

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière Industrie Laitière et Corps Gras
Option Industrie Laitière



Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Optimisation du procédé de fabrication d'un
fromage à pâte molle type « Camembert »**

Présenté par :

Mokrani Lotfi et Ksouri Amirouche

Soutenu le : **14 Juin 2015**

Devant le jury composé de :

Mme. Ouchemoukh
M. Madani
Melle. Achat
M. Dahmoune
M. Abbou

MAA	President
Professeur	Promoteur
MCA	Examineur
MCA	Co-promoteur
Ingénieur	Invité

Année universitaire : 2014 / 2015



Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience tout au long de ce travail ;

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous souhaitons témoigner toute notre reconnaissance :

On voudrait tout d'abord adresser toute notre gratitude à notre directeur de mémoire, Mr MADANI K, pour sa patience et pour sa disponibilité intellectuelle qui ont contribué à alimenter notre réflexion ;

On désire aussi remercier toute l'équipe de recherche Mr DAHMOUN F, notre co-promoteur, Mr MOUSSI K, Mr RAHMOUNI Y, Mr RIMINI H et Mr LEFCIH pour leurs précieuses aides, leurs orientations et le temps qu'ils nous ont accordé durant ce travail ;

On voudrait exprimer notre reconnaissance à Mr ABBOU S pour sa confiance et de nous avoir reçu au sein de son entreprise « Univert Milk » pendant la période de notre stage ;

On remercie tout les industriels, laiterie « LAVALAIT », groupe « FLY CHEMICAL », fromagerie « Le Roi », SARL « GOURAYA FROID », Mr KHIRDDIN F et Mr AMRI pour leurs aides et leurs soutiens logistiques ;

Nos reconnaissances les plus sincères s'adressent à Mm OUCHEMOUKH d'avoir accepté de présider le jury et à M^{elle} ACHAT de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail ;

Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes, qui de près ou de loin, se sont impliqués dans la réalisation de ce travail ;

A la fin, on tient à remercier profondément toute l'équipe de laboratoire BBBS ainsi que toute l'équipe de département de Sciences Alimentaires pour leurs aides et leurs orientations.

Merci

Dédicaces

Je dédier cet humble travail avec grand amour, sincérité et fierté :

A ma mère :

« Tu m'as donné la vie et le courage pour réussir, rien ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je porte envers toi.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail afin de te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entouré »

A mon père :

« L'épaule solide, l'œil attentif, la personne la plus digne de mon estime et de mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que Dieu te préserve et te procure santé et longue vie »

A mes deux grandes mères et à mon grand père que Dieu vous préserve et vous procure santé et longue vie

A mes sœurs Linda, Sabrina et Lydia ainsi que mon petit frère KIKI en témoignage de la fraternité avec mes souhaits de bonheur, santé et succès pour eux

A tous mes oncles ainsi que mes tantes

A tous mes cousins et cousines

A mon binôme Lotfi

A mes amis de chambre : Gaya, Islam et Hiko

A toute la promotion IL, CG, SA et Biotechnologie

A tous mes amis, mes professeurs et à tous qui compulseront ce modeste travail

Amirouche Ksouri

Dédicaces

*Je dédier ce modeste travail à mes chers parents qui mon donner la chance d'exercer
dans la vie*

A mon grand père, mon école de la vie

A tout les enseignant et les auteurs qui ont forger ma pensé

*A toute ma grande famille, mes frères et sœurs ainsi amis c'est pour eux que continuer
mon instin de survie*

Je dédier aussi ce travail à tout ceux qui se battent pour leurs causes dans la vie

Et merci

Lotfi Mokrani

Sommaire

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction Erreur ! Signet non défini.

Partie bibliographique

I. Généralités sur les fromages 3

I.1. Principes généraux de la technologie fromagère 3

I.1.1. La coagulation du lait 3

I.1.2. L'égouttage 5

I.1.3. Le salage 6

I.1.4. L'affinage 7

I.2. Classification des fromages 7

I.2.1 Classification officielle 7

I.2.2. Classification didactique 8

I.3. Valeur nutritionnelle des fromages 9

II. Stratégies d'innovation 9

III. Planification expérimentale en agroalimentaire 9

VI. Généralités sur les plans d'expériences 10

IV.1. Notion d'espace expérimental 10

IV.2. Notion de surface de réponse 11

IV.3. Notion de modélisation mathématique 12

Partie expérimental

Matériels et méthodes

I. Cadre de travail 13

I.1. Echelle semi-pilote (optimisation et formulation) 13

I.2. Echelle industrielle (validation et production) 13

II. Appareillages et équipements 14

II.1. Appareillages 14

II.2. Équipements 14

III. Produits chimiques 16

III.1. Détergents 16

III.2. Désinfectants 16

III.3. Sels 17

IV. Enzymes et ferments	17
IV.1. Enzymes	17
IV.2. Ferments	17
V. Matière première	17
VI. Méthodes	18
VI.1. Préparation de la salle et désinfection	18
VI.2. Fabrication du fromage	Erreur ! Signet non défini.
VII. Les analyses réalisées	20
VII.1. Analyses réalisée sur le lait.....	20
VII.2. Les analyses réalisées sur les fromages	20
VIII. Conduite des essais et traitement de données	21
VIII.1. Plan d'expérience	21
VIII.2. Modélisation mathématique	22
IX. Analyses statistiques	23

Résultats et discussions

I. Caractérisation physicochimique du lait de collecte	Erreur ! Signet non défini.
II. Méthodologie expérimentale de production du camembert : construction d'un plan d'expérience	Erreur ! Signet non défini.
II.1. Optimisation des paramètres de formulation.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2. Analyse des résultats	Erreur ! Signet non défini.
III. Analyse hédonique	Erreur ! Signet non défini.
III.1. Test du plan d'expérience avec XL Stat-MX.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2. Caractérisation des produits	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1. Pouvoir discriminant par descripteur	Erreur ! Signet non défini.
III.2.2. Les coefficients des modèles.....	Erreur ! Signet non défini.
III.2.3. Les moyennes ajustées par produit	Erreur ! Signet non défini.
III.3. Analyse des pénalités	Erreur ! Signet non défini.
III.4. Analyse des données des préférences des consommateurs	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion	37
Synthèse bibliographique.	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau I : Classification fromages en fonction de la consistance, de la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage.....	8
Tableau II : Valeur nutritionnelle des fromages	9
Tableau III : Différents germes recherchés pour les fromages à pâte molles.....	20
Tableau IV: Les différents facteurs modélisant le plan d'expérience.....	22
Tableau V: valeurs de l'EST et de la densité du lait de collecte pendant la période d'étude.....	24
Tableau VI: Matrice d'expérience en fonction des réponses obtenues.....	25
Tableau VI : résultats de l'Evaluation du plan.....	30
Tableau VII. Moyennes ajustées par produit.....	33

Liste des figures

Figure 1 : La diversité des fabrications fromagères.....	8
Figure 2 : Représentation du domaine de facteur.....	11
Figure 3 : Représentation de la surface de réponse.....	11
Figure 4 : Schéma de dispositif de pasteurisation.....	15
Figure 5 : Schéma de l'armoire d'affinage (hâloir).....	16
Figure 6 : Plan de l'atelier de travail.....	18
Figure 7 : diagramme de fabrication du camembert.....	19
Figure 8 : profil de prédiction de la formulation d'un camembert.....	27
Figure 9 : Pouvoir discriminant par descripteur.....	31
Figure 10 : Coefficient des modèles des 3 échantillons.....	32
Figure 11 : Pénalités de l'échantillon A.....	34
Figure 12 : Pénalités de l'échantillon B.....	34
Figure 13 : Pénalités de l'échantillon C.....	35
Figure 14 : préférence générale des consommateurs.....	36

Liste des abréviations

AOC : Appellation d'Origine contrôlé.

AOP : Appellation d'Origine Protégé.

GDL : Glucono Delta Lactone.

CMP : Caséinomacropéptide.

TEFD : Teneur en Eau dans le Fromage Dégraissé.

MGES : Matière Grasse dans l'Extrait Sec.

Introduction

Introduction

Introduction

Si la France est le pays des fromages, ce n'est pas en un seul jour, mais c'est le fruit de tout un répertoire de formulation et d'expériences ancestrales qui s'étalent sur des centaines d'années.

Ce savoir-faire acquis a permis l'élaboration d'environ 1000 fromages français dont 46 AOC et 45 AOP. En plus, on dénombre une trentaine de « grands » fromages à croûte fleurie, fabriqués à partir de lait de vache. Ils sont originaires de différentes régions. Tous les fromages de cette famille ont en commun une croûte blanche recouvrant une pâte souple et onctueuse (**Henri et al., 2001**).

Le manque de savoir-faire et d'expertise dans l'industrie agroalimentaire Algérienne due à l'adoption directe des procédés de fabrication développés par des groupes de recherche externes a fait naître une dépendance technologique de l'entreprise Algérienne vis-à-vis ces groupes.

La formulation recouvre l'ensemble des savoir-faires nécessaires au développement et la fabrication d'un produit préalablement caractérisé sachant que le savoir est acquis par l'expérimentation et tout le reste n'est qu'informations.

Ce travail consiste à l'utilisation de la planification expérimentale pour la formulation d'un fromage à pâte molle type camembert. Pour cela, quatre facteurs clés dans l'élaboration du produit sont sélectionnés et étudiés avec un plan factoriel complet. Les quatre facteurs en question sont : acidité d'emprésurage, dose de présure, facteur de coagulation et auxiliaire de coagulation.

Selon **Veisseyre. (1975)**, le Camembert est défini comme étant un fromage à pâte molle, à caillé non divisé en forme de cylindre plat. Il a un diamètre de 10 à 11 cm et une épaisseur de 3 cm. Il renferme au moins 40 % de matière grasse et 110 g de matière sèche. C'est un fromage affiné à moisissures superficielles.

