILL, 1986), avec pour conséquence une diminution de la quantité d'eau expulsée. Selon les données de la littérature (HOKES *et al.*, 1989 ; MARSHALL, 1990), la tartinabilité des spécialités fromagère augmente avec l'augmentation de la teneur en caséinates, et la caséine présure reste plus préférée malgré son insolubilité (McCARTHY, 1990).

La matrice de corrélation donnée par le tableau III-10, indique significativement une corrélation positive ($r = 0,923$) entre le pH et la tartinabilité ; en augmentant le pH au voisinage de 6, les interactions protéines-protéines de même que protéines-eau augmentent et donnent un fromage de texture trop molle et élastique (KAHARADIAN, 1984 ; LEE et KLOSTERMEYER, 2001). D'une autre part, le pH est corrélé négativement ($r = - 0,888$) avec l'aspect cassant de la texture, car en abaissant le pH au voisinage de 5, on obtient un produit de texture friable résultant de l'affaiblissement des interactions protéines-protéines et protéines-eau, mais qui possède en revanche de bonnes caractéristiques de conservation et ne présente pas de risque de séparation de la matière grasse (SHIMP, 1985). Cette dernière est à son tour corrélée négativement avec l'aspect cassant de la texture d'une manière significative ($r = - 0,976$) ; en diminuant le taux de la matière grasse, le nombre de globules gras entourés par la membrane des micelles de caséine sera réduit ce qui fait augmenter le degré d'agrégation des protéines et la texture devient plus cassante. Dans le même contexte, STAMPANONI et NOBLE (1991) ont rapporté que les taux élevés en matière grasse dans les spécialités fromagères favorisent l'aspect collant, ce qui explique la corrélation négative ($r = - 0,844$) entre le taux de la matière grasse et l'écoulement.

Une corrélation significativement négative ($r = - 0,995$) est notamment observée entre le taux d'humidité et la texture cassante mais reste positive ($r = 0,953$) avec l'écoulement, elle peut être expliquée par l'effet plastifiant de l'eau contenue dans la spécialité fromagère ; la diminution de la teneur en eau entraîne une mauvaise hydratation des protéines et donne une pâte moins élastique et plus susceptible aux forces de rupture (PEREIRA *et al.*, 2001).

Le rapport MG/ES peut conditionner à son tour la consistance des spécialités fromagères. Une corrélation négative ($r = - 0,995$) est observée entre la texture liquide et le rapport MG/ES grâce à l'effet lubrifiant de la matière grasse qui donne un produit plus visqueux, mais aussi l'augmentation de l'extrait sec aboutit à un durcissement de la pâte (GREEN *et al.*, 1986 ; EYMERY et PANGBORN, 1988). Par ailleurs, l'ACP montre qu'il est à noter que la texture liquide est négativement corrélée avec le taux en mastères minérales ; ces dernières composés essentiellement par le calcium, le potassium et le sodium peuvent jouer un rôle très important dans la formation de la charpente protéique en formant des ponts reliant les micelles de caséine (McARTAIN *et al.*, 2003 ; SPAGNUOLO *et al.*, 2005).

Les descripteurs du goût appariassent avec des corrélations significatives avec les paramètres physicochimiques, les variations du goût salé peuvent être attribuées aux taux de cendres dans le produit ($r = - 0,999$) qui présentera un goût salé plus intense et indésirable par le consommateur avec l'augmentation de la teneur des matières minérales qui sont essentiellement des sels tels que le NaCl.

En ce qui concerne l'odeur, nous notons une présence d'une corrélation négative avec le taux de la matière grasse en vue de la nature lipophile des composés volatiles responsables de l'odeur qui tendent à se concentrer dans la matière grasse. Mais aussi, l'intensité de l'odeur augmente (et sera mal appréciée par le consommateur) avec l'augmentation du taux de la matière grasse et des réactions d'oxydation résultant dans la production des composés volatiles tels que les n-méthyl cétone, lactones, esters, alcools et aldéhydes (URBACH, 1993 ; FOX et WALLACE, 1997).

L'analyse en composantes principales permet de mettre en évidence que la couleur des spécialités fromagères est fortement liée au taux d'humidité et à la teneur en protéines. L'assombrissement pourrait être expliqué par les réactions de brunissement non-enzymatique (réactions de Maillard) se produisant dans les fromages lors du traitement thermique. L'abaissement de l'activité de l'eau (A_w) des fromages accompagné d'une réduction de la quantité d'eau libre a pu favoriser les réactions de brunissement en concentrant les substances impliquées dans ces réactions. La présence des sucres réducteurs tels le lactose ou des composés carbonylés dérivés de l'oxydation des lipides peuvent à l'origine de la réaction de Maillard qui se produit lors des traitements thermiques ou de l'entreposage (CHETTEL *et al.*, 1985).

Tableau III-10. Matrice de corrélation (Pearson (n)) entre les paramètres physicochimiques et les paramètres sensoriels

	pH	ES	H	MG	MG/ES	Pr	cendres
Texture tranchable	-0,780	-0,491	0,505	-0,196	0,338	-0,945*	0,102
Texture liquide	-0,226	-0,572	0,559	-0,799	-0,995*	0,115	-0,941*
Texture tartinable	0,923*	0,714	-0,725	0,460	-0,063	0,999*	0,178
Texture cassante	-0,888	0,994*	-0,995*	-0,976*	-0,724	-0,682	-0,868
Goût amer	-0,101	-0,463	0,449	-0,716	-0,973	0,240	-0,890
Goût piquant	-0,199	-0,548	0,535	-0,781	-0,991	0,143	-0,931
Goût sucré	0,362	-0,010	-0,006	-0,321	-0,763	0,655	-0,586
Goût salé	-0,553	-0,823	0,814	-0,959	-0,968	-0,240	-0,999*
Goût acide	-0,662	-0,893	0,886	-0,989	-0,924	-0,371	-0,989
Couleur	-0,293	-0,937	0,943	-0,782	-0,349	-0,933	-0,563
Odeur	-0,508	-0,792	0,782	-0,943*	-0,980	-0,189	-0,599
Ecoulement	-0,782	-0,958*	0,953*	-0,844*	0,655	-0,527	-0,948*

*Les valeurs sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Conclusion

Le test triangulaire a révélé que notre produit *Metidja* caractérisé par la présence de l'amidon réticulé est significativement différent des autres spécialités fromagères dont la formule ne renferme pas d'amidon. Le test de classement par rang, montre à son tour que *Metidja* est bien classée et peut être préféré par le consommateur en vue de ces qualités sensorielles appréciables. Quant aux résultats de l'ANOVA et du test de corrélation, ils laissent apparaître que l'ajout de l'amidon réticulé dans la formule de la spécialité fromagère *Metidja* pourrait influencer sensiblement la texture, en la rendant plus tranchable et plus cassante. Mais aussi, une texture moins liquide et moins tartinable peut être obtenue lors de la substitution partielle de la matière protéique laitière par l'amidon réticulé. L'apparence de ce type fromage peut être améliorée par l'adjonction de l'amidon réticulé en lui redonnant une couleur plus attrayante. Cette substitution n'induit pas de modifications significatives sur le goût (goût amer, piquant, sucré, salé et acide) et sur l'odeur.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude a été conduite dans le but de l'appréciation de la qualité des spécialités fromagères et la détermination de l'impact de la substitution partielle des protéines laitières par l'amidon réticulé sur la viscosité et les propriétés d'écoulement ainsi sur la texture d'une spécialité fromagère en visant une meilleure compréhension des phénomènes physicochimiques intervenant pendant la fonte des fromages et leurs influences sur les caractéristiques sensorielles du produit fini.

Au cours de cette étude, nous avons atteint un certain nombre des objectifs que nous avons fixés au début de notre travail.

Nous avons pu d'une part suivre l'évolution des paramètres physicochimiques pendant le procédé de fabrication des deux spécialités fromagères *Metidja* et *Ladhidh au camembert* dans la laiterie de Beni Tamou de Blida. Pour la première spécialité fromagère, le suivi a été effectué après quatre grandes étapes de la production ; dans le mélangeur, après la précuisson, après traitement thermique UHT et enfin dans le produit fini à la sortie de la conditionneuse. Quant à *Ladhidh au camembert*, trois étapes ont été fixées ; après broyage, après cuisson et à la sortie de la conditionneuse.

Dans la première partie des résultats, il s'est avéré que le pH tend à baisser pendant le procédé de fabrication des deux spécialités fromagères, mais l'eau libre contenue dans le produit a une influence sur l'environnement en induisant l'ionisation des complexes de phosphate de calcium et des différents groupements fonctionnels aminoacides et par conséquent une légère augmentation du pH pendant la cuisson de la pâte a été notée, ce qui peut donner à l'ouverture des pétrins une pâte trop molle. Ce paramètre atteint une valeur de 5,67 pour *Metidja* et 5,97 pour *Ladhidh au camembert* dans le produit fini.

