

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Blida 1

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

Département d'Agronomie

Mémoire  
Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de master académique

Option : nutrition et contrôle des aliments

Thème :

*Comparaison entre la qualité physico-chimique, microbiologique et  
rhéologique de deux spécialités fromagères*

Présenté par :

Mlle MERAHBA FaizaFerial

Devant le jury :

Président :Mr RAMDANE.S.A

MAAUniversité Blida 1

Promotrice :Mme BOUTEKRABT BENHADJAL.L MCA

Université Blida 1

Examinatrice :Mme DOUMANDJLA MCA

Université Blida 1

Année universitaire : 2012 - 2013

## **Remerciement**

*Tout d'abord, louange à << Allah >> qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.*

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma reconnaissance et mes vifs remerciements à Mme BOUTEKRABT. Maître de conférence à l'université de BLIDA 1, qui a fait preuve d'une grande patience et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'a permis de mener à terme ce projet. Qu'elle trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude.*

*Mes remerciements les plus profondes s'adressent également aux membres du jury :  
Mr RAMDANE.S et Mme DOUMANDJI.A.*

*Ma gratitude va aussi à Mr DjazouliZ .qui a beaucoup œuvré pour la mise en valeur de ce travail.*

*Un très grand merci, à l'ensemble du personnel du laboratoire et tous les employeurs de la laiterie de Beni Tamou, en particulier Mr DRIDJ Hichem mon co-promoteur, Mr AICHAOUI Noureddine et le superviseur qualité Bersali Ikram pour leurs aides, leurs conseils et pour leurs complicités.*

*Dans mes remerciements, je ne saurais oublier mes amis : Sarah, Lyna, Ikram, Madina, Amel, Asma, Hicham et Fouad pour les bons moments qu'on a passé ensemble, pour leur soutien et leur serviabilité tout au long de mon cursus universitaire.*

*Enfin, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de mon projet que je ne pourrai remercier nommément, ceux que mon mémoire a pu ingratement oublier, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents Djamel et Hadjirapour m' avoir encouragée et soutenue tout au long de mes études.*

*Mon frère Nassim à qui je souhaite la réussite.*

*Ma très chère grand-mère pour son soutien moral et ces prières interminables.*

*Mon oncle Youcef et sa femme pour leur patience et leur présence.*

*Mes tantes Faiza et Fatma Zohra.*

*Mes oncles Mohamed et Ahmed.*

*Mes cousins et cousines, et toute ma famille proche.*

*Mes copines Sarah, Ikram, Lyna, Madinapour leur présence et leurs conseils.*

FERIEL



## **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 d'une spécialité fromagère. Mais au préalable, une substitution partielle de la matière protéique laitière par l'amidon a été réalisée et l'impact de cette substitution sur les paramètres physicochimiques, le comportement rhéologique et sur la texture du produit fini a été étudié.

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 de la spécialité fromagère à la fin du procédé. 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 l'amidon contenu dans la formule contrairement à la spécialité fromagère sans amidon dont la viscosité a marqué une baisse notable. Par ailleurs, les résultats obtenus révèlent que la présence de cet amidon 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 : Comparison between physic-chemical, microbiological and rheological quality of two cheese specialties**

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 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 ; Starch ; Casein ; Viscosity ; Meltability ; Texture.

## ملخص : مقارنة بين النوعية الفيزيوكيميائية, الميكروبيولوجية و الريولوجية لتحضيرين جبنيين

تهدف هذه الدراسة لفهم كيفية تطور العوامل وظواهر الفيزيوكيميائية التي تدخل خلال مختلف مراحل إنتاج ودراسة مدي التحضير الجبني. حيثما استبد الجزئي للمادة البروتينية الموجودة في الحليب بالنشاء تأثير هلع 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 المتحصلة عليها أثبتت انه خلال مراحل إنتاج الجبن، النشاء المحتوي بفعالتر كية خضعت لتأثير العلاجات المائية الحرارية و قوبالقطع الميكانيكية، و هذا ما نتج عنها تغيرات مورفولوجية و بنيوية للتحضير الجبني. الدراسة الريولوجية سمحت بتبيان ظاهرة اللزوجة خلال عملية الذوبان. تمكنا أيضا من ملاحظة زيادة تدريجية في اللزوجة و هذا بسبب حبيبات النشاء الموجودة في التركيبة، على عكس الجبن المحضر بدون النشاء الشبكي الذي يظهر انخفاض ملحوظ في اللزوجة. و من جهة أخرى كشفت النتائج أن وجود النشاء ينقص من قابلية الجبن لإعادة الذوبان. المنتج المتحصلة عليه يتميز ببنية قابلة للتقطيع و الانكسار بالإضافة إلى قابلية طليضة ضعيفة معميوهة ضئيلة دون تغيير في الذوق و الرائحة