L'aménagement d'un petit atelier, la conception d'un pasteurisateur et la réalisation d'une armoire d'affinage à régulation électronique adaptée pour l'étude ont fait l'objet d'une approche technico-conceptuelle. Cette dernière a été réalisée au niveau de laboratoire BBBS pour une modélisation à l'échelle semi pilote et l'optimisation des quatre paramètres de production choisis.

La validation de la formule optimale est réalisée au niveau de la fromagerie « **UniVert Milk** » pour voir la répétabilité de la formule à l'échelle industrielle.

A la fin de l'élaboration du produit, un teste hédonique a été organisée où le produit fut soumis à des tests de préférence, avec deux autres produits commercialisés. Des tests d'analyse statistique sont effectués pour l'évaluation du produit élaboré.

Cette étude est traitée en deux parties : une partie bibliographique qui traite la technologie ainsi que la classification des fromages, et quelques notions sur les plans d'expériences ; une partie expérimentale qui traite les différents matériels et méthodes utilisés dans cette étude ainsi que les résultats obtenus et leurs discussions.

Partie

basique

bibliographique

bibliographique

I. Généralités sur les fromages

I.1. Principes généraux de la technologie fromagère

Le fromage correspond à une véritable conserve alimentaire, obtenue grâce au jeu croisé de l'élimination plus au moins poussée de l'eau du lait et de la récupération des matières sèches. Selon **Brûlé et al. (1997)**, la transformation du lait en fromage comporte trois étapes principales :

- ✓ La coagulation du lait qui correspond à des modifications physicochimiques des micelles de caséines sous l'action d'enzymes protéolytiques et (ou) de l'acide lactique, entraînant la formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel ;
- ✓ L'égouttage du caillé qui assure une déshydratation partielle du gel, obtenu par séparation d'une partie du lactosérum ;
- ✓ L'affinage qui se caractérise par des transformations biochimiques des constituants du caillé, essentiellement sous l'action d'enzymes microbiennes.

Dans la plupart des fabrications, entre l'égouttage et l'affinage, se situe l'opération de salage qui représente à la fois un complément d'égouttage et un facteur important de la maîtrise de l'affinage par action sur l'activité de l'eau.

I.1.1. La coagulation du lait

La coagulation du lait, qui se traduit par la formation d'un gel, résulte des modifications physico-chimiques intervenant au niveau des micelles de caséine ; les mécanismes proposés dans la formation du coagulum diffèrent totalement suivant que ces modifications sont induites par acidification ou par action des enzymes coagulantes (**Eck, 1987**).

a. Coagulation par acidification

Elle consiste à précipiter les caséines à leur point isoélectrique ($pH_i = 4.6$) par acidification biologique à l'aide de ferments lactiques qui transforment le lactose en acide lactique ou par acidification chimique (injection du CO_2 ou addition de GDL : Glucono Delta Lactone) ou encore par ajout de protéines sériques à pH acide (**Mahaut et al., 2000**).

L'acidification entraîne une diminution des charges négatives des micelles et donc une diminution de la couche d'hydratation et des répulsions électrostatiques, ainsi qu'une solubilisation du calcium et du phosphore minéral, entraînant une déstructuration des

micelles de caséines avec réorganisation protéique, pour former un réseau puis un gel à pH 4.6 (**Mahaut et al., 2000**).

Le coagulum est un gel qui présente une perméabilité satisfaisante, mais une friabilité élevée avec une élasticité et plasticité pratiquement nulles dues au manque de structuration du réseau. Les liaisons sont de faible énergie de type hydrophobe et résistent peu aux traitements mécaniques (**Mahaut et al., 2000**).

b. Coagulation par voie enzymatique

Elle consiste à transformer le lait de l'état liquide à l'état de gel par action d'enzymes protéolytiques, le plus souvent d'origine animale tel que la présure (**Mahaut et al., 2000**). 03 phases sont distinguées :

- ✓ Phase primaire ou enzymatique ;
- ✓ Phase secondaire ou d'agrégation des micelles déstabilisées ;
- ✓ Phase tertiaire ou de réticulation.

-La phase primaire

Elle correspond à l'hydrolyse de la caséine κ au niveau d'une seule liaison peptidique, la liaison Phe₁₀₅-Met₁₀₆. La chaîne de la caséine κ se trouve ainsi coupée en 02 segments inégaux : le segment 1-105 est la paracaséine κ , le segment 106-169 est le caséinomacropeptide (CMP) (**Garnier et al., 1968**).

La paracaséine κ , liée aux caséines α et β , reste intégrée à la micelle ; elle a un caractère basique et hydrophobe marqué. Le CMP, qui porte tous les glucides éventuellement présents, est libéré et passe dans le sérum. Il a un caractère acide et hydrophile (**Garnier et al., 1968**).

- La phase secondaire

Elle correspond à la coagulation proprement dite. Elle commence lorsque, à pH 6.6, 80 à 90% de la caséine κ est hydrolysée. Le CMP se détache de la caséine κ et la micelle perd son caractère hydrophile ; il y a diminution de son degré d'hydratation et de son potentiel de surface. Des liaisons hydrophobes et électrostatiques s'établissent alors entre les micelles modifiées et vont entraîner la formation du gel (**Mahaut et al., 2000**).

-La phase tertiaire

Les micelles agrégées subissent de profonds réorganisations par la mise en place de liaisons phosphocalciques et peut être des ponts disulfures entre les paracaséines (**Mahaut et al., 2000**).

c. La coagulation mixte

Elle résulte de l'action conjuguée de la présure et de l'acidification. La multitude de combinaisons conduisant à différents états d'équilibres spécifiques est à l'origine de la grande diversité des fromages à pâte molle et à pâte pressée non cuite (**Mahaut et al., 2000**).

I.1.2. L'égouttage

Cette phase consiste en l'élimination plus ou moins grande du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé (**Mahaut et al., 2000**).

Pour le praticien, l'apparition du lactosérum marque le début de l'égouttage. En réalité, elle n'est que la manifestation visible d'une séparation commencée au cours de la coagulation et dont le déroulement se fait par étapes. Les mécanismes fondamentaux de l'égouttage sont différents selon que le coagulum est obtenu par voie enzymatique ou par voie fermentaire (**Kirchmeier, 1961**).

L'égouttage est le résultat de deux phénomènes physiques différents (**FAO, 1995**) :

- ✓ Un phénomène actif, la synérèse, qui est dû à la contraction du gel; il est particulièrement important dans les coagulum présure;
- ✓ Un phénomène passif, résultant de l'aptitude du coagulum à laisser s'écouler le lactosérum, cette exsudation spontanée du sérum, relative à la perméabilité du coagulum, est une des caractéristiques des gels lactiques.

a. Egouttage du gel lactique

Lorsque le coagulum est obtenu exclusivement par voie acide, la structure micellaire est détruite. Il est alors constitué par des petites particules de caséines dispersées et déminéralisées. Il n'a pas de propriété de synérèse car, en l'absence de calcium, il ne peut se former que des liaisons faibles incapables d'assurer la contraction du coagulum (**Aiyar et Wallace, 1970**).

b. Egouttage du gel présure

Le gel présure présente une cohésion, une élasticité et une porosité fortes, mais une perméabilité faible (**Mahaut et al., 2000**).

La synérèse des coagulums d'origine enzymatique peut être considérée comme le résultat d'une interaction continue protéine-protéine due à la constitution de liaisons de divers types devenues possibles après la réduction de l'eau d'hydratation entourant les micelles. L'accroissement progressif de la force et du nombre de liaisons produit un resserrement du réseau filamenteux de caséine et une expulsion du lactosérum interstitiel. En outre, il est vraisemblable que la protéolyse due à l'enzyme coagulante libère des sites réactionnels favorables à l'établissement de nouvelles liaisons puisque l'aptitude à l'égouttage varie avec l'intensité et la spécificité de l'activité protéolytiques de l'enzyme utilisée (**Ramet, 1976**).

c. Egouttage du gel mixte

Pour la plupart des fabrications, la coagulation est obtenue par voie enzymatique et s'accompagne d'une acidification dont l'intensité varie avec le type de fromage désiré. Le rapport entre la quantité d'enzyme et l'acidité confère à chaque coagulum des caractères propres se situant dans un gradient compris entre ceux d'un coagulum obtenu par voie enzymatique et d'un coagulum obtenu par voie acide. Cela veut dire que l'aptitude intrinsèque d'un coagulum mixte à s'égoutter résulte des forces de contraction qui exercent une pression sur les fractions incluses de lactosérum et de sa perméabilité. Ses forces diminuent avec l'acidification alors que la perméabilité augmente avec celle-ci jusqu'à ce que l'état micellaire soit détruit (**Stoll, 1966**).

I.1.3. Le salage

Le salage du fromage est l'enrichissement de la pâte en chlorure de sodium (NaCl) qui joue un rôle multiple selon **Bertrand. (1988)** :

- ✓ Il contribue à achever l'égouttage et facilite ainsi la formation de la texture de la pâte, en particulier au niveau de la croûte, souvent plus salée et plus déshydratée que la pâte ;
- ✓ Il joue un rôle important dans l'affinage, par son rôle dépresseur sur l'activité de l'eau, il constitue alors un facteur de sélection des populations microbiennes et modifie les activités enzymatiques ;
- ✓ Il apporte au fromage un goût salé.

Le salage est réalisé, essentiellement avec du chlorure de sodium, selon deux méthodes d'après **Payne et Morison. (1999) ; Simal. (2001) :**

- ✓ Salage à sec par saupoudrage superficiel, frottage ou incorporation dans la masse du caillé ;
- ✓ Salage en saumure par immersion dans une solution de chlorure de sodium saturée.

I.1.4. L'affinage

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique ou sous l'action d'enzymes, pour la plupart élaborées par la flore microbienne présente, les constituants du caillé sont dégradés. La pâte est ainsi modifiée dans son aspect, sa texture et sa consistance, ce qui lui permet de passer sous la forme d'un produit élaboré dénommé fromage.