Pour l'extrait sec, il est à son tour sujet à une diminution très nette à cause de l'injection des quantités importante de l'eau ce qui donne une texture liquide au produit fini.

Pendant l'opération de crémage, une baisse du taux de la matière grasse est nettement remarquée. Par la suite, il est maintenu à un niveau stable après le traitement UHT pour *Metidja* et après la cuisson pour *Ladhidh au camembert*. Ceci donne comme résultats une baisse du rapport MG/ES qui caractérise le produit fini ; il était à 51,2 % et 44 % pour *Metidja* et *Ladhidh au camembert* respectivement.

Le taux de protéines, le taux de sel et le taux de cendres ont été déterminés dans les produits finis. Pour *Metidja*, nous avons enregistré des taux de 15,50 %, 0,6 % et 4,365 % pour les protéines, le NaCl et les cendres respectivement. Pour *Ladhidh au camembert*, nous avons consigné des taux de 17,30 %, 0,75 % et 3,808 % pour les protéines, le NaCl et les cendres respectivement.

Durant les étapes de fabrication de la spécialité fromagère, l'amidon contenu dans la formule subissait l'effet des traitements hydrothermiques et les forces de cisaillement mécaniques, ce qui se traduit par des modifications morphologiques et texturales des grains d'amidon.

En présence d'une teneur en eau, accompagnée par un traitement thermique de 90°C pendant la précuisson (température supérieure à la température de gélatinisation de l'amidon natif d'origine) le gonflement des granules d'amidon réticulé intervient et leur volume augmente en raison de l'absorption de l'eau. Ce gonflement des grains d'amidon s'accompagne d'une perte de la structure cristalline : c'est le phénomène irréversible de gélatinisation mais sans qu'il ait la solubilisation du contenu granulaire. Il semble que les grains d'amidon ont atteint le stade de cuisson optimale avec un aspect onctueux et une viscosité élevée.

Par ailleurs, l'observation microscopique a révélé l'existence de quelques granules éclatés. L'éclatement des granules d'amidon réticulés pouvait être justifié par les contraintes imposées par le traitement thermique (UHT à 138°C pendant 3 secondes), mais aussi par les forces de cisaillement et la baisse de l'acidité. Les grains d'amidon ont atteint le stade de surcuisson en donnant une texture gélatineuse. La rupture des grains d'amidon pourra causer une baisse de la viscosité de la pâte fromagère mais aussi le phénomène de suintement en cas du stockage du produit fini.

La substitution partielle de la caséine par l'amidon réticulé a engendré une augmentation de la viscosité apparente de la pâte fromagère. Pendant le procédé de fabrication de la spécialité fromagère, l'amidon réticulé se mettait en compétition avec la caséine pour l'absorption de l'eau,

ce qui limite l'hydratation de la caséine et la capacité d'émulsifier la matière grasse. La spécialité fromagère obtenue avait une viscosité plus importante, une cohésion moindre et une aptitude à la refonte réduite par rapport au deuxième produit qui ne contenait pas de l'amidon réticulé.

Les résultats des analyses sensorielles, ont montré par le biais du test triangulaire que la spécialité fromagère à laquelle l'amidon réticulé a été ajouté à raison de 3 % était significativement différente par rapport à une autre spécialité fromagère sans amidon réticulé. Notre produit a été positionné en deuxième rang parmi les cinq spécialités fromagères analysées lors du test de classement par rang. Le test hédonique fait ressortir notre produit avec des meilleures notations pour la texture tranchable et la texture cassante mais aussi pour sa couleur et la différence était significative grâce à l'effet positif de l'amidon réticulé sur les descripteurs précédents. Par contre, notre produit présentait une texture peu liquide et une faible tartinabilité. Aucune différence significative n'a été signalée sur le plan gustatif (goût amer, piquant, sucré, salé et acide) et sur l'odeur, ceci dit que la substitution partielle de la caséine par l'amidon réticulé ne modifie pas les caractéristiques du goût et de l'odeur.

L'analyse en composantes principales a permis d'établir des liens de corrélation entre les paramètres physicochimiques et les caractéristiques sensorielles. Le pH présente une corrélation positive ($r = 0,923$) avec la tartinabilité de la texture. Le taux de protéines est négativement corrélé avec la tranchabilité de la texture ($r = - 0,945$) et positivement corrélé avec la tartinabilité ($r = 0,999$). Le taux de l'extrait sec et celui de la matière grasse agissaient de façon opposée sur la texture cassante. L'eau a un effet plastifiant, la baisse de sa teneur traduite par l'augmentation du taux de l'extrait sec donne à la spécialité fromagère une texture plus cassante, d'où la corrélation positive ($r = 0,994$). Quant à la matière grasse, son taux est négativement corrélé avec le descripteur cassant de la texture ($r = - 0,976$). L'intensité de l'odeur augmente (et sera mal appréciée par le consommateur) avec l'augmentation du taux de la matière grasse et de la lipolyse résultant dans la production des composés volatiles.

Au cours de ce travail, les approches expérimentales ont touché à différents axes. Nous avons conscience de la modeste part de cette contribution, mais elle n'est que le début d'un travail de longue haleine. Cette thématique de recherche abordée dans ce travail est encore très limitée et pourraient être le point de départ de certains objectifs à envisager tels que l'utilisation d'un amidon avec un degré de réticulation plus élevé et une résistance meilleure aux contraintes des traitements thermiques et des forces de cisaillement d'une part, et l'optimisation de la dose de l'amidon réticulé qui pourrait substituer la caséine d'une autre part.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADLER-NISSEN J., 1986. Enzymatic hydrolysis of food proteins. Elsevier applied science, London & New York.

AMELLAL R., 1995. La filière lait en Algérie : entre l'objectif de la sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance. Options Méditerranéennes CIHEAM-IAMM, Série B, n. 14, p. 229-238.

AOAC (Association of official analytical chemistry), 1997. Official Methods of Analysis, 15th ed, Washington, D.C.

AOAC (Association of official analytical chemistry), 2002. Ash of cheese. Official method 935.42, Chapter 33, 71 p.

BACHMANN H.P., 2000. Cheese analogues : a review. International Dairy Journal, vol. 11, p. 505–515.

BAU H.M., MOHTADI-NIA D.J., LORIENT D., DEBRY G., 1985. Les caractéristiques de la gélification d'isolat protéique du soja. Food Science and Technology journal, vol. 18, n. 4, p. 274-279.

BEGUERIA C., 1999. Process for the manufacture of cheese products by processing of a cheese raw material. Eur. Pat. Appl. FR2 750 015 A1.

BERGER W., KLOSTERMEYER H., MERKENICH K., UHLMANN G., 1993. Processed cheese manufacture. Ladenburg : BK Ladenburg GmbH.

BLOND G., HAURY E., LORIENT D., 1988. Interactions lipides-protéines dans le fromage fondu en pétrin et en cuisier-extruder. Influence des conditions de fabrication. Sci. Alim., vol. 8, p. 325–340.

BOURSIER B., 2008. Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. Techniques de l'Ingénieur, F 4 690, 22 p.

BOUTONNIER J.L., 2002. Fabrication du fromage fondu. Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, F 6 310-1, 14 p.

BOWLAND E.L., FOEGEDING E.A., 2001. Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese. *Journal of Dairy Science*, vol. 84, p. 2372–2380.

BULEON A., COLONNA P., LELOUP V., 1990. Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. *Actualités des industries alimentaires et agro-alimentaires*, vol. 107, p. 515-532.

BUNKA F., STETINA J., HRABE J., 2008. The effect of storage temperature and time on the consistency and color of sterilized processed cheese. *European Food Research of Technology*, vol. 228, p. 223–229.

CARIĆ M. AND KALÁB M., 1987. Processed cheese products. **In:** *Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology*, vol. 2, **Fox P.F.** Ed: Elsevier Applied Science Publishers Ltd. London, 339 p.

CARIĆ M. AND KALÁB M., 1993. Processed cheese products. **In:** **FOX P.F.** *Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology*, vol. 2, Major Cheese Groups, 2nd ed, , ed., Chapman & Hall, London, p. 467–505.

CARIĆ M., 2000. Processed cheese. **In,** **FRANCIS F.J.,** *Encyclopedia of Food Science and Technology*, 2nd ed , ed., John Wiley and Sons, New York. p. 1973–1987.

CAVALIER-SALOU C., CHEFTEL J.C., 1991. Emulsifying salts influence on characteristics of cheese analogs from calcium caseinate. *Journal of Food Science*, vol. 56, p. 1542–1551.

CHAMBRE M., DAURELLES J., 1997. Le fromage fondu. **In:** **ECK A. et GILLIS.** *Le fromage*. Ed. Lavoisier, p. 691-708.

