

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique - El Harrach Alger

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Département : Technologie Alimentaire

Option : Elaboration et qualité des aliments

THEME :

Réduction des variabilités de l'extrait sec et du pH au
démoulage du fromage de type camembert « Président »

Présenté par : BENCHENNAF Maissa

Soutenu le : 28 Juin 2018

Jury :

Président :	M. BITAM A.	Professeur	ENSA.
Promoteur:	M. AMIALI M.	Professeur	ENSA.
Examinatrice :	M ^{me} HANK D.	MCA	ENSA-
Invité :	M. DOUARRE E.	Responsable d'exploitation	Célia (Lactalis) Algérie.

Promotion : 2013-2018

Table des matières :

Introduction :.....	1
---------------------	---

Partie 1 : Revue bibliographique

Chapitre 1 : Le lait

1. Définition :.....	2
2. Composition du lait :	2
2.1. Physicochimie du lait :	2
2.1.1. L'eau dans le lait :.....	2
2.1.2. La matière grasse laitière :.....	3
2.1.2.1. <i>Le globule gras</i> :.....	3
2.1.3. Les protéines :.....	4
2.1.3.1. <i>Les caséines</i> :.....	5
2.1.3.1.1. La micelle de caséine :.....	5
2.1.3.2. <i>Les protéines solubles</i> :	6
2.1.4. Le lactose :.....	6
2.1.5. Minéraux :.....	6
2.1.6. Vitamines :.....	7
2.1.7. Enzymes :.....	7
3. Propriétés physicochimiques du lait :.....	7
4. Microflore du lait et caractéristiques sensorielles des fromages :.....	8

Chapitre 2: Le fromage

1. Définition :.....	9
2. Variétés de fromages :	9
2.1. Le camembert :.....	10
Définition :.....	10
3. Transformation fromagère :.....	10
3.1. Préparation et standardisation du lait de fromagerie :.....	10
3.2. Coagulation :.....	11
3.2.1. Coagulation par acidification :.....	11
3.2.2. Coagulation enzymatique :	11
3.2.3. Coagulation mixte :.....	12
3.3. Egouttage :	12
3.3.1. Objectif de l'égouttage :	12

3.3.2.	Conduite de l'égouttage :.....	13
3.3.3.	Mécanisme de l'égouttage :.....	13
3.3.3.1.	<i>Coagulum obtenu par voie enzymatique</i> :.....	13
3.3.3.2.	<i>Coagulum obtenu par voie acide</i> :.....	14
3.3.3.3.	<i>Coagulum mixte</i> :.....	14
3.3.4.	Facteurs d'égouttage du coagulum :.....	14
3.3.4.1.	<i>Tranchage</i> :.....	15
3.3.4.2.	<i>Brassage</i> :.....	15
3.3.4.3.	<i>Chauffage</i> :.....	15
3.3.4.4.	<i>Pressage</i> :.....	15
3.3.4.5.	<i>Acidification</i> :.....	15
3.3.4.6.	<i>Traitements thermiques du lait</i> :.....	15
3.3.4.7.	<i>Salage</i> :.....	16
3.4.	Affinage :.....	16

Chapitre 3: Performance industrielle

1.	« Lean Six Sigma » une méthode de maîtrise de la variabilité :.....	17
1.1.	Définition :.....	17
1.2.	Objectifs :.....	17
1.3.	Démarche LSS :.....	18
1.4.	Outils de la démarche LSS :.....	19
1.4.1.	Les sept outils de bases de la qualité en production :.....	19
1.4.2.	D'autres démarches de résolution de problème :.....	20
2.	La maîtrise statistique des processus (MSP ou SPC) :.....	21
2.1.	Définition :.....	21
2.2.	Objectifs :.....	22
2.3.	Outils :.....	22
2.3.1.	La carte de contrôle :.....	22
2.3.2.	L'analyse de la capacité :.....	23
2.3.2.1.	<i>Pp et Ppk (Performance du processus)</i> :.....	23
2.3.2.2.	<i>Cp et Cpk (Capabilité procédé)</i> :.....	25
2.3.2.3.	<i>Indicateurs liés à la cible (Cpm et Ppm)</i> :.....	26
3.	Les plans d'expériences:.....	28
3.1.	Définition :.....	28
3.2.	Objectifs :.....	28
3.3.	Terminologie :.....	29

3.3.1.	Notion de facteur/réponse :.....	29
3.3.2.	Domaine expérimental :.....	29
4.	Modélisation et simulation :.....	29
4.1.	Définitions :.....	29
4.2.	Méthodologie :.....	30
4.3.	Types de modèles :.....	30
4.3.1.	Modèles empiriques :.....	30
4.3.2.	Modèles mécanistiques :.....	30
4.4.	Etat de l'art des modèles traitants de l'égouttage du camembert :.....	31
4.5.	Méthodologie de construction de modèle mécanistique :.....	33
4.5.1.	Définition du système à modéliser :.....	33
4.5.2.	Choix des variables et identifications de phénomènes mis en jeu :.....	33
	<i>Variables d'états</i> :.....	33
	<i>Variables d'entrée</i> :.....	33
	<i>Variables de sortie</i> :.....	33
4.5.3.	Ecriture des équations du modèle :.....	33
4.5.4.	Ajustement des paramètres :.....	34
4.5.5.	Validation des résultats :.....	34