**الكلمات الدالة :** التحضير الجبني، النشاء، كزيين، لزوجة، انسكاب، البنية

# **SOMMAIRE**

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

<b>I.1. spécialité fromagère</b> .....	<b>3</b>
I.1.1. Définition.....	3
I.1.2. Aperçu historique et économique.....	3
I.1.3. Classification.....	4
I.1.4. Valeur nutritionnelle.....	5
<b>I.2. matières premières de la technologie de la spécialité fromagère</b> .....	<b>6</b>
I.2.1. Matières premières laitières.....	6
I.2.1.1. Fromages naturels.....	6
I.2.1.2. Autres matières premières laitières.....	6
I.2.1.3. Préfonte.....	6
I.2.2. Matières premières non laitières.....	7
I.2.2.1. Eau.....	7
I.2.2.2. Matières premières végétales.....	7
I.2.2.2.1. Graisses végétales.....	7
I.2.2.2.2. Protéines végétales.....	7
I.2.2.2.3. Amidon.....	7
I.2.2.4. Sels de fonte.....	8
<b>3. Technologie de la fonte</b> .....	<b>9</b>
I.3.1. Sélection des matières premières et contrôle de qualité.....	9
I.3.2. Ecroûtage, découpage et broyage des fromages.....	9
I.3.3. Préparation de la formule et procédé technologique.....	9
I.3.3.1. Fonte proprement dite.....	9
I.3.3.2. Homogénéisation.....	10
I.3.3.3. Conditionnement.....	10
I.3.3.4. Refroidissement.....	10
I.3.3.5. Stockage du produit fini.....	10
I.3.4. Facteurs favorisant la fonte.....	10
I.3.4.1. Effet de l'affinage du fromage.....	10
I.3.4.2. Effet du pH.....	11
I.3.4.3. Effet des sels de fonte.....	11
I.3.4.4. Effet de la préfonte.....	11
I.3.5. Phénomènes biochimiques de la fonte.....	11
I.3.5.1. Peptisation.....	11
I.3.5.2. Crémage –phase de restructuration.....	11
I.3.5.3. Refroidissement.....	12
I.4. Contrôle de la qualité.....	12
I.4.1. Qualité de la matière première.....	12
I.4.2. Qualité au cours de fabrication.....	12
I.4.3. Qualité du produit fini.....	13

## ***Chapitre II : Matériel et méthodes***

II.1. Objectif du travail.....	14
II.2. Lieu du travail et types de fromages étudiés.....	14
II.3. Fabrication des spécialités fromagères.....	14
II.3.1. Metidja.....	14
II.3.2. Ladhidh au camembert.....	16
II.4. Prélèvement et échantillonnage.....	17
II.4.1. Metidja.....	17
II.4.2. Ladhidh au camembert.....	17
II.5. Analyses physicochimiques.....	17
II.5.1. Mesure du pH.....	17
II.5.2. Mesure de la teneur en matière grasse.....	17
II.5.3. Détermination de l'extrait sec.....	18
II.5.4. Détermination du taux de cendres.....	19
II.5.5. Dosage du taux de protéines.....	20
II.5.6 Détermination du taux de sel .....	21
II.5.7. Mesure de la viscosité.....	21
II.5.8. Mesure de l'écoulement.....	21
II.6. Analyse microbiologiques.....	22
II.6.1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	22
II.6.2. Dénombrement des staphylocoques.....	22
II.6.3. Dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG) : Technique du nombre le plus probable NPP.....	23

## ***Chapitre III : Résultats et discussions***

III.1. Evolution des paramètres physicochimiques au cours de la fabrication.....	25
III.1.1. pH.....	25
III.1.2. Extrait sec.....	26
III.1.3. Matière grasse.....	27
III.1.4. Matière grasse / extrait sec.....	28
III.1.5. Taux de protéines.....	29
III.1.6. Taux de NaCl.....	30
III.1.7. Taux de cendres.....	30
III.1.8. Variation de la viscosité de la pâte fromagère au cours du crémage.....	31
III.1.9. Propriétés d'écoulement.....	32
III.2. Analyses microbiologiques.....	33
III.2.1. Analyses microbiologiques pendant le procédé de fabrication de Metidja.....	33
III.2.2. Analyses microbiologiques pendant le procédé de fabrication de Ladhidh au camembert.....	34