CHEFTEL J.C., CUQ J.L., LORIENT D., 1985. Modification des protéines. **In :** *Protéines alimentaires*. Ed. Lavoisier TEC & DOC Paris, p. 255-277.

CHEN S.L., WAN P.J., LUSAS E.W, RHEE K.C., 1979. Utilization of peanut protein and oil in cheese analogs. *Food Technol.* vol. 37, n. 7, p. 88–93.

CHENE C., 2004. Les amidons. 1^{ère} Partie. *Journal de l'ADRIANOR, Agro-Jonction*, n. 34, 8 p.

CHRISTENSEN J., POVLSEN V.T., SØRENSEN J., 2003. Application of fluorescence spectroscopy and chemometrics in the evaluation of processed cheese during storage. *J. Dairy Sci.* vol. 86, p. 1101–1107.

Commission codex alimentarius, 2004. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires comité du codex sur le lait et les produits laitiers. Sixième Session, Auckland Nouvelle-Zélande. Avant-projet de norme pour le fromage fondu observations à l'étape 3, 3 p.

CSOK J., 1982. The effect of holding time on free and bound-water contents of processed cheese. **In:** Proceedings of the XXI International Dairy Congress, Brief Communications, Volume 1, Book 1, Mir Publishers, Moscow, p. 475–476.

DALLY L.L., SAKO A., KOFFI A.A., COULIBALY S., N'GUESSAN A.G., 2007. Etude de la digestibilité in vitro de l'amidon d'*Ipomea batatas* (patate douce) en comparaison avec un amidon de référence : L'amidon de *Triticum amyllum* (l'amidon de blé). *Revue Bio-Africa, EDUCI*, p. 25-29.

DELLA VALLE G., COLONNA P., PATRIA A., VERGNES B., 1996. Influence of Amylose Content on the Viscous Behavior of Low Hydrated Molten Starches. *Journal of Rheology*, vol. 40, p. 347-362.

DFI (Département Fédéral de l'Intérieur), 2009. Ordonnance sur les denrées alimentaires d'origine animale, 48 p.

DIMITRELI G., THOMAREIS A.S., 2004. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, vol. 64, p. 265-271.

DIMITRELI, G., THOMAREIS, A.S., SMITH, P.G., 2005. Effect of emulsifying salts on casein peptization and apparent viscosity of processed cheese. *International Journal of Food Engineering*, vol. 1, n. 4, p. 1–17.

DIMITRELI G., THOMAREIS A.S., 2007. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, vol. 79, p. 1364–1373.

DRAKE M.A., SWANSON B.G., 1995. Reduced- and low-fat cheese technology. A review, *Trends Food Science Technology*, vol. 6, n. 11, p. 366–368.

ECKNER K.F., DUSTMAN W.A., RYS-RODRIGUEZ A.A., 1994. Contribution of composition, physicochemical characteristics and polyphosphates to the microbial safety of pasteurized cheese spreads. *Journal of Food Protein*, vol. 57, p. 295–300.

EMMONS D.B., KALAB M., LARMOND E., LOWRIE R.J., 1980. Milk gel structure. Texture and microstructure in Cheddar cheese made from whole milk and from homogenized low-fat milk. *J. Texture Stud.* vol. 11, p. 15–34.

ENNIS M.P., MULVIHILL D.M., 1999. Compositional characteristics of rennet caseins and hydration characteristics of the caseins in a model system as indicators of performance in Mozzarella cheese analogue manufacture. *Food Hydrocolloids*, vol. 13, n. 4, p. 325-337.

ÉTIENNE K-M., 1992. Dénaturation thermique et gélification des protéines de lactosérum en solution modèle et dans un aliment complexe, le fromage fondu à tartiner : effets du NaCl, du lactose et du glycérol. Thèse de doctorat, Université Laval Québec, 138 p.

EYMERY O., PANGBORN R.M., 1988. Influence of fat, citric acid and sodium chloride on texture and taste of a cheese analog. *Science des Aliments*, vol. 8, p. 15–32.

FOX P.F., WALLACE J.M., 1997. Formation of flavor compounds in cheese. *Adv. Appl. Microbiol.*, vol. 45, p. 17–85.

FOX P.F., MCSWEENEY P.L.H., 1998. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Ed. Thomson Science, Germany, 396 p.

FOX P.F., GUINEE T.P., COGAN T.M., MCSWEENEY P.L.H., 2000. *Fundamentals of cheese science*. Maryland : Aspen Publishers Inc. p. 429–451.

GLIGUEM H., GHORBEL D., GRABIELLE-MADELMONT C., GOLDSCHMIDT B., LESIEUR S., ATTIA H., OLLIVON M., LESIEUR P., 2009a. Water behaviour in processed cheese spreads DSC and ESEM study. *J Therm Anal Calorim*, vol. 98, p. 73–82.

GLIGUEM H., GHORBEL D., LOPEZ C., MICHON C., OLLIVON M., LESIEUR P., 2009b. Crystallization and polymorphism of triacylglycerols contribute to the rheological properties of processed cheese. *Journal of Agriculture and Food Chemical*, vol. 18, p. 3195–3203.

GREEN M.L., LANGLEY K.R., MARSHALL R.J., BROOKER B.E., WILLIS A., VINCENT J.F.V., 1986. Mechanical properties of cheese, cheese analogues and proteins gels in relation to composition and microstructure. *Food Microstructure*, vol. 5, p. 169–180.

GUINEE T.P., FEENEY E.P., AUTY M.A.E., FOX P.F., 2002. Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, vol. 85, p. 1655–1669.

GUINEE T.P., CARIĆ M., KALÁB M., 2004. Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products. **In: FOX P.F., MCSWEENEY P.L.H., COGAN T.M., GUINEE T.P.** *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology. Major Cheese Groups vol. 2*, 3rd ed. Elsevier Applied Science Ltd, London, p. 349-394.

GUINEE P.T., O’KENNEDY T.B., 2009. The effect of calcium content of Cheddar-stylecheese on the biochemical and rheological properties of processed cheese. *Dairy Sci. Technol.* vol. 89, p. 317–333.

GUPTA S.K., KARAHADIAN C., LINDSAY R.C., 1984. Effect of emulsifier salts on textural and flavour properties of processed cheeses. *J Dairy Sci.* vol. 67, p. 764–778.

HENNELLY P.J., DUNNE P.G., O’SULLIVAN M. O’RIORDAN D., 2005. Increasing the moisture content of imitation cheese : effects on texture, rheology and microstructure. *Eur Food Res Technol*, vol. 220, p. 415–420.

HEERTJE I., BOSKAMP M.J., VAN KLEEF F., GORTEMAKER F.H., 1981. The microstructure of processed cheese. *Neth. Milk Dairy J.* vol. 35, p. 177–179.

HOKES J.C., HANSEN P.M.T., MANGINO M.E., 1989. Functional properties of commercial calcium caseinates for use in imitation cheese. *Food Hydrocolloids*, vol. 3, p. 19–31.

HORNE D.S., 1998. Casein interactions, casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *Int. Dairy J.* vol. 8, p. 171–177.

HUANG V.T., PANDA F.A., SMITH E.B., 2010. Cheese composition and related methods. United states patent, US 7807207 B2, 12 p.

IDF 88A, 1988. Cheese and Processed Cheese Products – Determination of Chloride Content – Potentiometric Method. International Dairy Federation, Brussels.

ISO 4120, 1983. Methods for sensory analysis of food. Triangular test. 12 p.

ISO 3433, 2002. Fromages -Détermination de la teneur en matière Grasse- Méthode acido-butyrométrique, International Organization of Standardization.

ISO 5534, 2004. Fromages et fromages fondus -Détermination de la teneur totale en matière sèche (Méthode de référence), International Organization of Standardization.

JELEN P., RATTRAY W., 1995. Thermal denaturation of whey proteins. **In: FOX P.F.,** Heat Induced Changes in Milk, Special Issue 9501, 2nd ed, International Dairy Federation, Brussels. p. 66–85.

JORF (JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE), 2007. Décret n. 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères, 10 p.

KARAHADIAN C., 1984. Technological aspect of reduced-sodium process American cheese. Masters thesis, University of Wisconsin, Madison.

KARAHADIAN C., LINDSAY R.C., 1984. Flavor and textural properties of reduced-sodium process American cheeses. *J. Dairy Sci.* vol. 67, p. 1892–1904.

KAUTTER D.A., LILLY T., LYNT R.K., SOLOMON H.M., 1979. Toxin by *Clostridium botulinum* in shelf-stable pasteurized process cheese spreads. *Journal of Food Protein*, vol. 42, p. 784–786.

KEENAN T.W., MAHER I.H., DYLEWSKI D.P., 1988. Physical equilibria: lipid phase. **In: WONG N.P.,** *Fundamental Dairy Chemistry*, ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York. pp. 511–582.

