



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique  
Département : Technologie alimentaire  
Spécialité : Élaboration et qualité des aliments

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة  
القسم: التكنولوجيا الغذائية  
التخصص: إعداد و نوعية الأطعمة

Mémoire De Fin D'étude

Pour L'obtention Du Diplôme Master

***THEME***

**Optimisation des facteurs influençant la qualité du fromage  
fondu par la Méthodologie des Surfaces de Réponse**

Présenté Par : **BENMESSAOUD Ines**  
**MAHOUCHE Zahida**

Soutenu le : 25/11/2020

Devant le jury composé de :

**Président :**

**M.GUEZLANE L.**

**Professeur à l'ENSA**

**Promoteur :**

**M.FERRADJI A.**

**Professeur à l'ENSA**

**Examineurs :**

**Mme. AIT CHAOUCHE F.S**

**Maitre de conférences à l'université de Blida**

**Mme. BELHACHET D.**

**Maitre de conférences à l'ESSAIA**

**M. BOUKHARI N.**

**Docteur en science alimentaire**

2015-2020

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACE

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE ..... 1

PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE..... 3

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE FROMAGE FONDU..... 3

1. Le fromage fondu..... 3

1.1. Historique ..... 3

1.2. Définition du fromage fondu..... 4

2. Les différents types du fromage fondu ..... 4

2.1. Fromage fondu type bloc..... 4

2.2. Fromage fondu type coupe ..... 4

2.3. Fromage fondu tartinable ..... 4

2.4. Fromage fondu toastable (pour refonte)..... 4

2.5. Fromage fondu thermostable..... 5

3. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus..... 5

4. Formulation des fromages fondus..... 6

4.1. Les fromages ..... 6

4.2. Autres produits laitiers ..... 7

4.3. La préfonte ..... 7

4.4. Eau..... 7

4.5. Autres ingrédients ..... 7

5. Processus de la fabrication du fromage fondu .....	8
5.1. Sélection de matières premières et contrôle qualité .....	8
5.2. Préparation des matières premières .....	9
5.3. Mélange, cuisson et fonte .....	9
5.4. Stabilisation thermique de la pâte .....	9
5.5. Krémage .....	9
5.6. Conditionnement .....	10
5.7. Stockage du produit fini .....	10
6. Les paramètres de contrôle de la qualité du fromage fondu .....	11
6.1. Définition de la qualité .....	12
6.2. Les différents types de contrôle de la qualité .....	12
6.2.1. Contrôle physicochimique .....	13
6.2.2. Contrôle bactériologique .....	13
6.2.3. Contrôle organoleptique du produit fini .....	13
<b>CHAPITRE II : BIOCHIMIE DU FROMAGE FONDU .....</b>	<b>14</b>
1. La fonte .....	14
1.1. Les sels de fonte .....	14
1.1.1. Définition des sels de fonte .....	14
1.1.2. Mécanisme d'action .....	14
1.1.3. La dose des sels de fonte utilisée et son effet .....	15
1.1.4. Classification des sels de fonte .....	16
1.1.5. Propriétés des sels de fonte .....	16
1.2. L'eau .....	18
1.2.1. Paramètres de mesure de l'état de l'eau dans les aliments .....	19
1.2.1.1. Teneur en eau des aliments .....	19
1.2.1.2. L'activité de l'eau .....	19

1.2.1.3. Importance de l'activité de l'eau dans la conservation des denrées alimentaires .....	19
1.2.2. Relation entre la teneur en eau et l'activité de l'eau.....	20
1.2.2.1. Isotherme de sorption.....	20
1.2.2.2. Intérêt des isothermes de sorption pour la technologie alimentaire.....	23
1.2.3. Influence de l'eau dans la formulation des fromages fondus .....	24
2. Phénomènes physico-chimiques de la fonte .....	24
2.1. La phase de peptisation (déstabilisation de la masse protéique initiale).....	24
2.2. La phase de restructuration « Crémage ».....	25
2.3. La phase de refroidissement .....	25
3. Principaux facteurs intervenant dans le processus de la fonte .....	26
3.1. Effet des sels de fonte.....	26
3.2. Ajout de préfonte.....	26
3.3. Effet du pH .....	27
3.4. Effet du taux de la matière grasse .....	27
3.5. Effet de la teneur en extrait sec total .....	27
3.6. L'influence des facteurs du procédé.....	28
3.6.1. Vitesse de Cisaillement pendant la fonte (action mécanique).....	28
3.6.2. Influence de la température .....	28
3.6.3. Temps de fonte .....	28
<b>PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE .....</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE I : MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>29</b>
1. Matériels .....	29
1.1. Démarche expérimentale.....	29
1.1.1. Matières premières .....	29
1.1.2. Matériels techniques .....	29
2. Méthodes.....	30