Partie 2 : Matériels et méthodes

1.	Diagramme de fabrication du camembert :.....	35
2.	Méthodologie DMAIC :.....	36
2.1.	Définir :.....	37
2.2.	Mesurer :.....	37
2.2.1.	Cartographie de la température :.....	37
2.2.2.	Mesure de l'EST :.....	39
2.2.3.	Mesure du pH :.....	40
2.2.4.	Mesure de l'acidité :.....	40
2.3.	Analyser :.....	40
	Le diagramme d'Ishikawa :.....	40
2.4.	Innover et améliorer :.....	41
2.4.1.	Plan d'expériences :.....	41
2.4.2.	Constitution de la base de données :.....	41
2.4.3.	Modélisation et ajustement des paramètres :.....	41
2.5.	Contrôler :.....	42
2.5.1.	Carte de contrôle :.....	42

2.5.2. Analyse de la capabilité du processus :	42
3. Analyse statistiques :	43

Partie 3 : Résultats et discussion

1. Définir :	44
2. Mesurer :	44
2.1. Appréciation de la variabilité de l'EST et du pH du fromage au démoulage :	44
2.2. Protocole d'égouttage :	49
2.3. Cartographie de la température des salles d'égouttage :	51
3. Analyser :	54
3.1. Diagramme d'Ishikawa :	54
4. Innover et améliorer :	56
4.1. Plan d'expérience :	57
4.1.2. Définition des bornes de l'intervalle :	57
4.1.3. Construction de la matrice expérimentale :	58
4.1.4. Représentation graphique des résultats :	58
4.1.5. Analyse de régression multiple de l'extrait sec :	59
4.1.6. Analyse de régression multiple du pH :	64
4.2. Modélisation factorielle :	70
4.1.4. Estimation des coefficients :	70
4.1.5. Statistique de la régression du model :	71
4.1.5.1. <i>Test de Student</i> :	71
Ajustement du modèle de l'EST :	73
Profileur des interactions :	75
4.1.5.2. <i>Test de Fisher</i> :	76
Optimisation :	76
La fonction Désirabilité :	77
4.3. Mise en place d'une formule de correction à l'égouttage 5h :	80
4.3.1. Simulation des réponses de l'EST :	80
5. Corrélations :	84
6. Contrôler :	85
Appréciation de la réduction de la variabilité de l'EST au démoulage :	86
6.1. Appréciation de la réduction de la variabilité du pH au démoulage :	88
Conclusion :	91

Résumé :

La réduction de la variabilité des paramètres clés de production en industrie agroalimentaire représente un indice de maîtrise des processus de fabrication d'où l'intérêt consacré par les entreprises aux démarches d'amélioration de la qualité notamment *lean six sigma*. Afin de prévenir l'apparition de non-conformités au démoulage du fromage de type camembert « Président » des corrections doivent être apportées durant l'égouttage de celui-ci. La modélisation dynamique de l'égouttage a été proposée en guise de solution préventive au problème de la variabilité de l'extrait sec et du pH du fromage démoulé. En effet, la dispersion de ces variables a été réduite de **86%** et **70%** pour l'extrait sec et le pH respectivement après l'application de la modélisation.

Mots-clés :

Fromage, égouttage variabilité, modélisation, qualité, performance industrielle, capacité des processus, six sigmas, DMAIC, plans d'expériences, cartographie, 5 M.

Abstract :

The variability reduction in the production parameters in the food industry represents an index of control of manufacturing processes, hence the interest devoted by companies to quality improvement initiatives such as lean six sigma. In order to prevent the appearance of non-conformities when the camembert cheese "Président" is removed from the mould, corrections must be made during draining. Dynamic modelling was proposed as a preventive solution to the problem of dry extract and pH deficiency of unmoulded cheese. Indeed, the dispersion of these variables was reduced by **86%** and **70%** for dry extract and pH respectively.

Keywords :

Cheese, syneresis, variability, modelling, quality, industrial performance, process capability, six sigma, DMAIC, experimental designs, mapping, 5M.

ملخص:

تخفيض الاختلاف في المعايير الأساسية في صناعة الأغذية الزراعية . يشكل مؤشر التحكم في عملية التصنيع ، ومن هذه الفائدة ، خصصت الشركات المبادرات للتحسين من النوعية . من أجل التحذير من نشأة حالات عدم الامتثال في التفريغ للجبنة ، يجب إدخال تحسينات أثناء تجفيفه . والنمذجة الدينامية للتجفيف اقترحت كحل وقائي لظهور فشل تفريغ الجبن الطري و هو الهدف الرئيسي من دراستنا ، الذي هو الحد من تشتت متغيرات مخارج عملية تحويل الجبن من فئة كاممبير

الكلمات الرئيسية :

كلمات الجبن و تجفيف التباين، و النمذجة. و الجودة ، و الأداء التصنيع و القدرة العملية ، و ستة سيغما ،

DMAIC، تصميم التجارب، و رسم الخرائط، 5م