Selon **Mietton. (1995)**, L'affinage est en fait la résultante de trois principales actions biochimiques qui se déroulent simultanément à savoir :

- ✓ La dégradation des protéines ;
- ✓ L'hydrolyse de la matière grasse ;
- ✓ La fermentation du lactose.

I.2. Classification des fromages

La grande diversité des fromages rend leur classification difficile. Cette dernière est d'autant plus compliquée à établir que les caractères sur lesquels pourraient se fonder une classification s'entremettent (**Mietton, 1994**).

I.2.1 Classification officielle

La norme internationale A-6 (FAO/OMS, 1987) permet de classer les fromages en fonction de leur teneur en eau dans le fromage dégraissé (TEFD : teneur en eau dans le fromage dégraissé), leur teneur en matière grasse sur la matière sèche (MGES : matière grasse dans l'extrait sec) et les principales caractéristiques d'affinage (**tableau I**).

Tableau I: Classification fromages en fonction de la consistance, de la teneur en matière grasse et des principales caractéristiques d'affinage **A-6 (FAO, 1995).**

Formule I		Formule II		Formule III
TEFD (%)	Le premier élément de la dénomination sera :	MGES (%)	Le second élément de la dénomination sera :	D'après les principales caractéristiques d'affinage :
<51	Pâte extradure	>60	Extra	1. Affiné.
49-56	Pâte dure	45-60	Tout gras	a. Principalement en surface.
54-63	Pâte demi-dure	25-45	Mi-gras	b. Principalement en masse.
61-69	Pâte demi-molle	10-25	Quart-gras	2. Affiné aux moisissures.
>67	Pâte molle	<10	Maigre	a. Principalement en surface.
				b. Principalement en masse.
				3. Frais.

I.2.2. Classification didactique

Lenoir et al., (1983) donnent une vue synthétique et didactique (**figure 1**) de la diversité des fabrications fromagères. Les modalités de coagulation, d'égouttage et d'affinage du caillé conduisent à une grande diversité du fromage.

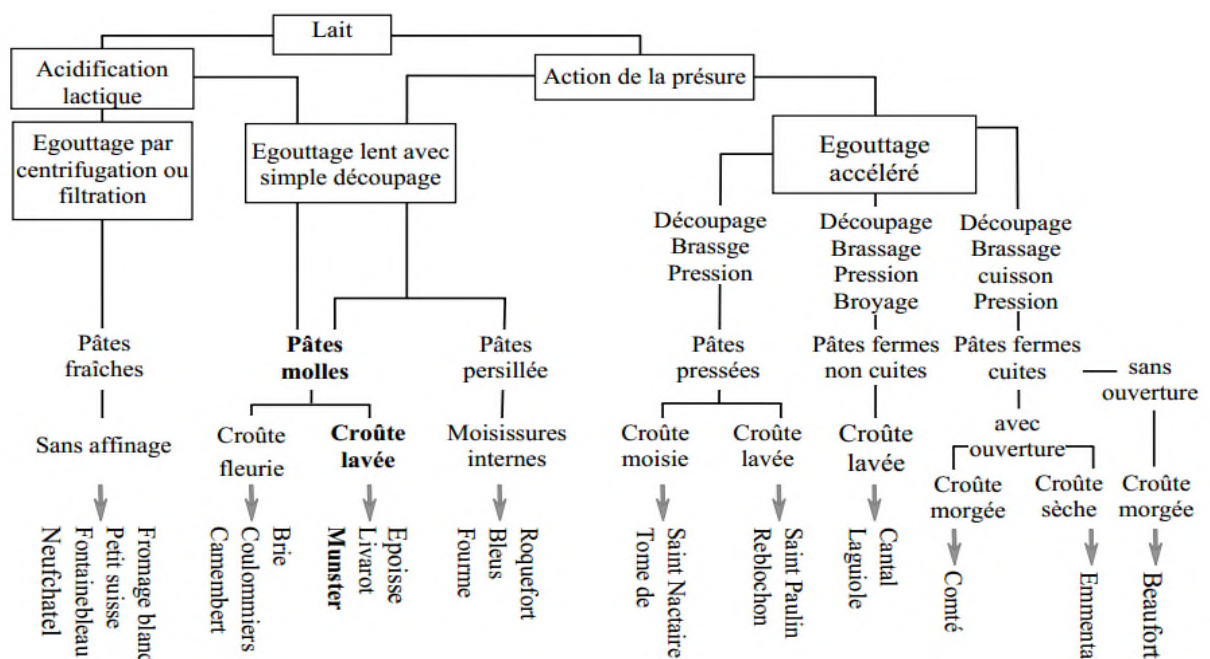


Figure 1: La diversité des fabrications fromagères (**Lenoir et al., 1983**).

I.3. Valeur nutritionnelle des fromages.

La valeur nutritionnelle de divers fromages est illustrée dans le **tableau II**.

Tableau II : Valeur nutritionnelle des fromages (Mahaut et *al.*, 2000).

	Protéines (%)	Lipides (%)	Ca ⁺⁺ (g.kg ⁻¹)	Valeur énergétique (kj.100 g ⁻¹)
Fromage frais	10	0 à 9	1.0 à 1.6	2000 à 6500
Pâte molle	20	20 à 28	1.5 à 3.8	11000 à 15000
Pâte pressée non cuite	24 à 27	24 à 29	6.5 à 8.6	13500 à 16000
Pâte pressée cuite	27 à 29	28 à 30	9.0 à 11.0	16500 à 17000
Pâte persillée	20	27 à 32	7.2 à 8.7	17500

II. Stratégies d'innovation

Confrontées à des enjeux économiques considérables, les sociétés productrices de spécialités se livrent une compétition féroce à une échelle continentale ou planétaire pour gagner des parts de marché. L'innovation constitue l'un des outils stratégiques majeurs pour séduire le consommateur (industriel ou grand public) et améliorer la rentabilité de l'entreprise. Par ailleurs, les phénomènes de mode auxquels sont soumis certains de ces produits ainsi que l'apparition de réglementations toujours plus rigoureuses renforcent encore ce besoin d'innovation et conduisent à un rythme d'évolution rapide des spécialités tant au niveau de leurs constitutions qu'au niveau des procédés utilisés pour leur fabrication et leur mise en œuvre (Aubry et Schorsh, 1999).

III. Planification expérimentale en agroalimentaire

L'industrie agroalimentaire, devant l'amélioration ou la création d'un nouveau produit, accorde ces dernières années une place importante à l'organisation des essais expérimentaux. La démarche traditionnelle pas à pas était basée sur le savoir-faire et le bon sens de l'expérimentateur. Cela engendrait de nombreux essais et un temps considérable pour atteindre parfois des résultats difficilement interprétables (Sabre, 2006).

Cependant, les exigences du client sur le plan qualité et goût d'une part et la course des entreprises vers des réductions des coûts de développement d'autre part, nécessitent l'utilisation d'une approche scientifiquement rigoureuse : un « **plan d'expériences** » appelé aussi une « **stratégie d'expériences** » (Sabre, 2006).

Ainsi, une industrie de chocolat, par exemple, doit réaliser plusieurs mélanges en variant les composants ou en variant tout simplement leur dosage pour obtenir un produit qui répond à certaines caractéristiques organoleptiques exigées comme : fondant, gras, saveur sucré, caramélisé, lactée, persistance du goût, couleurs, etc. (Sabre, 2006).

L'objectif du plan d'expériences est de répondre à ces questions en proposant des méthodes mathématiques permettant d'organiser un nombre réduit d'essais expérimentaux dont les résultats sont exploitables (Sabre, 2006).

VI. Généralités sur les plans d'expériences

Les plans d'expériences permettent d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles (Goupy, 2001). Ils sont applicables à de nombreuses disciplines et à toutes les industries à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt, y , et des variables, x_i . Il faut penser aux plans d'expériences si l'on s'intéresse à une fonction du type : $y = f(x_i)$ (Goupy, 2006).

Avec les plans d'expériences on obtient le maximum de renseignements avec le minimum d'expériences. Pour cela, il faut suivre des règles mathématiques et adopter une démarche rigoureuse (BOX George et al., 2005). Il existe de nombreux plans d'expériences adaptés à tous les cas rencontrés par un expérimentateur (Goupy, 2006).

La compréhension de la méthode des plans d'expériences s'appuie sur deux notions essentielles, celle *d'espace expérimental* et celle de *modélisation mathématique* des grandeurs étudiées (Goupy, 2006).

IV.1. Notion d'espace expérimental

Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la **réponse**, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables. Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot **facteur**. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté (**figure 2**). La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelée **niveau**. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut (Goupy, 2006).

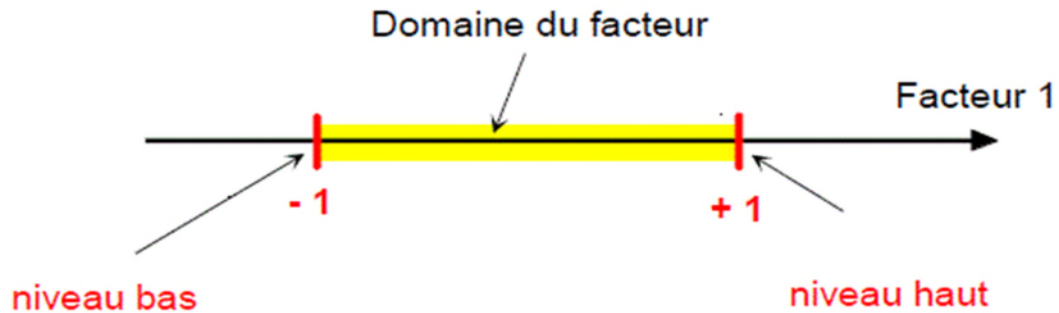


Figure 2 : Représentation du domaine de facteur (Goupy, 2006).