2.1. Détermination du pH.....	30
2.2. Détermination de l'extrait sec total (matière sèche totale).....	30
2.3. Détermination de l'activité de l'eau .....	30
2.4. Formulation du fromage fondu .....	30
2.5. Optimisation des paramètres influençant la formulation du fromage fondu par la méthodologie de surface de réponse .....	32
2.6. Analyse statistique.....	33
2.7. Analyse sensorielle.....	34
2.7.1. Protocole de dégustation :.....	34
2.7.2. Analyse des données.....	35
<b>CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>36</b>
1. Caractéristiques physico-chimiques du fromage fondu.....	36
1.1. Le pH.....	36
1.2. L'extrait sec total (EST) :.....	38
1.3. L'activité de l'eau ( $a_w$ ) :.....	40
2. Optimisation des paramètres influençant la formulation du fromage fondu par la Méthodologie des Surfaces de Réponse.....	44
2.1. Plan expérimental et analyse statistique :.....	44
2.2. Interprétation des résultats par la Méthodologie des Surfaces de Réponse .....	45
2.2.1. Analyse de screening .....	45
2.2.1.1. Diagramme de Pareto :.....	46
2.2.1.1.1. Diagramme de Pareto pour la Réponse Activité de l'eau .....	46
2.2.1.1.2. Diagramme de Pareto pour la Réponse Extrait Sec .....	46
2.2.1.1.3. Diagramme de Pareto pour la Réponse Goût .....	47
2.2.2. Analyse de la variance .....	47
2.2.2.1. Modélisation statistique de la formulation du fromage fondu .....	49
2.2.2.1.1. Modélisation de la réponse Activité de l'eau .....	49
2.2.2.1.2. Modélisation de la réponse Extrait sec.....	51

2.2.2.1.3. Modélisation de la réponse Goût.....	52
2.2.3. Représentation graphique de l'effet des différents facteurs sur l'activité de l'eau .....	54
2.2.3.1. Variation de la réponse activité de l'eau en fonction de l'eau et de sel de fonte .....	54
2.2.3.2. Variation de la réponse activité de l'eau en fonction de l'eau et de la poudre de lait.....	55
2.2.3.3. Variation de la réponse activité de l'eau en fonction de sel de fonte et de la poudre de lait.....	57
2.2.3.4. Graphique des effets principaux de la réponse activité de l'eau.....	58
2.2.4. Représentation graphiques de la réponse Extrait sec.....	60
2.2.4.1. Variation de la réponse extrait sec en fonction de l'eau et de sel de fonte	60
2.2.4.2. Graphiques des effets principaux de la réponse extrait sec .....	61
2.2.5. Représentation graphique de la réponse Gout .....	63
2.2.5.1. Variation de la réponse gout en fonction de l'eau et de sel de fonte .....	63
2.2.5.2. Graphiques des effets principaux de la réponse goût.....	64
2.2.6. Optimisation du gout de fromage fondu par la méthode de fonction de désirabilité : .....	66
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>71</b>
<b>ANNEXES</b>	

## Résumé

Le présent travail porte sur l'optimisation de l'effet de sel de fonte, eau et poudre de lait sur les propriétés physicochimiques déterminées principalement par l'activité de l'eau et l'extrait sec et sur le goût du fromage fondu. Dans ce cadre, on a utilisé la méthodologie des surfaces de réponse en adoptant un plan composite centré à cinq niveaux pour l'optimisation de la formulation. Le modèle étudié est significatif avec 75% de compatibilité des données expérimentales. Il s'est avéré que l'eau a un effet significatif sur l'ensemble des propriétés physicochimiques, alors que le sel de fonte représente le facteur le plus déterminant du goût. Les proportions optimales pour formuler un fromage fondu ayant un bon goût sont de 2% pour le sel de fonte, entre 44% à 48% pour l'eau et 19,092% pour la poudre de lait.

**Mots clés :** Optimisation, fromage fondu, méthodologie des surfaces de réponse, plan composite centré, sel de fonte, eau, poudre de lait, qualité.

## Abstract :

This work focuses on optimizing the effect of emulsifying salt, water and milk powder on the physicochemical properties determined mainly by the activity of water, dry matter and the taste of processed cheese. In this framework, the response surface methodology was used by adopting a five-level centered composite design in order to optimize the formulation of the processed cheese. The model studied is significant with 75% compatibility of experimental data. It has been shown that water has a significant effect on the overall physicochemical properties, while emulsifying is the most important determinant of taste. The optimal proportions to formulate a tasteful processed cheese are 2% for emulsifying salt, 44% to 48% for water water and 19,092% for the milk powder.

**Keywords :** optimization, processed cheese, response surface methodology, emulsifying salt, water, milk powder, quality.

## ملخص

يركز العمل الحالي على تحسين تأثير ملح التذويب، الماء ومسحوق الحليب على الخصائص الفيزيوكيميائية المحددة أساسًا بالنشاط المائي والمستخلص الجاف وعلى ذوق الجبن الذائب. في هذا السياق، استخدمنا منهجية سطح الاستجابة اعتمادًا على مخطط مركب مركزي من خمسة مستويات لتحسين الصياغة. كان النموذج المدروس مهماً مع توافق 75% من البيانات التجريبية. اتضح أن الماء له تأثير كبير على جميع الخصائص الفيزيوكيميائية، في حين أن ملح التذويب هو أهم محدد للذوق. النسب المثلى لتكوين جبن ذائب ذو مذاق جيد هي 2% لملح التذويب، و 44% إلى 48% للماء و 19.092% لمسحوق الحليب.

**الكلمات المفتاحية:** التحسين، الجبن الذائب، منهجية سطح الاستجابة، المخطط المركب المركزي، ملح التذويب، الماء، مسحوق الحليب، الجودة.