KIM S.Y., PARK P.S.W., RHEE K.C., 1992. Textural properties of cheese analogs containing proteolytic enzymemodified soy protein isolates. *J. Am. Oil Chem. Soc.* vol. 69, p. 755–759.

KIMURA T., SAGARA Y. AND TANIMOTO M., 1986. Microstructure of Cream cheese observed by cryo-SEM. Effects of melting salts and shear rate of the cheese structure during processing. *Reports of Research Laboratory, Snow Brand Milk Products Co.*, n. 83, p. 43–54.

KIZILOZ M.B., CUMHUR O., KILIC M., 2009. Development of the structure of an imitation cheese with low protein content. *Food Hydrocolloids*, vol. 23, p. 1596–1601.

- KOHNHORST A.L., MANGINO M.E., 1985.** Prediction of the strength of whey protein gels based on composition. *Journal of Food Science*, vol. 50, p. 1403-1411.
- KUHAN K., SCHULAUCH S., 1994.** Comparative study about commercially available starch for high shear and high temperatures applications in foods. *Starch/Stärke*, vol. 46, p. 208-218.
- LAMURE A., POMMERT J.F., KLAEBE A., LACABANNE C., PERIE J.-J., 1988.** Effect of polyphosphate binding on the chain dynamic of caseins, investigation by differential scanning calorimetry and thermally stimulated currents. *Journal of Dairy Research*, p. 401-412.
- LEE B.O., PAQUET D., ALAIS C., 1979.** Etude biochimique de la fonte des fromages. Mesure de la peptisation. Université de Nancy, France, p. 589-596.
- LEE Y.H., MARSHALL T., 1981.** Microstructure and texture of process cheese, milk curds, and caseinate curds containing native or boiled soy proteins. *Journal of Dairy Science*, vol. 64, p. 2311-2317.
- LEE B.O., PAQUET D., ALAIS C., 1986.** Etude biochimique de la fonte des fromages. Effet du type de sels de fonte et de la nature de la matière protéique sur la peptisation. Utilisation d'un système modèle. *Le Lait*, vol. 66, n. 3, p. 257-267.
- LEE S.K., KLOSTERMEYER H., 2001.** The effect of pH on the rheological properties of reduced-fat model processed cheese spreads. *Lebensm. Wissens. Technol.*, vol. 34, p. 288-292.
- LEE S.K., ANEMA K., KLOSTERMEYER H., 2004.** The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 39, p. 763-771.
- LELIEVRE J., SHAKER R.R., TAYLOR M.W., 1990.** The role of homogenization in the manufacture of Halloumi and Mozzarella cheese from recombined milk. *J. Soc. Dairy Technol.* vol. 43, p. 21-24.
- LOESSNER M.J., MAIER S.K., SCHIWEK P., SCHERER S., 1997.** Long-chain polyphosphates inhibit growth of *Clostridium tyrobutyricum* in processed cheese spreads. *J. Food Prot.*, vol. 60, p. 493-498.
- LU Y., SHIRASHOJI N., LUCEY J.A., 2008.** Effects of pH on the Textural Properties and Meltability of Pasteurized Process Cheese Made with Different Types of Emulsifying Salts. *Food Engineering and Physical Properties*, vol. 73, n. 8, p. 363-369.

- LUCEY J.A., JOHNSON M.E., HORNE D.S., 2003.** Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science*, Vol. 86, n. 9, p. 2725-2743.
- MAFART P., COUVERT O., LEGUERINEL I., 2001.** Sterilized processed cheeses. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 63, p. 51–56.
- MARCHESSEAU S., GASTALADI E., LAGAUDE A., CUQ J.L., 1997.** Influence of pH on protein interaction and microstructure of process cheese. *Journal of Dairy Science*, vol. 80, n. 8, p. 1483-1489.
- MARSHALL R.J., 1990.** Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *Journal of Science and Food Agriculture*, vol. 50, p. 237–252.
- McARTAIN P., JACQUIER J.C., DAWSON, K.A., 2003.** Physical characteristics of calcium induced k-carrageenan networks. *Carbohydrate Polymers*, vol. 53, p. 395–400.
- MCCARTHY J., 1990.** Imitation Cheese Products. Bulletin 249, International Dairy Federation, Brussels. p. 45–52.
- McMAHON D.J., FIFE R.L., OBERG C.J., 1999.** Water partitioning in Mozzarella cheese and its relationship to cheese meltability. *Journal of Dairy Science*, vol. 82, n. 7, p. 1361–1369.
- METZGER L.E., MISTRY V.V., 1994.** A new approach using homogenization of cream in the manufacture of reducedfat Cheddar cheese. 1. Manufacture, composition and yield. *J. Dairy Sci.* vol. 77, p. 3506–3515.
- MEYER A., 1973.** *Processed Cheese Manufacture*, Food Trade Press Ltd., London, 201 p.
- MICHALSKI M.C., CARIOU R., MICHEL F. AND GARNIER C., 2002.** Native vs. damaged milk fat globules : membrane properties affect the viscoelasticity of milk gels. *J. Dairy Sci.* vol. 85, p. 2451–2461.
- MOUNSEY J.S., O’RIORDAN E.D., 1999.** Empirical and dynamic rheological data correlation to characterize melt characteristics of imitation cheese. *Journal of Food Science*, vol. 64, n. 4, p. 701–703.
- MOUNSEY J.S., O’RIORDAN E.D., 2008a.** Modification of imitation cheese structure and rheology using pre-gelatinised starches. *European Food Research Technology*, vol. 226, p. 1039–1046.

MOUNSEY J.S., O'RIORDAN E.D., 2008b. Alteration of imitation cheese structure and melting behavior with wheat starch. *European Food Research Technology*, vol. 226, p. 1013–1019.

NAKAJIMA L., KAWANISHI G., FURIUCHI E., 1975. Reactions of melting salts upon casein micelles and their effect on calcium, phosphorus and bound water. *Agric. Biol. Chem.*, vol. 39, p. 979-987.

NAYOUF M., 2003. Etude rhéologique et structurale de la qualité texturale du système amidon/kappa-caraghénane en relation avec le traitement thermomécanique. Thèse, Nantes, 198 p.

NF ISO 6888-1/A1 (V 08-014-1/A1), 2004. Microbiologie des aliments. Méthode horizontale pour le dénombrement des staphylocoques à coagulase positive (*Staphylococcus aureus* et autres espèces). Partie 1 : Technique utilisant le milieu gélosé de Baird-Parker. Amendement 1 : Inclusion des données de fidélité.

NF ISO 4832 : 2006. Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes – Méthode par comptage des colonies.

NORONHA N., CRONIN D., O'RIORDAN D., O'SULLIVAN M., 2008a. Flavouring reduced fat high fibre cheese products with enzyme modified cheeses (EMCs). *Food Chemistry*, vol. 110, p. 973–978.

NORONHA N., O'RIORDAN E.D., O'SULLIVAN M., 2008b. Influence of processing parameters on the texture and microstructure of imitation cheese. *European Food Research of Technology*, vol. 226, p. 385–393.

OLSON N.F., PRICE W.V., 1958. A melting test for pasteurized process cheese spreads. *Journal of Dairy Science*, vol. 41, p. 999–1000.

ORTEGA-FLEITAS O., REAL-DEL-SOL E., CABRERA M.C., ORETGA A., SUAREZ-SOLIS V., CARDOSO F., INIGUEZ C., 2001. Manufacture of a cheese substitute for pizzas. *Alimentaria*, vol. 322, p. 87–89.

PADILLA M., GHERSI G., 2001. Le marché international du lait et des produits laitiers. *Options méditerranéennes, CIHEAM-IAM Montpellier, France, sér. B, n. 32, 15 p.*

PAQUET D., 1988. Processed cheeses : physico-chemical aspects. **In: LORIENT D., COLAS B., LE MESTRE M.** Functional properties of food macromolecules. Ed. Les cahiers de l'ENSBANA. Paris: Technique & Documentation Lavoisier, p. 227–241.

PATART J.P., 1987. Les fromages fondus. **In : ECK A.** Le fromage. Edition Lavoisier, p. 385-398.

PEREIRA R.B., BENNETT R.J., HEMAR Y., CAMPANELLA O.H., 2001. Rheological and microstructural characteristics of model processed cheese analogues. *Journal of Texture Studies*, vol. 32, p. 349–373.

RAYAN A.A., KALÁB M., ERNSTROM C.A., 1980. Microstructure and rheology of process cheese. *Scanning Electron Microsc.* III, p. 635–643.

RÜEGG M., BLANC B., 1981. Influence of water activity on the manufacture and aging of cheese. **In : ROCKLAND L.B., STEWART G.F.** Water Activity, Influences on Food Quality, ed. Academic Press, New York. p. 791–811.