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le **domaine du facteur**. On a l'habitude de noter le niveau bas par -1 et le niveau haut par $+1$ (Goupy, 2006).

IV.2. Notion de surface de réponse

Les niveaux x_i représentent les coordonnées d'un point expérimental et y est la valeur de la réponse en ce point. On définit un axe orthogonal à l'espace expérimental et on l'attribue à la réponse. La représentation géométrique du plan d'expériences et de la réponse nécessite un espace ayant une dimension de plus que l'espace expérimental. Un plan à deux facteurs utilise un espace à trois dimensions pour être représenté : une dimension pour la réponse, deux dimensions pour les facteurs (Goupy, 2006).

A chaque point du domaine d'étude correspond une réponse. A l'ensemble de tous les points du domaine d'étude correspond un ensemble de réponses qui se localisent sur une surface appelée la surface de réponse (figure 3) (Goupy, 2006).

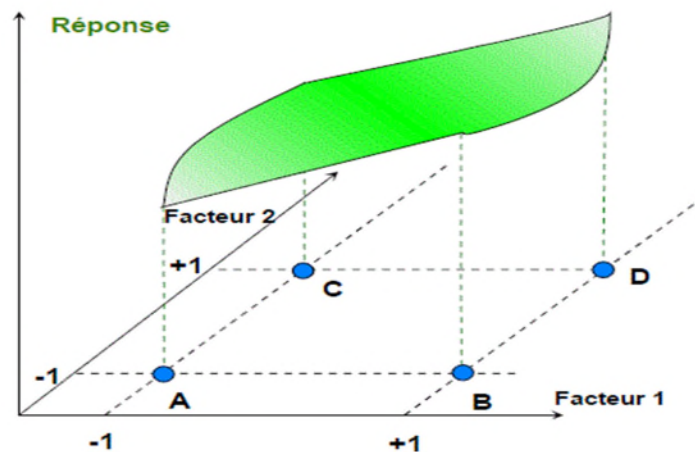


Figure 3 : Représentation de la surface de réponse (Goupy, 2006).

IV.3. Notion de modélisation mathématique

On choisit a priori une fonction mathématique qui relie la réponse aux facteurs. On prend un développement limité de la série de Taylor-Mac Laurin. Les dérivées sont supposées constantes et le développement prend la forme d'un polynôme de degré plus ou moins élevé.

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \dots + \sum a_{ii} x_i^2 + a_{ij\dots z} x_i x_j \dots x_z$$

Où :

- y est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée ;
- x_i représente le niveau attribué au facteur i par l'expérimentateur pour réaliser un essai. Cette valeur est parfaitement connue. On suppose même que ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression) ;
- a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

L'intérêt de modéliser la réponse par un polynôme est de pouvoir calculer ensuite toutes les réponses du domaine d'étude sans être obligé de faire les expériences (**Goupy, 2006**).

Partie expérimentale

Matériels et matériels et méthodes méthodes

I. Cadre de travail

Ce travail a été réalisé à deux échelles : échelle semi-pilote et échelle industrielle.

I.1. Echelle semi-pilote (optimisation et formulation)

Une salle au niveau du laboratoire **BBBS** à l'Université **Abderrahmane MIRA de Bejaia** a été aménagée comme atelier de production semi-pilote.

I.2. Echelle industrielle (validation et production)

La deuxième étape, validation de la formule optimale, a été réalisée au niveau de la fromagerie « **UniVert Milk** » sise à la wilaya de **TIZI OUZOU** avec un protocole industriel.

-Présentation de l'unité « **UniVert Milk** »

- **Raison sociale** : Laiterie « **UniVert Milk** ».
- **Forme juridique** : SARL.
- **Marque commerciale** : Les Collines, Le subtil, Le Redol.
- **Tél** : 020 68 26 26.
- **Fax** : 026 41 15 70.

Il y a «**UniVert Milk**», une unité créée en janvier 2009 par un jeune diplômé, Samir Abbou, spécialité technologie alimentaire, option technologie du lait et dérivés, de l'Institut national des industries légères de Boumerdès.

«**UniVert Milk**» est une petite SARL implantée sur 2 000 mètres carrés dans la zone d'activité de commune de Tizi Ouzou. Après avoir débuté avec cinq employés, l'unité fonctionne aujourd'hui avec douze travailleurs qui s'occupent des différentes étapes de fabrication. Les huit sortes de camembert que l'unité de Samir Abbou fabrique sont distribuées dans une dizaine de wilayas du pays dont Oran, Constantine, Annaba, Blida, Bordj Bou Arreridj, Alger et Béjaïa.

Entre 2 500 et 3 000 litres de lait, selon les périodes, sont engloutis, quotidiennement, dans la fabrication du camembert de l'entreprise «**UniVert Milk**», soit, en moyenne, environ 1 500 pièces de 250 grammes.

II. Appareillages et équipements

II.1. Appareillages

L'appareillage utilisé dans cette présente étude est illustré dans l'Annexe I.

II.2. Equipements

a. Pasteurisateur

La **figure 4** illustre un schéma de la conception du pasteurisateur utilisé pour cette étude.

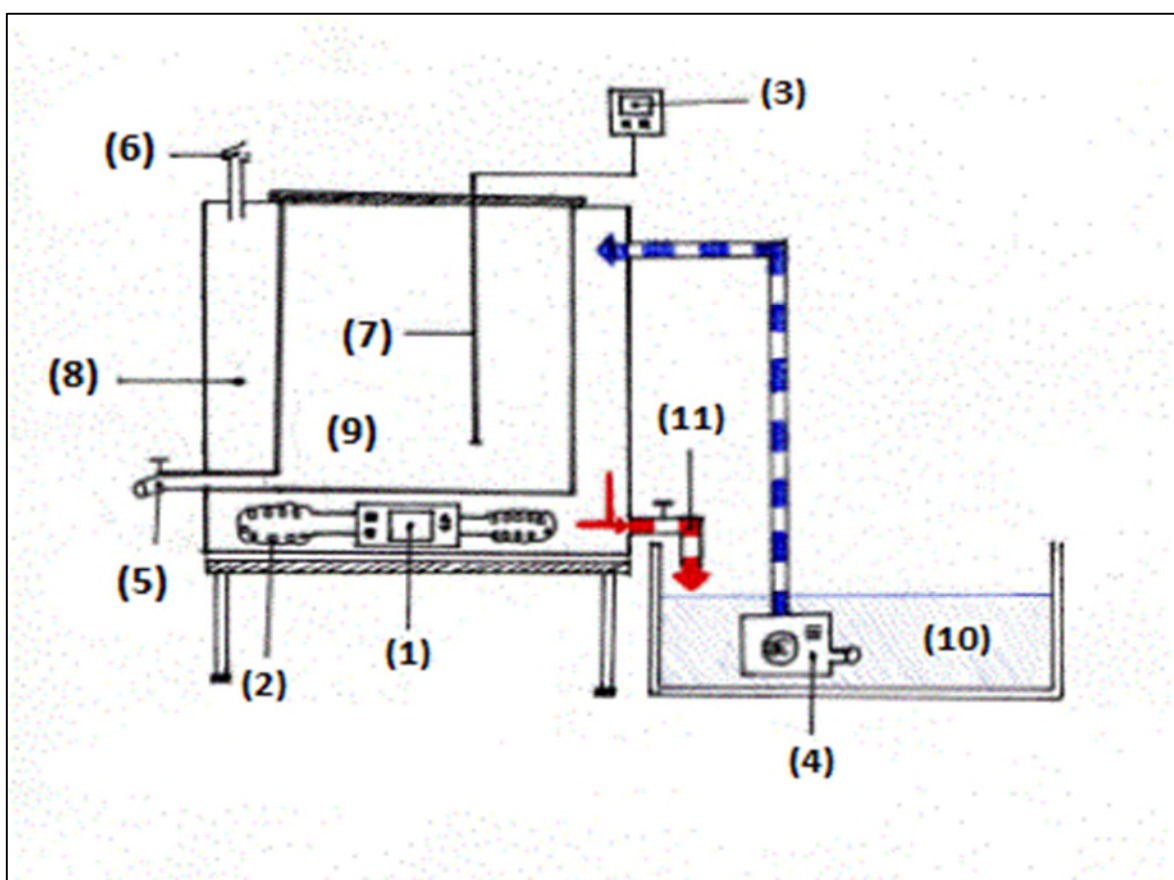


Figure 4 : Schéma de dispositif de pasteurisation.

Avec :

- | | |
|--------------------------------|---|
| (1) : Thermorégulateur. | (6) : Soupape de surpression. |
| (2) : Résistance de chauffage. | (7) : Sonde thermique. |
| (3) : Datenlogger. | (8) : Conteneur du fluide de chauffage. |
| (4) : Pompe hydraulique. | (9) : Conteneur du lait. |
| (5) : Vane bac intérieur. | (10) : Bac de refroidissement. |
| (11) : Vane de vidange. | |

b. Armoire d'affinage (hâloir)

La **figure 5** illustre la conception de l'armoire d'affinage (hâloir) utilisée dans cette étude.