## ***Conclusion*** ..... 35

Références bibliographiques

Annexes



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure II.1.</b> Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère <i>Metidja</i> .....	15
<b>Figure II.2.</b> Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère <i>Ladhidh au camembert</i> .....	16
<b>Figure III.1.</b> Evolution du pH au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i> .....	25
<b>Figure III.2.</b> Evolution du pH au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i> .....	26
<b>Figure III.3.</b> Evolution de l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i> .....	26
<b>Figure III.4.</b> Evolution de l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i> .....	27
<b>Figure III.5.</b> Evolution de matière grasse au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i> ..	27
<b>Figure III.6.</b> Evolution de la matière grasse au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i> .....	28
<b>Figure III.7.</b> Evolution de la matière grasse sur l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de <i>Metidja</i> .....	28
<b>Figure III.8.</b> Evolution de matière grasse sur l'extrait sec au cours du procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i> .....	29
<b>Figure III.9.</b> Taux de protéines des deux spécialités fromagères.....	29
<b>Figure III.10.</b> Evolution de la viscosité apparente pendant le crémage de la spécialité fromagère <i>Metidja</i> .....	32
<b>Figure III.11.</b> Variation de la viscosité apparente de la spécialité fromagère <i>Ladhidh au camembert</i> pendant le crémage.....	32

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I-1.</b> Production mondiale de la spécialité fromagère entre 1995 et 2000 (en milliers de tonnes).....	4
<b>Tableau I-2.</b> Classification des fromages fondus .....	4
<b>Tableau I-3.</b> Composition du fromage fondu .....	5
<b>Tableau I-4.</b> Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte .....	8
<b>Tableau III-1.</b> Résultats des analyses microbiologies durant le procédé de fabrication de <i>Metidja</i> .....	33
<b>Tableau III-2.</b> Résultats des analyses microbiologies durant le procédé de fabrication de <i>Ladhidh au camembert</i> .....	34

## **LISTE DES ANNEXES**

### **ANNEXE I**

**Tableau A.** Composition de la gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL)

**Tableau B.** Composition du bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB)

**Tableau C.** Composition du milieu Baird Parker précoulée

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

**Tableau E.** Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM de Hirsch et Grinsted

**Tableau F.** Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM de Hirsch et Grinsted

**Tableau G.** Composition en grammes pour 1 litre de gélose RCM semi-solide

### **ANNEXE II**

**Figure A.** Fonctionnement des sels de fonte : avant et après l'ajout des sels de fonte.

**Figure B.** Effet de l'écémage sur la consistance de la pâte fromagère : avant  
Et après écémage.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**A<sub>w</sub>** 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

**RCM** Reinforced clostridial medium

**SAG** Spores anaérobiesgazogènes

**trs** Tours

**UHT** Ultra high temperature

**USDA** United states department of agriculture

**VRBL** Violet red bile agar with lactose

## ***Introduction***

Selon BEGUERIA C., 1999, Le fromage fondu est issu de la seconde transformation du lait. Sa fabrication implique le mélange, le chauffage et la texturation de produits laitiers (fromage, beurre et poudre de lait) et non laitiers (agents émulsifiants et sel). Le produit obtenu, généralement tartinable, possède une durée de conservation longue, souvent supérieure à 6 mois.

La réglementation relative à la protection des dénominations laitières prévoit qu'en cas d'utilisation d'ingrédients autres que laitiers, considérés comme produits de substitution de la matière première laitière, la dénomination du produit ne doit pas faire référence à une dénomination laitière (mais devenir une dénomination du type « spécialité alimentaire à base de ... »)

Aujourd'hui, l'industrie agro-alimentaire occupe une place importante mondialement. Le consommateur recherche des aliments sains, authentiques, de qualité constante et à un prix raisonnable.

La hausse des prix des fromages fondus est le résultat du coût élevé des matières premières d'origine laitière telles que les fromages, les caséines et les caséinates, le lactosérum et le beurre. Dans la littérature, des travaux de recherche comme ceux de KIZILOZ *et al.* (2009) ont fait l'objet de la substitution partielle ou intégrale de la matière grasse d'origine laitière par des matières grasses d'origine végétale, dont le but est de réduire les coûts de production.

Des performances économiques avec des formulations compétitives en terme ingrédients sont ajoutés au fromage (lait en poudre, caséines, matières grasses végétales, hydrocolloïdes) (BOUTONNIER, 2002).

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire vise une meilleure connaissance des phénomènes physicochimiques, microbiologiques et rhéologiques 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 sur la viscosité et les propriétés d'écoulement ainsi que sur la texture du produit fini.

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 mises en œuvre dans le cadre du travail expérimental. Les techniques de caractérisation des propriétés physicochimiques, microbiologiques et rhéologiques sont détaillées. Une petite brève de cette partie a été consacrée pour les analyses bactériologiques et les protocoles expérimentaux sont précisés.

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. En deuxième étape les résultats obtenus des analyses microbiologiques.

## I.1. Spécialité fromagère

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.

### I.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**).

### I.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 enrichis 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	131	+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		
Japan	97		

### I.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-2.** 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.



### I.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-3.** Composition du fromage fondu (MEYER, 1973)

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

## **I.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... (**HUANG *et al.*, 2010**).

### **I.2.1. Matières premières laitières**

#### **I.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 en se basant sur le type, la saveur, la maturité, la consistance, la texture et l'acidité (**CHAMBRE et DAURELLES, 1997**).