RUSSELL N.J., GOULD G.W., 1991. Factors affecting growth and survival. **In: RUSSELL N.J., GOULD G.W.** Food Preservatives, ed. Blackie and Son Ltd., Glasgow and London, p. 13–21.

SAVELLO P.A., ERNSTROM C.A., KALÁB M., 1989. Microstructure and meltability of model process cheese made with rennet and acid casein. *Journal of Dairy Science*, vol. 72, p. 1–11.

SCHÄFFER B., LŐRINCZY D., BELÁGYI J., 1999. Dsc and electronmicroscopic investigation of dispersion-type processed cheese made without peptisation. *Journal of thermal analysis and colorimetry*, vol. 56, p. 1211-1216.

SCHÄFFER B., SZAKALY S., LŐRINCZY D., SCHÄFFER B., 2001. Processed cheeses made with and without Peptization : Submicroscopic structure and thermodynamic characteristics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 64, p. 671-679.

SCHÄR W., BOSSET J.O., 2002. Chemical and physicochemical changes in processed cheese and ready-made fondue during storage. A review. *Lebensm. Wissen. Technol.*, vol. 35, p. 15–20.

SHIMP L.A., 1985. Process cheese principles. *Journal of Food Technol.*, vol. 39, n. 5, p. 63–69.

- SINGH H., 1995.** Heat-induced changes in casein, including interactions with whey proteins. In: **FOX P.F.,** Heat Induced Changes in Milk, 2nd ed, Special Issue 9501, International Dairy Federation, Brussels, p. 86–104.
- SINHA R.N., SINHA P.R., 1988.** Volatile and nonvolatile acids produced by *Clostridium sporogenes* isolated from processed cheese. J. Food Sci. Technol. India, vol. 25, p. 101–102.
- SOOD V.K., KOSIKOWSKI F.V., 1979.** Process Cheddar cheese from plain and enzyme treated retentates. Journal of Dairy Science, vol. 62, p.1713–1718.
- SPAGNUOLO P.A., DALGLEISH D.G., GOFF H.D., MORRIS E.R., 2005.** Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers. Food Hydrocolloids, vol. 19, n. 3, p. 371–377.
- STAMPANONI C.R., NOBLE A.C., 1991.** The influence of fat, acid and salt on the temporal perception of firmness, saltiness and sourness of cheese analogues. Journal of Texture Studies, vol. 22, p. 381–392.
- SUKHININA S.Y., SELYATITSKAYA V.G., PALCHIKOVA N.A., SHORIN Y.P., POZNYAKOVSKII V.M. AND BONDAREV G.I., 1997.** Efficiency of processed cheese enriched by iodine in prevention of goitre. Voprosy-Pitaniya, vol. 1, p. 21–23.
- SWIATEK A., 1964.** Einflub der art und menge des schmelzsalzes auf die konsistenz von schmelzkäse. Milchwissenschaft, vol. 19, p. 409–413.
- TAGGART P., MITCHELL J.R., 2009.** Starch. In: **PHILLIPS G.O., WILLIAMS P.A.** Handbook of Hydrocolloids. Second edition, Woodhead Publishing Limited, p. 108-141.
- TAKACHE H., 2006.** Effet du traitement thermique et du cisaillement dans un échangeur tubulaire sur les propriétés rhéologiques d'un système à base d'amidon. Rapport bibliographique, Université de Nantes, 15 p.
- TAMIME A.Y., KALÁB M., DAVIES G., YOUNIS M.F., 1990.** Microstructure and firmness of processed cheese manufactured from Cheddar cheese and skim milk powder cheese base. Food Struct. vol. 9, p. 23–37.
- TANAKA N., GOEPFERT J.M., TRAISMAN E., HOFFBECK W.M., 1979.** A challenge of pasteurized process cheese spread with *Clostridium botulinum* spores. Journal of Food Protein, vol. 42, p. 787–789.

TANAKA N., TRAISMAN E., PLANTINGA P., FINN L., FLOM W., MESKE L., GUGGISBERG J., 1986. Evaluation of factors involved in antibotulinal properties of pasteurized process cheese spread. *Journal of Food Protein*, vol. 49, p. 526–531.

TARANTO M.V., YANG C.S.T., 1981. Morphological and textural characterization of soybean Mozzarella cheese analogs. *Scanning Microsc*, vol. 3, p. 483–492.

TATSUMI K., OHABA S., NAKAJIMA L., SHINOHARA K., KAWANISHI G., 1975. The effect of emulsifying salts on the texture of processed cheese. III. The effect of emulsifying salts on the state of dispersion of casein. *Journal of Agriculture Chemistry Soc. I pn.*, vol. 49, p. 481-489.

TATSUMI K., NISHIYA T., YAMAMOTA H., IDO K., HANAWA N., ITOH K. AND TAMAKI K., 1989. Functional properties of cheese cooked without emulsifying salts in a twin screw extruder. *Reports of Research Laboratory, Snow Brand Milk Products Co.*, n. 88, p. 73–90.

TATSUMI K., NISHIYA T., IDO K., KAWANISHI G., 1991. Effects of heat treatment on the meltability of processed cheese. *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.* vol. 38, p. 102–106.

Ter STEEG P.F., CUPPERS H.G.A.M., HELLEMONS J.C., RIJKE G., 1995. Growth of *Clostridium botulinum* in process cheese products. I. Data acquisition for modeling the influence of pH, sodium chloride, emulsifying salts, fat dry basis, and temperature. *J. Food Prot.*, vol. 58, p. 1091–1099.

TESONE S., QUEVEDO F., 1978. Contrôle microbiologique du fromage : fromage a pâte molle « le cuartirolo ». *Ed. Le lait*, vol. 58, n. 3, p. 43-56.

TUNICK M.H., COOKE P.H., MALIN E.L., SMITH P.W., HOLSINGER V.H., 1997. Reorganization of casein submicelles in Mozzarella cheese during storage. *Int. Dairy J.* vol. 7, p. 149–155.

USDA commodity requirements, 2007. PCD5 Pasteurized process American cheese for use in domestic programs, 9 p.

URBACH G., 1993. Relations between cheese flavour and chemical composition. *Int. Dairy J.*, vol. 3, p. 389–422.

URBANSKI G.E., WEI L.S., NELSON A.I., STEINBERG M.P., 1983. Rheology models for pseudoplastic soy systems based on water binding. *Journal of Food Science*, vol. 48, p. 1436.

VAN WAZER J.R., 1971. Chemistry of the phosphates and condensed phosphates. **In, DEMAN J.M. AND MELNYCHYN P.** Phosphates in Food Processing. Ed. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, CT, p. 1–23.

VARUNSATIAN S., WATANABE K., HAYAKAWA S., NAKAMURA R., 1983. Effects of Ca^{++} , Mg^{++} and Na^{++} on heat aggregation of whey protein concentrates. *Journal of Food Science*. vol. 48, 42 p.

WAGNER K.H., WAGNER-HERING E., 1981. Qualitätsmerkmale des Schmelzkäses – praktische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse. *Milchwissenschaft*, vol. 36, p. 744–747.

WAGNER M.K., 1986. Phosphates as antibotulinal agents in cured meats, a review. *Journal of Food Protein*, vol. 49, p. 482–487.

WALSTRA P. AND JENNESS R., 1984. Dairy Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, New York.

WARBURTON, D.W., PETERKIN, P.I. and WEISS, K.F., 1986. A survey of the microbiological quality of processed cheese products. *Journal of Food Protein*, vol. 49, p. 229–230.

WARNER D.T., 1981. Theoretical studies of water in carbohydrates and proteins. **In: ROCKLAND L.B. and STEWART G. F.** Water activity: Influences on food quality. Ed. Academic Press, Inc., New York, 435 p.

WATTS B.M., YLIMAKI G.L., JEFFERY L.E., ELIAS L.G., 1991. Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ed. Centre de recherches pour le développement international, Amérique, 145 p.

WOODWARD S.A., COTTERILL A.J., 1986. Texture and microstructure of heat-formed egg white gels. *J. Food Sei.*, vol. 51, 333 p.

WÜRZBURG O.B., 1995. Modified Starch in Food Polysaccharides and its Application. Ed. Stephan A.M., Dekker, New-York, p. 67-97.

YANG C.S.T., TARANTO M.V., CHERYAN M., 1983. Optimization of textural and morphological properties of a soy-gelatin Mozzarella cheese analogue. *Journal of Food Processus Preservation*, vol. 7, p. 41–64.

YANG C.S.T., TARANTO M.V., 1982. Textural properties of Mozzarella cheese analogs manufactured from soyabeans. *Journal of Food Science*, vol. 47, p. 906–910.

ZEHREN V.L. AND NUSBAUM D.D., 1992. *Process Cheese*. Cheese Reporter Publishing Company, Inc., Madison.