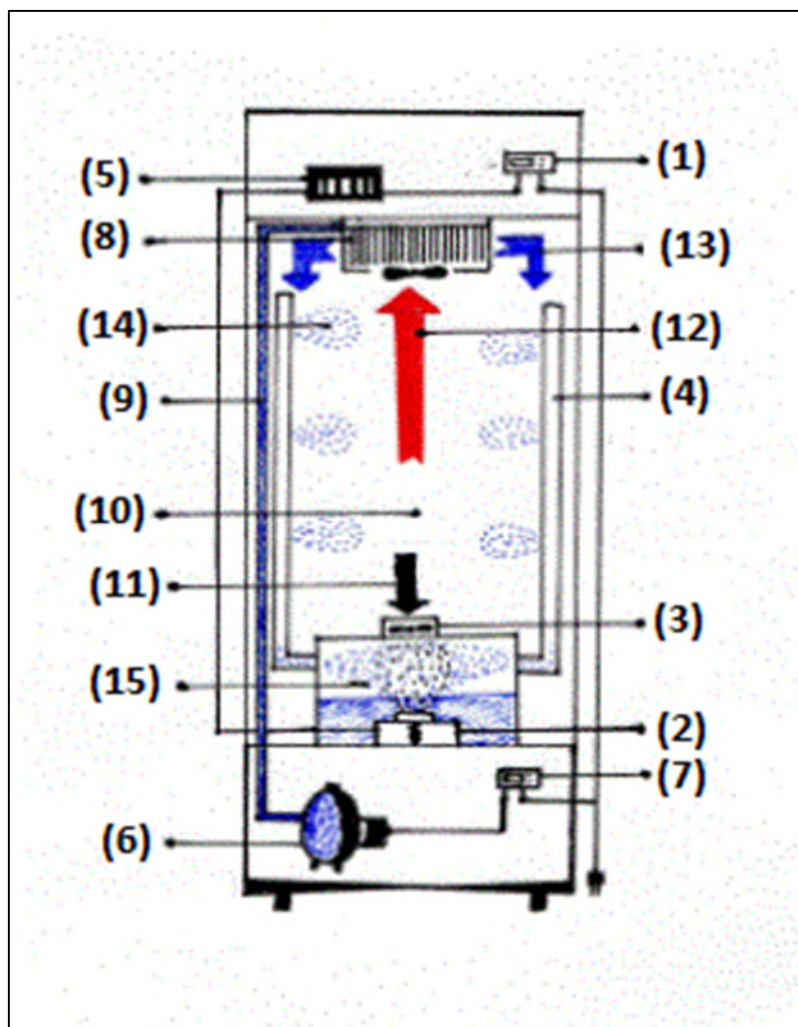


Figure 5 : Schéma de l'armoire d'affinage (hâloir).

Avec :

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| (1) : Hygrorégulateur. | (9) : Conduite de gaz réfrigérant. |
| (2) : Humidificateur ultrasons. | (10) : Ambiance de régulation. |
| (3) : Ventilateur. | (11) : Air déshumidifier. |
| (4) : Canalisation d'aire. | (12) : Air chaud. |
| (5) : Transformateur. | (13) : Air refroidie. |
| (6) : Moteur compresseur. | (14) : Air humidifier. |
| (7) : Thermorégulateur. | (15) : Eau atomisée. |
| (8) : Evaporateur. | |

c. Bacs de coagulation

Des bacs en PVC alimentaire de 10 litres avec couvercle.

d. Tranche caillé

Un fil en inox alimentaire en forme de U.

e. Moules

Des moules en PE alimentaire d'une capacité de 750 ml de forme parallélépipède avec une perforation intercalaire de 1.5 cm entre un trou et un autre.

f. Couteau

Un couteau de tranchage en inox alimentaire à fine lame.

g. Louche

Loche en inox alimentaire qui sert à brasser le coagulum et à remplir les molles avec du caillé.

h. Passoire de pré égouttage

Passoire en PVC alimentaire avec perforation de 2 mm de diamètre.

i. Table d'égouttage

Claie en inox alimentaire posé au-dessous d'un bac pour récupérer le sérum.

III. Produits chimiques**III.1. Détergents**

- Eau de javel.
- Ethanol 70%.
- Acide nitrique.

III.2. Désinfectants

- **DEPTOL MDS** : Détergent désinfectant bactéricide non chlore compatible avec la plupart des matériaux (Voir **Annexe II**).
- **DEPTOL AIR** : Détergent désinfectant destiné à la désinfection des ambiances (Voir **Annexe III**).

III.3. Sels

- **CaCl₂** : auxiliaire de coagulation.
- **NaCl** : pour le salage des fromages.

IV. Enzymes et ferments

IV.1. Enzymes

- **Présure** : Une enzyme coagulante composé de chymosine et de pepsine extraite de l'estomac des jeunes vœux (Voir **Annexe IV**).

IV.2. Ferments

a. Ferments lactiques

- **MA** : Ferment mésophile homofermentaire (Voir **Annexe V**).
- **TA** : Souches thermophiles lentes (Voir **Annexe VI**).

b. Ferments fongiques

- **PC SAM** : Culture d'affinage constituée de spores de *Penicillium candidum*. donne un aspect blanc et stable sous le papier d'emballage, vitesse de croissance et aptitude au vieillissement, activité enzymatique, production d'aromes et inhibition des polluants (Voir **Annexe VII**).
- **PC neige** : Culture d'affinage constituée de spores de *Penicillium candidum*. fournit un aspect de blancheur et une stabilité sous l'emballage, une vitesse de croissance de moules et de stabilité de vieillissement, une activité enzymatique, un développement d'arôme et une inhibition des contaminants (Voir **Annexe VIII**).
- **GEO 17** : Agent important dans l'affinage des fromages, le *Geotrichum* s'installe très rapidement à la surface des fromages facilitant ainsi l'implantation de *Penicillium candidum* (Voir **Annexe IX**).

V. Matière première

Par défaut de moyens de standardisation mécanique du lait, une vache laitière, race brune des Alpes, a été soumise à un régime alimentaire stable et fixe pour avoir un lait avec une composition en matière grasse et en protéines stable.

VI. Méthodes

VI.1. Préparation de la salle et désinfection

Afin d'assurer la qualité hygiénique de notre produit et d'éviter les contaminations microbiologiques, un protocole de désinfection a été adopté comme l'illustre l'**Annexe X**.

-Plan de l'atelier de travail (figure 6).

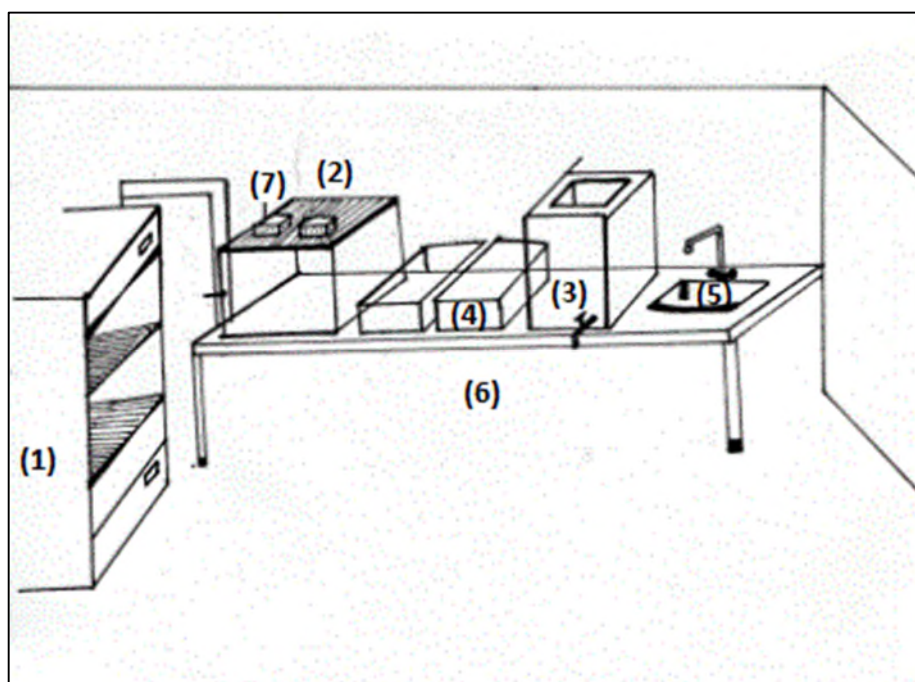


Figure 6 : Plan de l'atelier de travail.

(1) : Armoire d'affinage.

(5) : Levier.

(2) : Table d'égouttage.

(6) : Palliasse de travail.

(3) : Pasteurisateur.

(7) : Moulle.

(4) : Bac de coagulation.

VI.2. Fabrication du fromage

a. Protocole de travail

Afin de réaliser un travail dans les normes et d'éviter les contaminations du produit, un protocole stricte qui vise à respecter les règles d'hygiène et de fixer les modalités du travail a été mis en œuvre (Voir **Annexe XI**).

b. Diagramme de fabrication

La **figure 7** illustre le diagramme de fabrication du camembert suivie lors de la réalisation de ce travail.