#### **I.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**).

#### **I.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).

## **I.2.2. Matières premières non laitières**

### **I.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).

### **I.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). 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).

#### **I.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 %) (ORTEGA-FLEITAS *et al.*, 2001).

#### **I.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).

#### I.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-4.** 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 E 331	Acide citrique Citrates de sodium	Quantité suffisante (1)
E 338	Acide orthophosphorique	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total
E 339	Orthophosphates de sodium	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total
E 340	Orthophosphates de potassium	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total
E 341	Orthophosphates de calcium	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total
E 450	Diphosphates de sodium, potassium et calcium	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total
E 451	Triphosphates de sodium et potassium	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total
E 452	Polyphosphates de sodium, potassium et calcium	20 mg.kg <sup>-1</sup> au total

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 (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 (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* (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<sup>2+</sup>. 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).

### **I.3. TECHNOLOGIE DE LA FONTE**

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

#### **I.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).

#### **I.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.

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.

#### **I.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, 2004).

L'ordre d'addition des matières premières dépend du matériel à disposition, le type de cuiseur et la durée de cuisson. Selon McSWEENEY, (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.

##### **I.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. Le temps et la température de fonte varient entre 70°C 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 (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 mn à 121°C), puis refroidi et maintenu à une température comprise entre 70°C et 95°C durant 4 à 15 minutes (BEGUERIA, 1999).

### **I.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).

### **I.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 thermo-scellable. Le fromage fondu peut être aussi emballé en tube, en boîte de conserve, ou dans des boyaux en plastique (NORONHA *et al.*, 2008b).

### **I.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).

### **I.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 (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 (ECKNER *et al.*, 1994).

## **I.3.4. Facteurs favorisant la fonte**

### **I.3.4.1. 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).

#### **I.3.4.2. 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).

#### **I.3.4.3. 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).

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. 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 (ENNIS *et al.*, 1999).

#### **I.3.4.4. 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).

#### **I.3.5. Phénomènes biochimiques de la fonte**

Les phénomènes biochimiques de la fonte peuvent être résumés en trois phases principales :

##### **I.3.5.1. 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.

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).

##### **I.3.5.2. Crémage –phase de restructuration**

Selon ÉTIENNE (1992), l'étape de crémage correspond à un épaississement du produit quia 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).

### I.3.5.3. 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 (HENNELLY *et al.*, 2005).

### I.3.5.4. 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. 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 (ECKNER *et al.*, 1994).

## I.4. CONTROLE DE LA QUALITE

### I.4.1. Qualité de la matière première

Ces contrôles doivent être réalisés dès l'arrivée des matières premières sur le lieu defabrication (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.

### I.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, pliages et étanchéité des soudures pour les emballages souples, suivi des masses, de l'étiquetage et du banderolage.
- **Refroidissement** : temps et température.



#### I.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.

### II.1. Objectif du travail

Le travail a pour objectif d'évaluer une meilleure connaissance des phénomènes physicochimiques, microbiologiques et rhéologiques, et ainsi la détermination de l'impact de la substitution partielle des protéines laitières sur les produits finis.

### II.2. Lieu du travail et types de fromages étudiés

Les travaux ont été effectués dans l'atelier du fromage fondu et au laboratoire de physicochimie et de microbiologie de la laiterie de Beni Tamou de Blida.

L'étude a été portée sur deux types de fromage en portions ; portions triangulaires dites « *Metidja* », et portions rectangulaires dites « *Ladhidh au camembert* ».

### II.3. Fabrication des spécialités fromagères

#### II.3.1. Metidja

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

##### • Poudre

- Amidon ;
- 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.