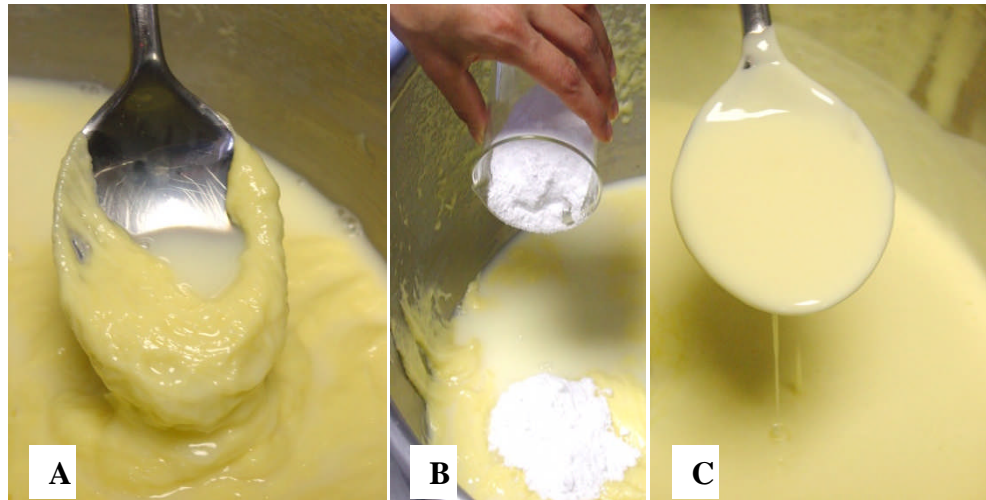
ZHANG D., MAHONEY A.W., 1991. Iron fortification of process Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, vol. 74, p. 353–358.

ZUBER F., MEGARD D. AND CHEFTEL J.C., 1987. Continuous emulsification and gelation of dairy ingredients by HTST extrusion cooking, production of processed cheeses. *Int. J. Food Sci. Technol.* vol. 22, p. 607–626.

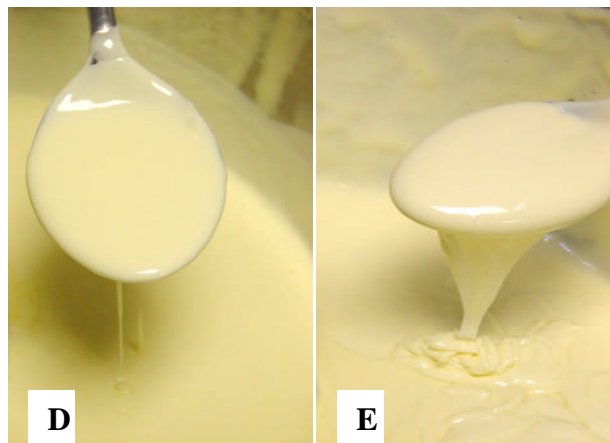
ANNEXES

Annexe 1. Structure de différents phosphates de sodium utilisés dans la fabrication des fromages fondus et des spécialités fromagères

Group		Structure
Monomers, orthophosphates	Phosphoric acid	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{MO}-\text{P}-\text{OM} \\ \\ \text{OM} \end{array}$
	Potassium dihydrogen orthophosphate	
	Dipotassium hydrogen orthophosphate	
	Tripotassium orthophosphate	
Polymers, linearly condensed polyphosphates	Sodium dihydrogen orthophosphate	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{MO}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{OM} \\ \quad \\ \text{OM} \quad \text{OM} \end{array}$
	Disodium diphosphate	
	Trisodium diphosphate	
	Tertrasodium diphosphate	
	Pentapotassium triphosphate	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{MO}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{OM} \\ \quad \quad \\ \text{OM} \quad \text{OM} \quad \text{OM} \end{array}$
	pentasodium triphosphate	
Sodium tetrapolyphosphate	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{MO}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{OM} \\ \quad \quad \quad \\ \text{OM} \quad \text{OM} \quad \text{OM} \quad \text{OM} \end{array}$	
Sodium hexametaphosphate (Graham's salt) Soluble sodium polyphosphate	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{O}-\text{P}-\text{O} \\ \\ \text{OM} \end{array} \right]_m \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{MO}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{OM} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{OM} \quad \quad \quad \text{OM} \quad \quad \quad \text{OM} \end{array}$	
Sodium hexametaphosphate (Graham's salt) Soluble sodium polyphosphate	$M(n+2)P_nO(3n+1)$	
Cyclical polyphosphates	Sodium trimetaphosphate	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{OM} \\ \quad \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{MO}-\text{P} \quad \text{P} \\ \backslash \quad / \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{OM} \end{array}$
	Sodium tetrametaphosphate	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{OM} \\ \quad \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{MO}-\text{P} \quad \text{P} \\ \backslash \quad / \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{OM} \end{array}$



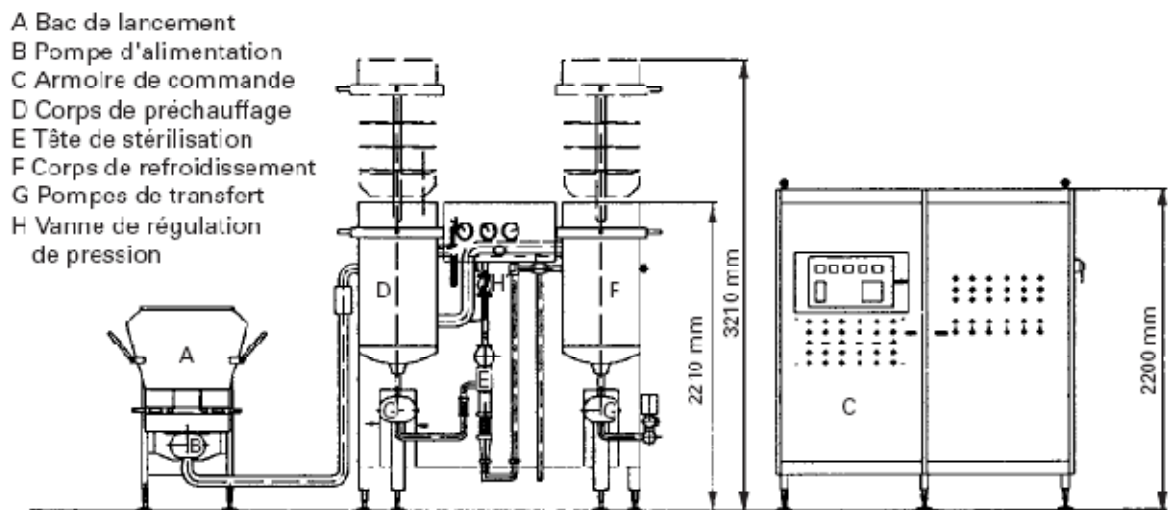
Annexe 2. Fonctionnement des sels de fonte ; (A) avant l'ajout des sels de fonte, (B) l'ajout des sels de fonte, (C) après l'ajout des sels de fonte



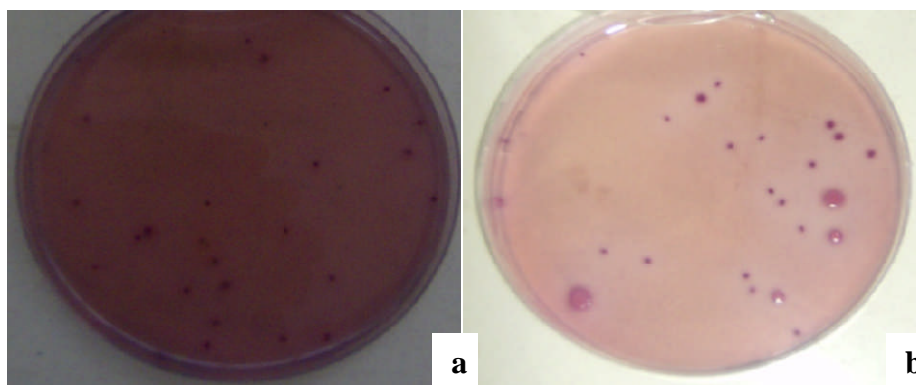
Annexe 3. Effet de l'écémage sur la consistance de la pâte fromagère ; (D) avant écémage, (E) après écémage



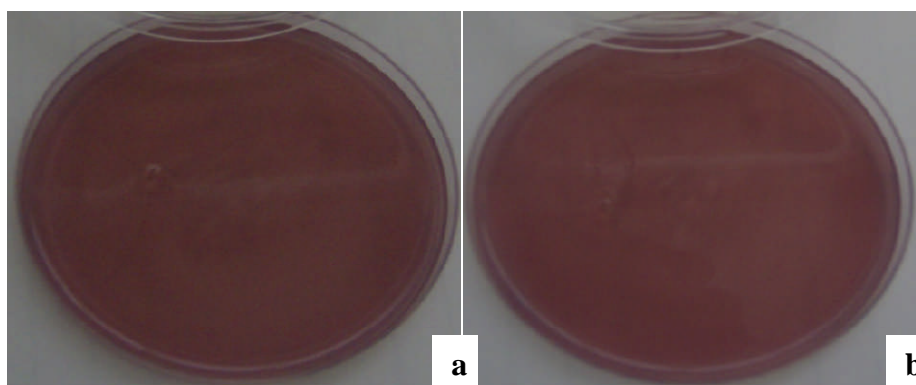
Annexe 4. Poudre de l'amidon réticulé (phosphate de diamidon hydroxypropylé E 1422)