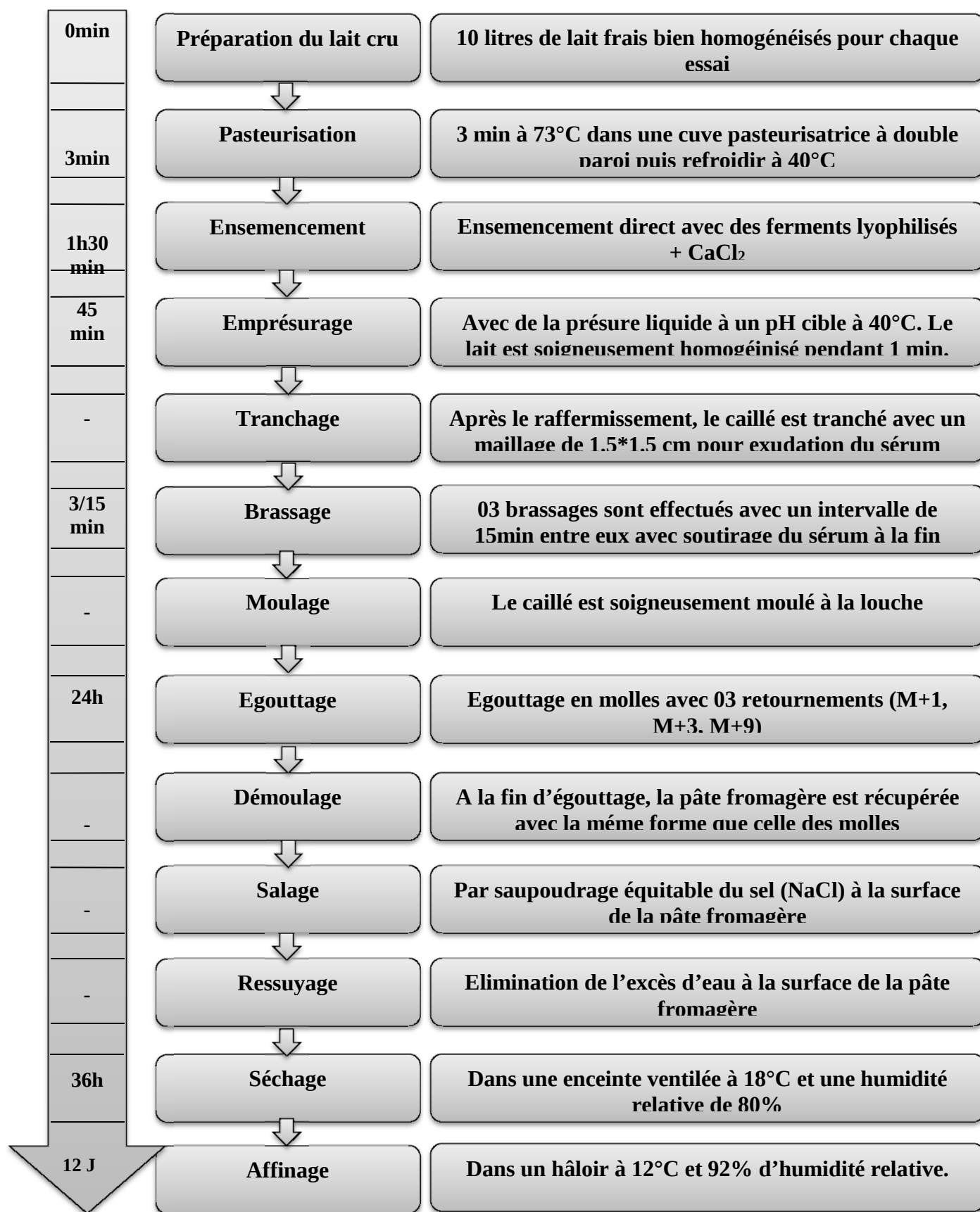


Figure 7: diagramme de fabrication du camembert.

VII. Les analyses réalisées

VII.1. Analyses réalisée sur le lait

a. Avant pasteurisation.

- **EST** : L'extrait sec est la fraction massique restante obtenue après une dessiccation complète de l'échantillon. Il est mesuré à l'aide d'un dessiccateur infrarouge.
- **Acidité** : Titrage de l'acidité par l'hydroxyde de sodium (NaOH) en présence d'un indicateur coloré qui est « la phénolphthaléine ».
- **pH** : Le pH par définition est une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une solution. Il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.
- **Densité** : La densité est déterminée au moyen du thermo-lactodensimètre à une température de 20 °C.

b. Après pasteurisation

A la fin de la pasteurisation un échantillon de lait est semi à des analyses microbiologiques pour la validation de traitement thermique au point de vue microbiologique.

VII.2. Les analyses réalisées sur les fromages

a. Analyse microbiologique

Des analyses microbiologiques sont effectuées pour les fromages comme l'illustre le **tableau III**. Ces analyses ont été réalisées dans un laboratoire d'analyses privé.

Tableau III : Différents germes recherchés pour les fromages à pâte molles.

Germe recherché	Référence	Norme
Coliformes	<u>ISO 4831:2006</u>	10 ²
Coliformes fécaux	<u>ISO 4832:2006</u>	10 ²
<i>Staphylococcus aureus</i>	<u>ISO 6888-1:1999</u>	10
Clostridium Sulfito-réducteurs à 46°C	<u>ISO 15213:2003</u>	1
<i>Salmonella</i>	<u>ISO 6579:2002</u>	Absence
<i>Listeria monocytogène</i>	<u>ISO 11290-2:1998</u>	Absence

b. Les analyses physico-chimiques

- **Peser** : une pesée est réalisée pour tous les fromages produits à chaque formulation pour évaluer le rendement fromagé.
- **Mesure d'Aw** : l'activité de l'eau a été effectuée à l'aide d'un Aw-mètre sur l'ensemble des fromages formulés.

c. Evaluation sensorielle des fromages

L'analyse hédonique consiste à appréhender l'appréciation d'un produit, son acceptabilité, auprès d'un échantillon de consommateurs naïfs. Ceux-ci donnent une évaluation de produits testés en se basant uniquement sur les caractéristiques sensorielles (tactiles, olfactives, gustatives, visuelles et auditives) des produits (**Kergoat, 2010**).

Cette analyse est réalisée sur 120 sujets naïfs auxquels on a présenté 03 échantillons de camembert codés : A et C qui sont des produits de référence, B qui correspond au produit formulé. L'analyse s'est déroulée dans une salle conçue spécialement pour ce genre d'étude. Elle a débuté à 9h30 jusqu'à 15h30.

Chaque sujet reçoit un questionnaire sur lequel il évalue les 03 produits sur les différents critères choisis pour cette analyse et une note de 1 à 9 est attribuée pour chaque critère. Une note de 1 à 9 est aussi attribuée pour la préférence globale.

VIII. Conduite des essais et traitement de données**VIII.1. Plan d'expérience**

L'optimisation de la formule de production d'un fromage à pâte molle type camembert a été étudiée à l'aide d'un plan d'expérience factoriel complet à quatre facteurs et à deux niveaux, avec trois répétitions des points centraux.

Les facteurs modélisant le système sont représentés dans le modèle suivant (**tableau IV**):

Tableau IV: Les différents facteurs modélisant le plan d'expérience.

Code	Acidité d'emprésurage	Dose présure (ml)	Facteur technologique	Auxiliaire de coagulation
- + - -	-1	1	-1	-1
- - - +	-1	-1	-1	1
- - + +	-1	-1	1	1
+ + - -	1	1	-1	-1
- - - -	-1	-1	-1	-1
+ - - +	1	-1	-1	1
+ - + +	1	-1	1	1
+ - - -	1	-1	-1	-1
+ + + -	1	1	1	-1
+ - + -	1	-1	1	-1
- + - +	-1	1	-1	1
+ + - +	1	1	-1	1
0 0 0 0	0	0	0	0
- + + +	-1	1	1	1
- - + -	-1	-1	1	-1
0 0 0 0	0	0	0	0
- + + -	-1	1	1	-1
0 0 0 0	0	0	0	0
+ + + +	1	1	1	1

VIII.2. Modélisation mathématique

Les diverses réponses, analyses de données et interprétations seront réalisées en utilisant le plans d'expériences. La méthodologie des surfaces de réponses va permettre de modéliser les réponses étudiées sous la forme d'une équation polynomiale du premier degré présentée ci-après :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4 + a_{123}x_1x_2x_3 + a_{234}x_2x_3x_4 + a_{134}x_1x_3x_4 + a_{124}x_1x_2x_4 + a_{1234}x_1x_2x_3x_4 + E.$$

Avec:

- $a_0, a_2, a_3, a_4, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{23}, a_{24}, a_{34}, a_{123}, a_{234}, a_{134}, a_{124}$ et a_{1234} : Les coefficients de regression;
- x_1, x_2, x_3 et x_4 : Les facteurs étudiés ;
- y : La réponse mesurée ;
- E : L'erreur.

IX. Analyses statistiques

Les outils statistiques utilisés dans cette investigation sont :

- ✓ JMP, SAS Institute qui a fait l'objet de l'approche des plans d'expérience. JMP (Prononcé « jump ») est un programme informatique de statistiques mis au point par la division JMP de l'institut SAS. Créé dans les années 1980 en exploitant les avancées graphiques du Macintosh, il a ensuite été amélioré et est maintenant disponible sur d'autres systèmes d'exploitation (**Lai, 2009**).
JMP est utilisé dans des applications telles que le Six Sigma, le contrôle de qualité, l'ingénierie, la conception d'expériences et la recherche scientifique.
- ✓ XLSTAT qui a fait l'objet de l'approche sensorielle est un logiciel de statistiques et d'analyse de données développé depuis 1993 qui vient renforcer les capacités analytiques de Microsoft Excel. XLSTAT est un outil statistique modulaire et évolutif basé autour d'un logiciel principal : XLSTAT-Pro. Le fonctionnement de XLSTAT s'appuie sur Microsoft Excel pour la saisie des données et la publication des résultats. Les calculs sont quant à eux entièrement réalisés dans des programmes autonomes (**Addinsoft, 2007**).

Résultats et discussions

I. Caractérisation physicochimique du lait de collecte

En plus des analyses du pH et de l'acidité, le lait de collecte subit un suivi sur l'EST et la densité comme le montre le **tableau V** dans le but de l'évaluation de sa stabilité en matière sèche tout au long de la période d'étude.

Tableau V: valeurs de l'EST et de la densité du lait de collecte pendant la période d'étude.

	Collecte 1	Collecte 2	Collecte 3	Collecte 4	Collecte 5	Collecte 6	Collecte 7	Collecte 8
EST (g/100ml)	12,4	12,8	12,7	12,5	12,7	12,5	12,9	12,5
Densité à 20°C	1,030	1,034	1,035	1,032	1,033	1,033	1,035	1,034

Le tableau montre qu'il y a une stabilité dans les valeurs du l'EST ainsi que celles de la densité toute au long de la période d'étude. Cette stabilité confirme la stabilité du régime suivi par la vache de provenance.