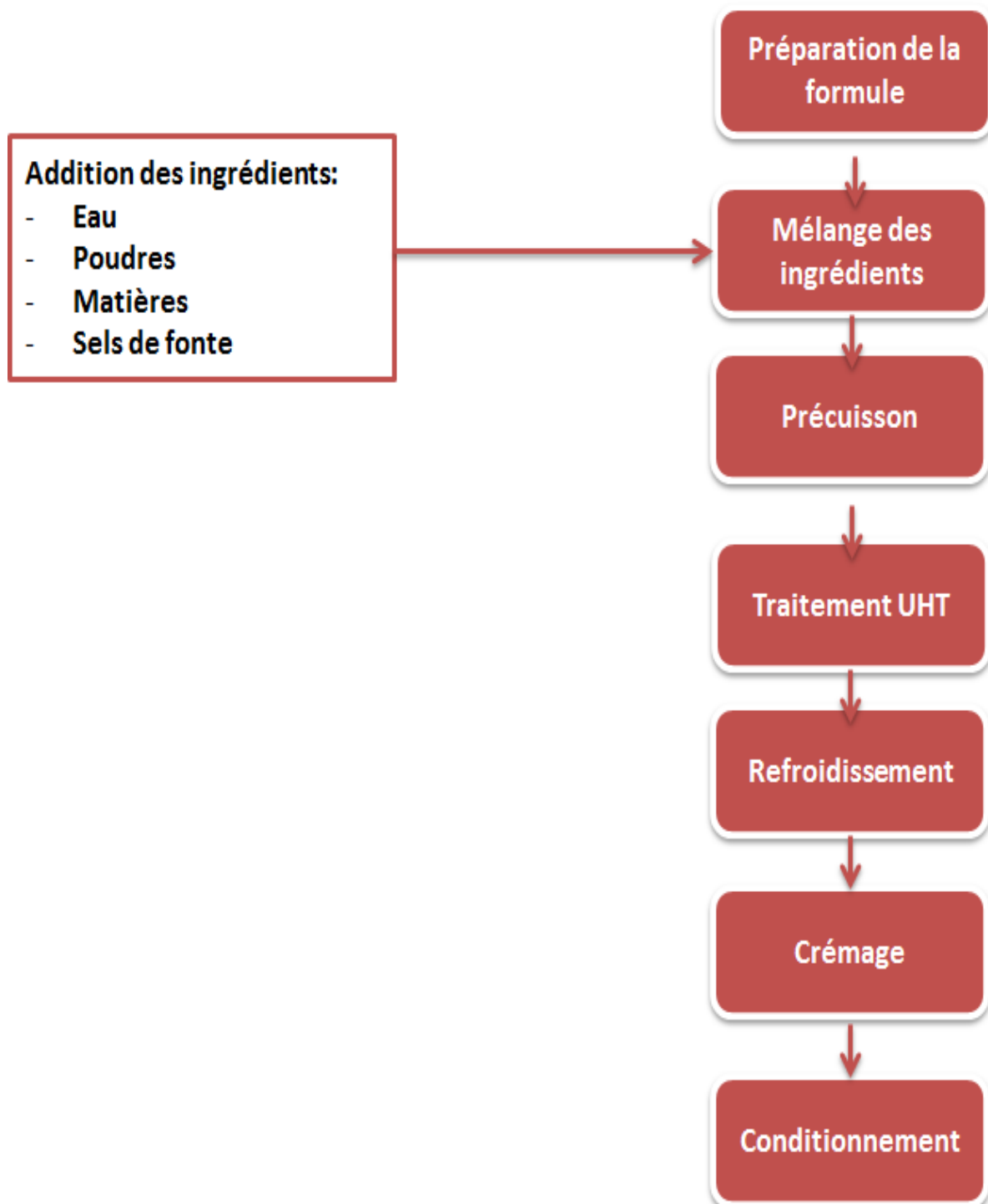
##### • Matières

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.



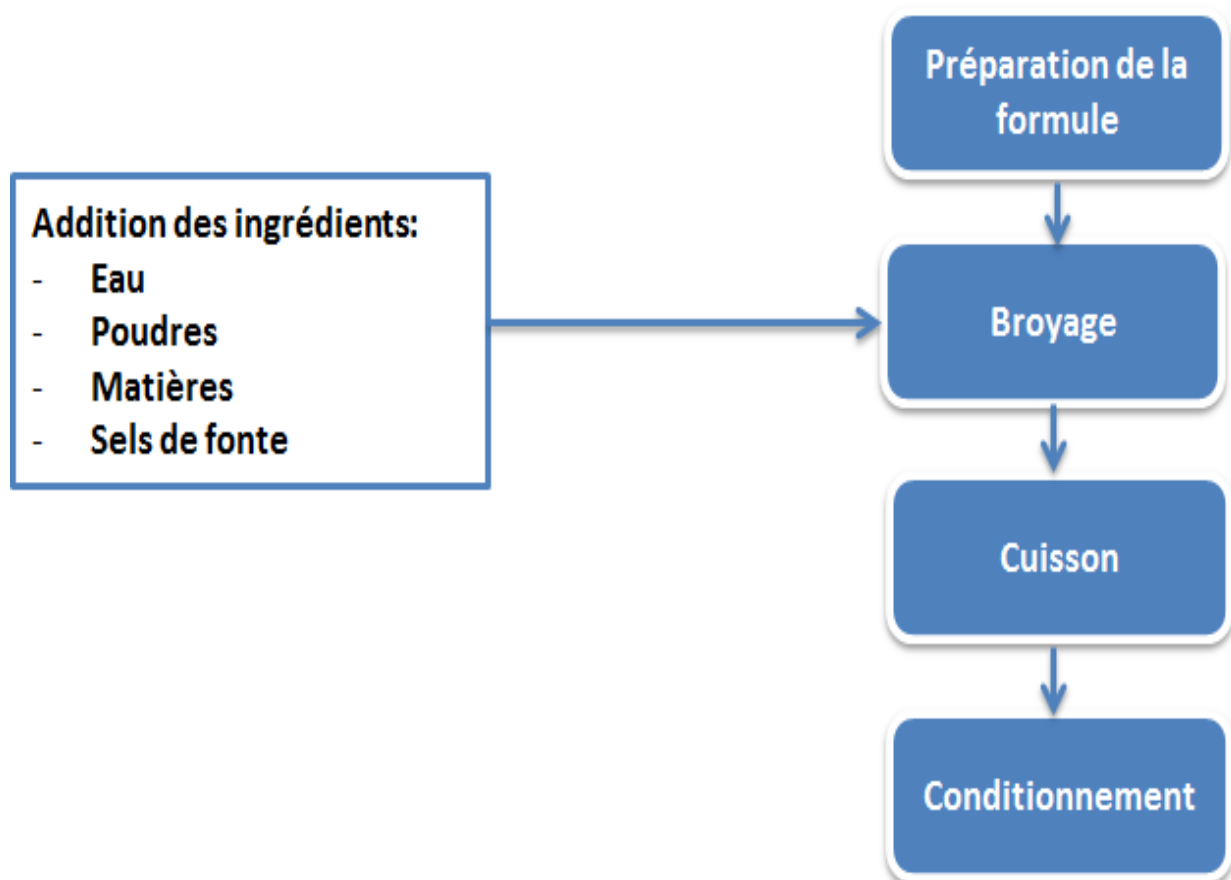
**Figure II-1.** Principales étapes de fabrication de la spécialité fromagère *Metidja*. (Laiterie Beni Tamou)