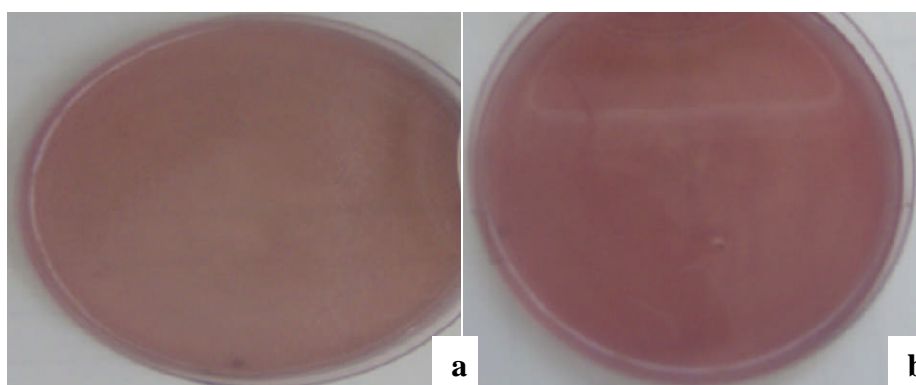
Annexe 5. Installation de fonte de fromage continue UHT STERILCHOC FP 30000



Annexe 6. Dénombrement des coliformes totaux (a) et des coliformes fécaux (b) après la précuisson de *Metidja*



Annexe 7. Dénombrement des coliformes totaux (a) et des coliformes fécaux (b) après le traitement UHT de *Metidja*



Annexe 8. Dénombrement des coliformes totaux (a) et des coliformes fécaux (b) après la cuisson de *Ladhidh au camembert*

Annexe 9. Test binomial à une queue

Probabilité de jugements corrects égale ou supérieure à X avec n essai (p=1/3)

n \ X	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
5		868	539	210	045	004																								
6		912	649	320	100	018	001																							
7		941	737	428	173	045	007																							
8		961	805	532	259	088	020	003																						
9		974	857	623	350	145	042	008	001																					
10		983	896	701	441	213	077	020	003																					
11		988	925	766	527	289	122	039	009	001																				
12		992	946	819	607	368	178	066	019	004	001																			
13		995	961	861	678	448	241	104	035	009	002																			
14		997	973	895	739	524	310	149	058	017	004	001																		
15		998	981	921	791	596	382	203	088	031	008	002																		
16		998	986	941	834	661	453	263	126	050	016	004	001																	
17		999	990	956	870	719	522	326	172	075	027	008	002																	
18		999	993	967	898	769	588	391	223	108	043	014	004	001																
19			995	976	921	812	648	457	279	146	065	024	007	002																
20			997	982	940	848	703	521	339	191	092	038	013	004	001															
21			998	987	954	879	751	581	399	240	125	056	021	007	002															
22			998	991	965	904	794	638	460	293	153	079	033	012	003	001														
23			999	992	974	924	821	690	519	349	206	107	048	019	026	022														
24			999	995	980	941	862	737	576	406	254	140	068	028	010	003	001													
25			999	996	985	954	888	778	630	462	304	178	092	042	016	006	002													
26				997	989	964	910	815	679	518	357	220	121	058	025	009	003	001												
27				998	992	972	928	847	725	572	411	266	154	079	036	014	005	002												
28				999	994	979	943	874	765	623	464	314	191	104	050	022	008	002	001											
29				999	996	984	955	897	801	670	517	364	232	133	068	031	013	005	001											
30				999	997	988	965	916	833	714	568	415	276	166	090	043	019	007	002	001										
31					998	991	972	932	861	754	617	466	322	203	115	059	027	011	004	001										
32					998	993	978	946	885	789	652	516	370	243	144	078	038	016	006	002	001									
33					999	995	983	957	905	821	705	565	419	285	177	100	051	023	010	004	001									
34					999	996	987	965	922	849	744	612	468	330	213	126	067	033	014	006	002	001								
35					999	997	990	973	937	873	779	656	516	376	252	155	087	044	020	009	003	001								
36						998	992	978	949	895	810	697	562	422	293	187	109	058	028	012	005	002	001							
37						998	994	963	959	913	838	735	607	469	336	223	135	075	038	018	007	003	001							
38						999	996	987	967	928	853	769	650	515	381	261	164	095	051	025	011	004	002	001						
39						999	997	990	973	941	885	800	689	560	425	301	196	118	066	033	016	007	003	001						
40						999	997	992	979	952	903	829	726	603	470	342	231	144	083	044	021	010	004	001						
41							998	994	983	961	920	854	761	644	515	385	268	173	104	057	029	014	006	002	001					
42							999	995	987	968	913	876	791	683	558	428	307	205	127	073	038	019	008	003	001					
43							999	996	990	974	945	895	820	719	600	471	347	239	153	091	050	025	012	005	002	001				
44							999	997	992	980	955	912	845	753	639	514	389	275	182	111	063	033	016	007	003	001				
45							999	994	984	963	926	867	783	677	566	430	313	213	135	079	043	022	010	004	002	001				
46								998	995	987	970	938	887	811	713	596	472	352	246	161	098	055	029	014	006	003	001			
47								999	996	990	976	949	904	836	745	635	514	392	282	189	119	070	038	019	009	004	002	001		
48								999	997	992	980	958	919	859	776	672	554	433	318	220	142	086	048	025	012	006	002	001		
49								999	998	994	984	965	932	879	803	706	590	473	356	253	158	106	061	033	017	008	003	001		
50								999	998	995	987	972	943	896	829	739	631	513	395	287	196	126	076	042	022	011	005	002	001	

NOTE : Il faut rajouter devant chaque chiffre «0»,.

Annexe 10. Différences des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de «tous les traitements» à un seuil de signification de 1 %

Dégustateurs	Nombre d'échantillons									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	6	8	11	13	15	18	20	23	25	28
4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	33
5	8	11	14	17	21	24	27	30	34	37
6	9	12	15	19	23	26	30	34	37	42
7	10	13	17	20	24	28	32	36	40	44
8	10	14	18	22	26	30	34	39	43	47
9	10	15	19	23	27	32	36	41	46	50
10	11	15	20	24	29	34	38	43	48	53
11	11	16	21	26	30	35	40	45	51	56
12	12	17	22	27	32	37	42	48	53	58
13	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61
14	13	18	24	29	34	40	46	52	57	63
15	13	19	24	30	36	42	47	53	59	66
16	14	19	25	31	37	42	49	55	61	67
17	14	20	26	32	38	44	50	56	63	69
18	15	20	26	32	39	45	51	58	65	71
19	15	21	27	33	40	46	53	60	66	73
20	15	21	28	34	41	47	54	61	68	75
21	16	22	28	35	42	49	56	63	70	77
22	16	22	29	36	43	50	57	64	71	79
23	16	23	30	37	44	51	58	65	73	80
24	17	23	30	37	45	52	59	67	74	82
25	17	24	31	38	46	53	61	68	76	84
26	17	24	32	39	46	54	62	70	77	85
27	18	25	32	40	47	55	63	71	79	87
28	18	25	33	40	48	56	64	72	80	89
29	18	26	33	41	49	57	65	73	82	90
30	19	26	34	42	50	58	66	75	83	92
31	19	27	34	42	51	59	67	76	85	93
32	19	27	35	43	51	60	68	77	86	95
33	20	27	36	44	52	61	70	78	87	96
34	20	28	36	44	53	62	71	79	89	98
35	20	28	37	45	54	63	72	81	90	99
36	20	29	37	46	55	63	73	82	91	100
37	21	29	38	46	55	64	74	83	92	102
38	21	29	38	47	56	65	75	84	94	103
39	21	30	39	48	57	66	76	85	95	105
40	21	30	39	48	57	67	76	86	96	106
41	22	31	40	49	58	68	77	87	97	107
42	22	31	40	49	59	69	78	88	98	109
43	22	31	41	50	60	69	79	89	99	110
44	22	32	41	51	60	70	80	90	101	111
45	23	32	41	51	61	71	81	91	102	112
46	23	32	42	52	62	72	82	92	103	114
47	23	33	42	52	62	72	83	93	104	115
48	23	33	43	53	63	73	84	94	105	116
49	24	33	43	53	64	74	85	95	106	117
50	24	34	44	54	64	75	85	96	107	118
55	25	35	46	56	67	78	90	101	112	124
60	26	37	48	59	70	82	94	105	117	130
65	27	38	50	61	73	85	97	110	122	135
70	28	40	52	64	76	88	101	114	127	140
75	29	41	53	66	79	91	105	118	131	145
80	30	42	55	68	81	94	108	122	136	150
85	31	44	57	70	84	97	111	125	140	154
90	32	45	58	72	86	100	114	129	144	159
95	33	46	60	74	88	103	118	133	148	163
100	34	47	61	76	91	105	121	136	151	167