II. Méthodologie expérimentale de production du camembert : construction d'un plan d'expérience

Dans un contexte de la formulation d'un camembert, une méthodologie expérimentale pour la fabrication de ce fromage a été mise en place. La première partie de cette étude est consacrée à l'optimisation des différents étapes de fabrication du camembert, par la recherche de différents facteurs influençant le processus de fabrication à savoir l'acidité d'emprésurage, la dose de présure, le facteur technologique et l'auxiliaire de coagulation et de déterminer les niveaux (bas et haut) de chacun de ces facteurs retenus ou contrôlés par le plan d'expérience. La deuxième approche consiste au choix du plan d'expérience adéquat à l'étude, autrement dit, la méthode d'expérimentation choisie doit faciliter l'interprétation des résultats. Elle doit également minimiser le nombre des essais sans toutefois altérer la qualité. La méthodologie des plans d'expérience repose sur l'élaboration d'une série d'essais expérimentaux ayant pour but d'obtenir divers renseignements (statistique et graphique) sur les effets des paramètres impliqués sur un critère d'optimisation.

II.1. Optimisation des paramètres de formulation

Basé sur les observations des études préliminaires, les gammes de chaque variable indépendante (l'acidité d'emprésurage, la dose de présure, le facteur technologique et l'auxiliaire de coagulation) influençant la formulation ont été choisies.

Les données expérimentales obtenues à partir des 19 formulations sont illustrées dans le **tableau VI**, elles ont été analysées aléatoirement à l'aide d'un plan factoriel complet. Les réponses mesurées sont comparées à celles prédites pour l'estimation de l'écart et l'erreur expérimentale afin de vérifier la validité du modèle choisi.

Tableau VI: Matrice d'expérience en fonction des réponses obtenues.

Code	Temps de prise (min)	Aw	RDT (%)	Acidité	Amertume	Texture
- + - -	13	0,90366	12,61	6	7	7
- - - +	17	0,97266	13,97	7	8	6
- - + +	18	0,97133	14,89	7	6	6
+ + - -	17	0,97433	15,49	7	5	6
- - - -	20	0,97766	15,26	5	5	6
+ - - +	21	0,98366	16,36	6	6	7
+ - + +	22	0,98133	16,48	6	6	6
+ - - -	24	0,99833	17,81	5	6	6
+ + + -	17	0,902	15,05	6	5	7
+ - + -	23	0,98133	16,85	5	6	6
- + - +	11	0,90166	12,61	9	5	7
+ + - +	17	0,91166	15,72	7	5	7
0 0 0 0	12	0,96766	13,87	8	7	8
- + + +	10	0,886	11,88	7	4	6
- - + -	16	0,92366	13,46	6	7	7
0 0 0 0	13	0,97066	13,99	8	8	8
- + + -	13	0,97066	13,99	8	8	8
0 0 0 0	12	0,96633	14,02	9	7	8
+ + + +	16	0,906	15,24	7	6	7

II.2. Analyse des résultats

✓ Analyse de la variance :

L'analyse de la variance (ANOVA) de la formulation d'un camembert, permet de tester l'influence des variables indépendantes sur le modèle étudié et de représenter graphiquement l'importance de chaque facteur sur les réponses étudiées.

L'analyse statistique a montré que les coefficients de détermination (R^2) sont de **0.82, 0.94, 0.95, 0.67, 0.69 et 0.53** pour le temps de prise, l'Aw, le rendement, l'acidité, l'amertume et la texture respectivement. Le coefficient de détermination traduit la contribution du modèle dans la restitution de la variation de la réponse observée. Plus la valeur du coefficient de détermination ajustée est proche de 1, plus la qualité descriptive du modèle est satisfaisante. Par conséquent, le modèle utilisé pour ajuster la réponse (y) est

significatif et adéquat pour représenter les relations entre la réponse et les variables indépendantes.

✓ **Modélisation mathématique**

Les résultats obtenus de la formulation d'un camembert, sont relatés sous la forme des équations polynomiales de premier degré :

-Equation (1)

$$y_{Tp} = 16,368 + 2,5x_1 - 3x_2 - 0,375x_3 - 0,625x_4 + 0,125x_1x_2 + 0,25x_1x_3 + 0,375x_3x_4 - 0,125x_1x_2x_3 - 0,5x_2x_3x_4 - 0,25x_1x_3x_4 + 0,375x_1x_2x_4 + 0,125x_1x_2x_3x_4$$

-Equation (2)

$$y_{Aw} = 0,9487 + 0,0097x_1 - 0,02x_2 - 0,007x_3 - 0,005x_4 - 0,002x_1x_2 - 0,004x_1x_3 - 0,003x_1x_4 + 0,0014x_2x_3 - 0,0093x_2x_4 + 0,004x_3x_4 - 0,008x_1x_2x_3 - 0,003x_2x_3x_4 + 0,005x_1x_3x_4 + 0,003x_1x_2x_4 + 0,001x_1x_2x_3x_4$$

-Equation (3)

$$y_{Rd} = 14,724 + 1,244x_1 - 0,766x_2 - 0,098x_3 - 0,236x_4 + 0,004x_1x_2 - 0,109x_1x_3 + 0,049x_1x_4 + 0,116x_2x_3 - 0,026x_2x_4 + 0,089x_3x_4 - 0,114x_1x_2x_3 - 0,385x_2x_3x_4 + 0,053x_1x_3x_4 + 0,294x_1x_2x_4 + 0,258x_1x_2x_3x_4$$

-Equation (4)

$$y_{Aci} = 6,7368 - 0,4375x_1 + 0,5625x_2 - 0,0625x_3 + 0,5625x_4 - 0,0625x_1x_2 - 0,1875x_1x_3 - 0,0625x_1x_4 - 0,1875x_2x_3 - 0,0625x_2x_4 - 0,1875x_3x_4 - 0,0625x_1x_2x_3 - 0,0625x_2x_3x_4 + 0,4375x_1x_3x_4 + 0,0625x_1x_2x_4 + 0,3125x_1x_2x_3x_4$$

-Equation (5)

$$y_{Ame} = 6,105 - 0,125x_1 - 0,375x_2 - 0,125x_4 + 0,125x_1x_2 + 0,25x_1x_3 + 0,125x_1x_4 - 0,375x_2x_3 - 0,25x_3x_4 + 0,25x_1x_2x_3 + 0,25x_2x_3x_4 + 0,25x_1x_3x_4 + 0,375x_1x_2x_4 - 0,25x_1x_2x_3x_4$$

-Equation (6)

$$y_{tex} = 6,7894 - 0,0625x_1 + 0,3125x_2 + 0,0625x_3 - 0,0625x_4 - 0,0625x_1x_2 - 0,0625x_1x_3 + 0,3125x_1x_4 + 0,0625x_2x_3 - 0,0625x_2x_4 - 0,3125x_3x_4 + 0,1875x_1x_2x_3 - 0,0625x_2x_3x_4 + 0,0625x_1x_3x_4 + 0,0625x_1x_2x_4 + 0,0625x_1x_2x_3x_4$$

✓ Optimisation de la formulation

L'optimisation de la formulation d'un fromage type camembert a été mise en place par le profil de prédiction qui est illustré dans la **figure 8** ci-après :

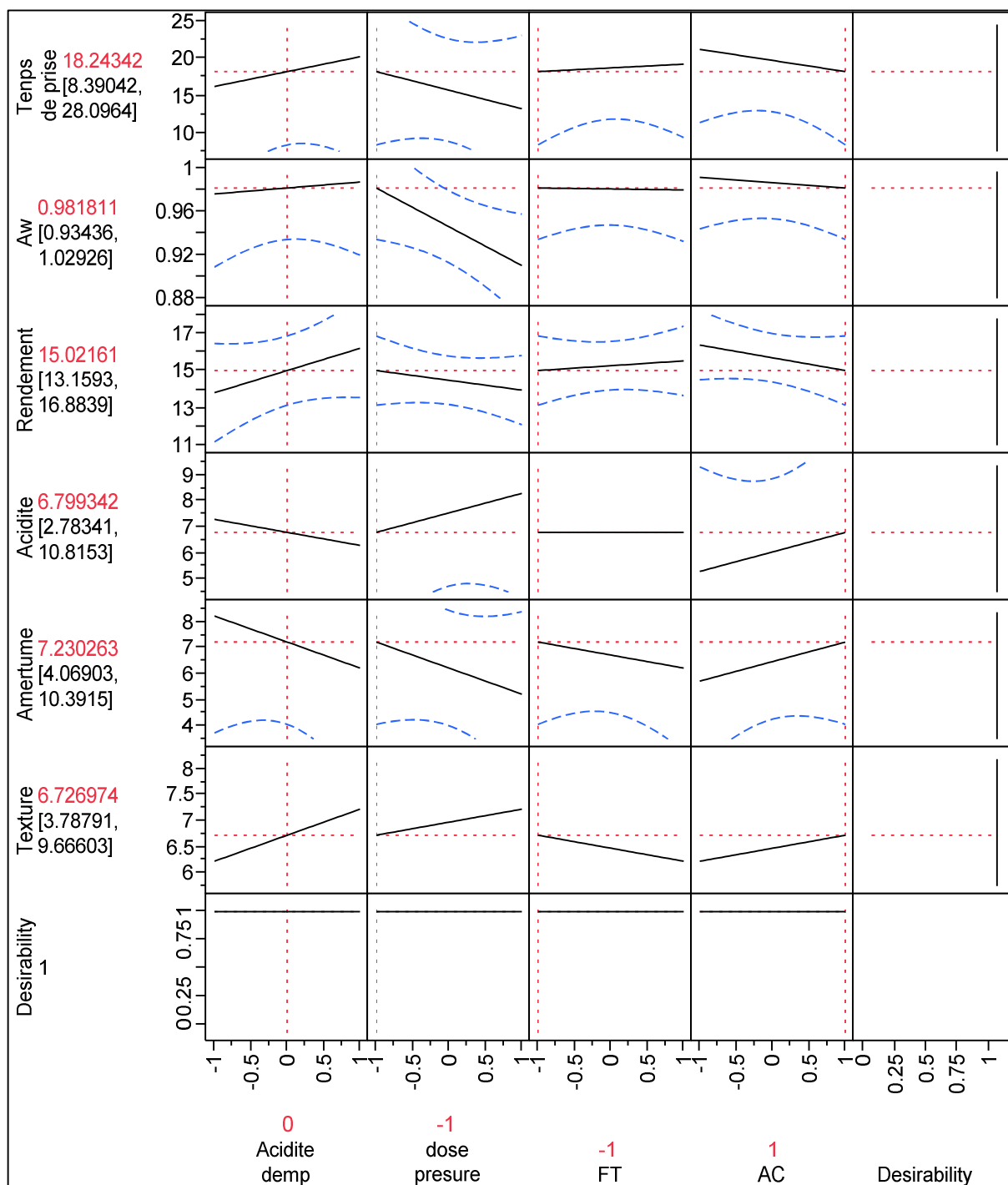


Figure 8 : profil de prédiction de la formulation d'un camembert.