### II.3.2. Ladhidh au camembert

Pour *Ladhidh au camembert*, après préparation de la formule de la même manière que pour *Metidja*, mais sans l'amidon, 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*. (Laiterie Beni Tamou)

### II.4. Prélèvement et échantillonnage

#### II.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 et après le conditionnement dans la couleuse.

#### II.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.

### II.5. Analyses physicochimiques

#### II.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.

#### II.5.2. Mesure de la teneur en matière grasse

➤ **Méthode de référence :**

La matière grasse est déterminée par la méthode de Gerber ou méthode acidobutyrométrique 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.

## **Partie pratique Matériel et méthodes**

---

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.

### **II.5.3. Détermination de l'extrait sec**

#### **➤ Méthode de référence (dessiccation par étuvage)**

Le taux d'humidité est déterminé selon la méthode normalisée (ISO 5534, 2004)

#### **Appareillage :**

- Étuve multicellulaire à chauffage électrique à une température de 133°C.
- Balance analytique.
- Broyeur.
- Thermomètre.
- Dessiccateur.
- Pince.
- Capsules métalliques.

#### **Mode opératoire :**

- Prendre le nombre nécessaire de capsules et leurs couvercles et faire leur dessiccation à l'étuve (15 min à la température de 130°C).
- Laisser ces capsules refroidir dans un dessiccateur (20 min à peu près).
- Peser la capsule vide posée sur son couvercle (la capsule doit être manipulée avec une pince).
- Peser alors 5 gr de produit broyé l'échantillon à analyser dans des capsules tarées.
- Introduire la capsule placée sur son couvercle dans l'étuve une fois la température de 130°C atteinte pendant 2 heures pour le blé et 1 heure 30 minutes pour la semoule et les pâtes.
- Retirer les capsules de l'étuve lorsque le chauffage est terminé, les couvrir et les laisser refroidir dans le dessiccateur pendant 30 minutes environ.
- Peser le produit séché dans la capsule fermée.

#### **Principe :**

La détermination se fait par séchage du produit à une température comprise entre 130° et 133° C à pression atmosphérique normale, après broyage du produit.

#### **Expression des résultats :**

La détermination de l'humidité doit être faite en double sur le même échantillon.

Le calcul du taux d'humidité se fait d'après la formule suivante :

$$\% \text{ H}_2\text{O} = (P_2 - P_1) / (P_3 - P_1) \times 100$$

P<sub>1</sub> : poids de la capsule vide.

P<sub>2</sub> : poids de la capsule + 5 g de produit.

P<sub>3</sub> : poids de la capsule + le produit séché.

Le résultat est donné comme étant la moyenne arithmétique des valeurs obtenues pour les deux déterminations.

$$\text{EST} = 100\% - \% \text{H}_2\text{O}$$

### ➤ Méthode de routine (FOOD-SCAN)

C'est un appareil qui a la capacité de mesurer directement la composition d'aliment solide (fromage) en éléments majeurs : EST, MG, G/Set Sel.

#### • Mode opératoire

- Remplir complètement une boîte pétri de 90 mm de diamètre avec l'échantillon à analyser à l'aide d'une spatule sans laisser de bulles d'air (environ 90 g de fromage) ;
- L'introduire dans le Food scan et le configurer.