Annexe 11. Résultats de l'ANOVA pour les analyses physicochimiques avec un seuil de signification de 5 %

	Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
pH	Modèle	5	0,050	0,010	13,716	0,003
	Erreur	6	0,004	0,001		
	Total corrigé	11	0,055			
Extrait sec	Modèle	5	25,980	5,196	34,372	0,000
	Erreur	6	0,907	0,151		
	Total corrigé	11	26,887			
Taux d'H	Modèle	5	25,980	5,196	34,372	0,000
	Erreur	6	0,907	0,151		
	Total corrigé	11	26,887			
Matière grasse	Modèle	5	50,000	10,000	8,571	0,061
	Erreur	6	7,000	1,167		
	Total corrigé	11	57,000			
MG/ES	Modèle	5	0,011	0,002	2,928	0,112
	Erreur	6	0,004	0,001		
	Total corrigé	11	0,015			

Annexe 12. Valeurs moyennes des notes d'appréciation hédonique pour les cinq spécialités fromagères

	A	B	C	D	E
Texture tranchable	7,2	3,3	6,2	6,7	6,8
Texture liquide	3,7	7	4,6	3,8	4,5
Texture tartinable	5,4	8	6,2	6	6
Texture cassante	6,7	3,1	5,3	6	4,5
Goût amer	1,4	1,4	2,4	1,8	2,5
Goût piquant	1	3,2	1,2	1,4	2,2
Goût sucré	3,8	5,8	4,3	4	4,1
Goût salé	4,3	4,1	4,1	4,2	4,6
Goût acide	1,6	1,7	1,4	1,3	2,1
Couleur	7,2	3,9	4,9	6	7
Odeur	5,4	3,8	4,8	5,2	5,9

Annexe 13. Résultats de l'ANOVA intergroupes pour le test hédonique avec un seuil de signification de 5 %

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	14,750	4,917	1,202	0,325
Erreur	32	130,889	4,090		
Total corrigé	35	145,639			

Annexe 14. Résultats de l'ANOVA intragroupes pour le test hédonique avec un seuil de signification de 5 %

Attribut	Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Texture tranchable	Modèle	4	81,194	27,065	6,708	0,001
	Erreur	32	129,111	4,035		
	Total corrigé	35	210,306			
Texture liquide	Modèle	4	64,972	21,657	5,986	0,002
	Erreur	32	115,778	3,618		
	Total corrigé	35	180,750			
Texture tartinable	Modèle	4	32,972	10,991	3,091	0,041
	Erreur	32	113,778	3,556		
	Total corrigé	35	146,750			
Texture cassante	Modèle	4	64,333	21,444	4,609	0,009
	Erreur	32	148,889	4,653		
	Total corrigé	35	213,222			
Goût amer	Modèle	4	6,000	2,000	0,302	0,824
	Erreur	32	212,222	6,632		
	Total corrigé	35	218,222			
Goût piquant	Modèle	4	27,889	9,296	2,019	0,131
	Erreur	32	147,333	4,604		
	Total corrigé	35	175,222			
Goût salé	Modèle	4	0,306	0,102	0,019	0,996
	Erreur	32	169,333	5,292		
	Total corrigé	35	169,639			
Goût acide	Modèle	4	0,556	0,185	0,036	0,991
	Erreur	32	164,444	5,139		
	Total corrigé	35	165,000			
Goût sucré	Modèle	4	21,861	7,287	1,629	0,202
	Erreur	32	143,111	4,472		
	Total corrigé	35	164,972			
Couleur	Modèle	4	55,667	18,556	6,647	0,001
	Erreur	32	89,333	2,792		
	Total corrigé	35	145,000			
Odeur	Modèle	4	14,750	4,917	1,202	0,325
	Erreur	32	130,889	4,090		
	Total corrigé	35	145,639			

Résumé

Cette étude a été conduite dans le but de comprendre l'évolution des paramètres et des phénomènes physicochimiques qui interviennent pendant le procédé de fabrication de la spécialité fromagère. Mais au préalable, une substitution partielle de la matière protéique laitière par l'amidon réticulé (E 1422) a été réalisée et l'impact de cette substitution sur le comportement rhéologique et sur la texture du produit fini a été étudié. Ce travail met aussi l'accent sur la détermination des corrélations possibles entre les paramètres physicochimiques et les caractéristiques sensorielles.

Les résultats obtenus ont montré que pendant les étapes de fabrication de la spécialité fromagère, l'amidon contenu dans la formule subissait l'effet des traitements hydrothermiques et les forces de cisaillement mécaniques, ce qui se traduit par des modifications morphologiques et texturales des grains d'amidon après le gonflement. L'étude rhéologique a permis de montrer l'évolution de la viscosité apparente pendant le processus de la fonte. Nous avons pu remarquer une augmentation graduelle de la viscosité grâce au gonflement des grains d'amidon réticulé contenus dans la formule contrairement à la spécialité fromagère sans amidon réticulé dont la viscosité a marqué une baisse notable. Par ailleurs, les résultats obtenus révèlent que la présence de cet amidon modifié diminue l'aptitude à la refonte des spécialités fromagères. Le produit obtenu est caractérisé par une texture tranchable et cassante mais avec une faible tartinabilité et une texture moins liquide sans qu'il ait des modifications sur le plan gustative et sur l'odeur.

Mots-clé : Spécialité fromagère ; Amidon réticulé ; caséine ; Viscosité ; Ecoulement ; Texture.

Abstract

This study was conducted with the aim of understanding the evolution of physicochemical parameters and phenomena that occur during the manufacturing process of imitation cheese. A partial replacement of milk protein by the modified starch (E 1422) was performed and the impact of this substitution on the rheological behavior and texture of the imitation cheese was studied. This work also focuses on identifying possible correlations between physicochemical parameters and sensory characteristics.

The results showed that during the manufacturing of imitation cheese, modified starch undergoes the effect of hydrothermal treatments and mechanical shear forces, which results in morphological and textural changes of starch after swelling. The Rheological study showed changes in apparent viscosity during the melting process. We have noticed an increase in viscosity due to the swelling of modified starch contained in the formula as opposed to the imitation cheese without modified starch having a viscosity marked a significant decrease. In addition, the results obtained showed that the presence of the modified starch decreases the meltability of imitation cheese. The obtained product is characterized by a brittle and sliceable texture but with a weak spreadability and a less liquid texture without having changes in taste and smell.

Keywords : Imitation cheese ; Modified starch ; Casein ; Viscosity ; Meltability ; Texture.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى فهم كيفية تطور العوامل و الظواهر الفيزيوكيميائية التي تتدخل خلال مختلف مراحل إنتاج التحضير الجبني. حيث تم استبدال جزئي للمادة البروتينية الموجودة في الحليب بالنشاء المغير (E 1422) و دراسة مدى تأثيره على الخصائص الريولوجية و البنيوية للمنتوج قيد الدراسة. هذا العمل سمح أيضا بتسليط الضوء على إمكانية وجود توافقات بين العوامل الفيزيوكيميائية و الخصائص الحسية للمنتوج.

النتائج المتحصل عليها أثبتت انه خلال مراحل إنتاج الجبن، النشاء المحتوى في التركيبة خضع لتأثير العلاجات المائية-الحرارية و قوى القطع الميكانيكية، وهذا ما نتج عنه تغيرات مورفولوجية و بنيوية لحبيبات النشاء بعد الانتفاخ. الدراسة الريولوجية سمحت بتبيان ظاهرة اللزوجة خلال عملية الذوبان. تمكنا أيضا من ملاحظة زيادة تدريجية في اللزوجة و هذا بسبب انتفاخ حبيبات النشاء الشبكي الموجودة في التركيبة، على عكس الجبن المحضر بدون النشاء الشبكي الذي اظهر انخفاض ملحوظ في اللزوجة. ومن جهة أخرى كشفت النتائج أن وجود النشاء المغير ينقص من قابلية الجبن لإعادة الذوبان. المنتوج المتحصل عليه يتميز ببنية قابلة للتقطيع والانكسار بالإضافة إلى قابلية طلي ضعيفة مع ميوهة ضئيلة دون تغير في الذوق والرائحة.

الكلمات الدالة : التحضير الجبني، النشاء المغير، كزيين، لزوجة، انسكاب، البنية.