### II.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<sub>f</sub>: masse à vide du creuset plus celle de l'échantillon,

M<sub>0</sub>: masse à vide du creuset.

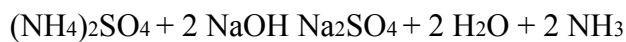
La détermination du taux de cendres est réalisée en triple.

### II.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 ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Une base forte (NaOH) est ajoutée en volume égal au volume d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  introduit.



Au cours de la distillation, l'hydroxyde d'ammonium formé ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 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).

$$\text{NT} = (\text{V}_1 - \text{V}_0) \times 0,14 \times 10 / \text{P}$$

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

Avec  $\text{V}_1$  : volume d'  $\text{H}_2\text{SO}_4$  nécessaire au titrage de l'échantillon en ml ;

$\text{V}_0$  : volume d'  $\text{H}_2\text{SO}_4$  nécessaire au titrage du blanc en ml ;

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

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



### II.5.6 Détermination du taux de sel par le chloruromètre S 100

- **Principe**

Le chloruromètre titre les ions chlorures grâce à un courant établi entre deux électrodes d'argent qui libèrent un taux constant d'ions d'argent, ces ions se combinent aux ions chlorures de la suspension aqueuse à doser et sont alors précipités sous forme de chlorure d'argent AgCl.

L'arrêt du dosage se fait après apparition des ions d'argent libre détectés par l'électrode (DFI 88A : 1988).

- **Mode opératoire**

- Introduire  $10 \pm 0,005$  gde fromage dans un bécher de 250 ml
- Ajouter 80 ml d'eau tiède et agiter jusqu'à dissolution
- Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 100 ml et ajuster au trait
- Prélever 1ml l'échantillon ainsi préparé que l'on versera dans un bécher de 100ml contenant 15 ml de solution pour chloruromètre et 1.5ml de solution de Na Cl.
- Placer le bécher sous le chloruromètre et appuyer sur le bouton T (titration).

- **Expression des résultats**

La valeur du taux de sel est lue sur l'afficheur du chloruromètre, elle est exprimée en g de Na Cl /100g de produit.

### II.5.7. 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 cmet une température de  $73 \pm 1^\circ\text{C}$  pour *Ladhidh au camembert* toutes les 5 minutes (Protocole interne).

### II.5.8. Mesure de l'écoulement

La détermination de l'écoulement est réalisée par la méthode de 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 lesens de la longueur et fermé par des bouchons en caoutchouc aux deux extrémités. Dix-septgrammes 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.

### II.6. Analyse microbiologiques

Au cours de la présente étude, nous nous sommes intéressées à la vérification de la présence de germes qui peuvent être à l'origine de toxi-infection alimentaire en particulier les coliformes fécaux et totaux, les streptocoques et un des germes pathogènes tel que les spores anaérobies gazogènes (SAG).

#### II.6.1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

- **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).

- **Milieus 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 A annexe 1.

- **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 Bannexe 2.

- **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 milieuensemencé ;
- Incuber à  $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ .

- **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.

#### II.6.2. Dénombrement des staphylocoques

- **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 Parkerprécoulée en boîte de Pétri avec chacune des dilutions retenues.

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

- **Milieu de culture**

Le milieu de culture est une gélose Baird Parker précoulée avec un pH de  $7,2 \pm 0,2$  à  $25^{\circ}\text{C}$ , sa composition est donnée dans le tableau C annexe 1.

- **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  $\pm$  2 heures à  $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

- **Dénombrement**

Les boîtes contenant moins de 30 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.

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

- **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.

- **Milieus de culture et réactifs**

- **Bouillon RCM de Hirsch et Grinsted**

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

- **Gélose RCM de Hirsch et Grinsted**

## Partie pratique Matériel et méthodes

---

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

### • 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 Fannexe 1. Pour le milieu semi solide, sa composition est donnée par le tableau Gannexe 1.

- 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.

#### • 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 h  $\pm$  4 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<sup>ère</sup> dilution.

## Conclusion

Cette étude a été conduite dans le but de l'appréciation de la qualité des deux spécialités fromagères et la détermination de l'impact de la substitution partielle des protéines laitières par l'amidon 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, un certain nombre des objectifs fixés au début du travail, a été atteint.

D'une part, on a pu 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.

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.

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 14 %, 0,6 % et 4,4 % pour les protéines, le NaCl et les cendres respectivement. Pour *Ladhidh au camembert*, nous avons consigné des taux de 18 %, 0,75 % et 3,7 % pour les protéines, le NaCl et les cendres respectivement.

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 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 fonte réduite par rapport au deuxième produit qui ne contenait pas d'amidon.

Au cours de ce travail, les approches expérimentales ont touché à différents axes. Nous avons conscience de la modeste part de cette contribution, mais ce 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'observation de l'amidon par microscopie pour une meilleure analyse de sa réticulation, une étude sensorielle est également souhaitable afin de mieux juger le produit ainsi que ses paramètres organoleptiques.

Une étude statistique doit être réalisée pour mieux voir les corrélations existantes entre les différents paramètres physicochimiques ainsi que l'impact de l'amidon sur ces paramètres.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- **AOAC (Association of official analytical chemistry), 1997.** Official Methods of Analysis, 15<sup>th</sup>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 cheeseraw material. Eur. Pat. Appl. FR2 750 015 A1.
- **BEGUERIA C., 1999.** Process for the manufacture of cheese products by processing of a cheeseraw material. Eur. Pat. Appl. FR2 750 015 A1.
- **BERGER W., KLOSTERMEYER H., MERKENICH K., UHLMANN G., 1993.** Processed cheese manufacture. Ladenburg : BK Ladenburg GmbH.
- **BOUTONNIER J.L., 2002.** Fabrication du fromage fondu. Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, F 6 310-1, 14 p.
- **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., 1993.** Processed cheese products. In: **FOX P.F.** Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology, vol. 2, Major Cheese Groups, 2nd, ed., Chapman & Hall, London, p. 467–505.
- **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.
- **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.
- **DFI (Département Fédéral de l'Intérieur), 2009.** Ordonnance sur les denrées alimentaires d'origine animale, 48 p.
- **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.
- **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.
- **ECK A., et GILLIS J C., 1997.** Le fromage : de la science à l'assurance qualité, 3 ed. Paris [France] : Tec & Doc - Lavoisier. 891 p.
- **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.

- **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.
- **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, dulactose et du glycérol. Thèse de doctorat, Université Laval Québec, 138 p.
- **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, dulactose et du glycérol. Thèse de doctorat, Université Laval Québec, 138 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.
- **FOX P.F., MCSWEENEY P.L.H., 1998.** *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Ed. Thomson Science, Germany, 396 p.
- **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., 2009.** Crystallization and polymorphism of triacylglycerols contribute to the rheological properties of processed cheese. *Journal of Agriculture and Food Chemical*, vol. 18, p. 3195–3203.
- **GUINEE P.T., O’KENNEDY T.B., 2009.** The effect of calcium content of Cheddar style cheese on the biochemical and rheological properties of processed cheese. *Dairy Sci. Technol.* vol. 89, p. 317–333.
- **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, 3<sup>rd</sup> ed. Elsevier Applied Science Ltd, London, p. 349-394.
- **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.
- **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.
- **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.
- **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.



- **ISO 3433, 2002.** Fromages -Détermination de la teneur en matière Grasse- Méthode acidobutyrométrique, 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.
- **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.
- **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.
- **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.
- **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.
- **MAFART P., COUVERT O., LEGUERINEL I., 2001.** Sterilized processed cheeses. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 63, p. 51–56.
- **MARCHESSEAU S., GASTALADI E., LAGAUE 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.
- **MARCHESSEAU S., GASTALADI E., LAGAUE 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.
- **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.
- **McSWEENEY P., 2004.** Biochemistry of cheese ripening Vol 57, No 2/3 *International Journal of Dairy Technology*. 127-140.
- **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.
- **NF ISO 4832 : 2006.** Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes – Méthode par comptage des colonies.
- **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.
- **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.
- **ORTEGA-FLEITAS O., REAL-DEL-SOL E., CABRERA M.C., ORETA A., SUAREZSOLIS V., CARDOSO F., INIGUEZ C., 2001.** Manufacture of a cheese substitute for pizzas. *Alimentaria*, vol. 322, p. 87–89.
- **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.
- **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., 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.
- **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 undmenge 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.
- **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 salt on the state of dispersion of casein. *Journal of Agriculture Chemistry Soc. Jpn.*, vol. 49, p. 481-489.
- **USDA commodity requirements, 2007.** PCD5 Pasteurized process American cheese for use in domestic programs, 9 p.
- **VARUNSATIAN S., WATANABE K., HAYAKAWA S., NAKAMURA R., 1983.** Effects of Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> and Na<sup>++</sup> on heat aggregation of whey protein concentrates. *Journal of Food Science*. vol. 48, 42 p.

- **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 Protection, vol. 49, p. 229-230.
- **ZHANG D., MAHONEY A.W., 1991.** Iron fortification of process Cheddar cheese. Journal of Dairy Science, vol. 74, p. 353–358.

## ANNEXE I

**Tableau A.** 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 18mm
- Eau .....	1000 ml

---

**Tableau B.** Composition du bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB)

---

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

---

**Tableau C.** 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

---

**Tableau D.** 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

---

**Tableau E.** 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

---

**Tableau F.** 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

---

**Tableau G.** 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

---

## ANNEXE II



**Figure A.** Fonctionnement des sels de fonte : avant et après l'ajout des sels de fonte.



**Figure B.** Effet de l'écémage sur la consistance de la pâte fromagère : avant  
Et après écémage.