D'après les résultats illustrés dans la figure susvisée précédemment, on constate que la formulation du camembert dépend significativement des facteurs de procédé au niveau de confiance de 95% avec 5% de risque d'erreur. En tâtonnant dans le domaine d'études des facteurs en question, on remarque que la réponse ou bien la grandeur d'intérêt variée positivement ou négativement selon l'influence de chaque paramètre. Cette modélisation a été contrôlée par la désirabilité qui est fixée à 1 comme le montre la **figure 8**. Cette notion de désirabilité est maximisée dans cette étude à un niveau de 100% dans le but de préserver la robustesse du modèle polynomial choisi.

✓ Effet interactionnel entre les paramètres

L'effet interactionnel entre les paramètres contrôlés par ce modèle allant d'une interaction de 2^{ème} ordre jusqu'à l'interaction de 4^{ème} ordre, cet avantage est constaté uniquement dans les plans factoriels de 1^{er} degré, par conséquent, l'effet de 4^{ème} ordre a été exprimé dans les polynômes y_{Tp} , y_{Aw} , y_{Rd} , y_{Aci} , y_{Ame} , y_{Tex} ce qu'explique l'interaction synergique entre l'acidité d'emprésurage, la dose de présure, le facteur technologique et l'auxiliaire de coagulation ($x_1.x_2.x_3.x_4$).

Un résultat notable de la planification expérimentale qui est basé sur l'ordre de **Yatt**, la répétition et contrôle locale, qu'il y ait une absence d'interactions de 4^{ème} ordre au niveau de probabilité $P < 0,05$, ce qui est indispensable d'adapter un plan en étoile complémentaire pour assoir la vérification et la validation du modèle notamment les domaines expérimentaux.

L'analyse statistique du modèle entier, autrement dit, les réponses qui régissent la formulation du camembert montre un effet négatif significatif avec une estimation de **-0,28** qui correspond à une probabilité de $P = 0,0126$ pour la dose de présure sur l' Aw . Concernant les autres paramètres à savoir l'acidité d'emprésurage, le facteur technologique et l'auxiliaire de coagulation, leurs effet linéaire et interactionnel est insignifiant ($P > 0,05$). Il est à noter que l'effet de ces paramètres au niveau 0 (central) montre une influence hautement significative avec une probabilité $P < 0,0001$ sur l' Aw ($y_0 = a_0$).

Le modèle polynomial établir à partir du plan d'expérience montre l'existence d'un effet hautement significatif des facteurs contrôlés au centre du domaine d'étude avec une probabilité de $P = 0,0005$, ce qui est relaté dans l'**équation 1** (tp $a_0 = 16.37$).

L'acidité d'emprésurage et la dose de présure ont un effet linéaire de **1,24** et **-0,77** avec une probabilité de **P = 0.0095** et **P = 0.0350** respectivement sur le rendement fromagé, négligeant l'insignificativité d'autres paramètres, on peut simplifier le modèle mathématique (**équation 3**) comme suit : **$y_{rd} = 14,72 + 1,24 \text{ acidité d'emprésurage} - 0,77 \text{ dose de présure} + E$** sachant que la valeur de **14,72** correspond à l'effet au centre du domaine d'étude (**P < 0,0001**) des facteurs en question.

Il est admet que la dose de présure influence négativement sur le rendement, ce qui est renversé par l'effet de l'acidité d'emprésurage.

Concernant les réponses sensorielles à savoir l'acidité, l'amertume et la texture, elles ne sont pas statistiquement significativement influencées dans le domaine d'étude. Cette remarque débouche sur l'obligation d'appeler un plan additionnel du **2nd** degré.

L'explication technologique de l'absence de l'influence peut être due à l'incrédibilité d'évaluation sensorielle effectuée.

Comme conclusion, il serait intéressant d'élargir la modélisation mathématique en utilisant préalablement un plan de criblage afin d'éliminer certains facteurs et d'introduire d'autres facteurs qui peuvent être significatifs.

III. Analyse hédonique

Cette analyse a été effectuée sur **120** sujets naïfs auxquels on a présenté 03 échantillons différents de camembert : **A**, **B** et **C**. Le **A** et le **C** sont des produits de référence et le **B** correspond au produit formulé.

III.1. Test du plan d'expérience avec XL Stat-MX

Le test du plan d'expérience avec XL Stat-MX est utilisé pour créer un plan d'expériences optimal, ou quasi-optimal, dans le cadre d'expériences visant à modéliser les préférences d'un ensemble de consommateurs ou d'experts pour différents produits (Perinel et al., 2004).

✓ Résultat

Une fois les données brutes des **120** sujets sont rapportées sur une feuille d'Excel, la procédure de génération du plan d'expérience sera lancé directement à partir de la commande XLSTAT-MX/ plan d'expérience pour l'analyse sensorielle, les résultats rapportés dans le **tableau VII** sont obtenus :

Tableau VII : résultats de l'Evaluation du plan.

A-Efficacité	1,000
D-Efficacité	1,000

✓ Discussion

Après la génération du plan d'expérience pour l'analyse sensorielle, nous remarquons que les deux critères A-Efficacité et D-Efficacité sont égaux car toutes les valeurs propres sont égales. Ces résultats indiquent que notre plan est validé et nous permet de mettre en place une étude sensorielle menée auprès de **120** sujets évaluant trois produits.

III.2. Caractérisation des produits

La caractérisation de produit permet d'identifier quels sont les descripteurs qui discriminent le mieux les produits et quelles sont les caractéristiques importantes de ces mêmes produits dans le cadre de l'analyse sensorielle (Husson et al., 2009).

III.2.1. Pouvoir discriminant par descripteur

✓ Résultat

Ce test permet d'afficher les descripteurs ordonnés de celui qui a le plus fort pouvoir discriminant sur les produits à celui qui a le plus faible (**Husson et al., 2009**).

Les résultats du test sont présentés dans la **figure 9** :

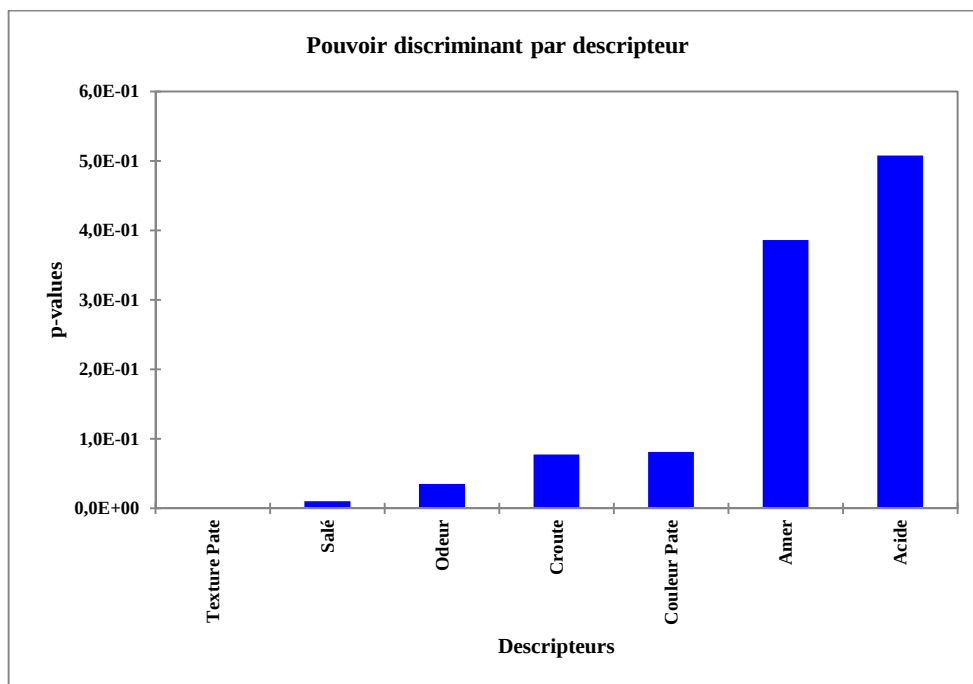


Figure 9 : Pouvoir discriminant par descripteur.

✓ Discussion

Le graphe précédant rassemble les descripteurs ordonnés du plus discriminant au moins discriminant sur les trois échantillons. Il permet de visualiser que la texture de la pâte est le descripteur le plus discriminant. Les p-values associées montrent toutes un effet significatif sur le descripteur. Par contre le descripteur le moins discriminé est l'acidité.

La texture de la pâte, la salinité et l'odeur ont été discriminés. Cela prouve que les experts n'ont pas constaté des divergences entre ces descripteurs pour les trois échantillons.

Les descripteurs croûte, couleur de la pâte, amertume et acidité, n'ont pas été discriminés, ce qui traduit que les experts ont constaté des divergences entre ces descripteurs pour les six échantillons présentés.

III.2.2. Les coefficients des modèles

Ce test a pour but de traiter pour chaque combinaison descripteur-produit, le coefficient, la moyenne estimée, la p-value ainsi qu'un intervalle de confiance sur le coefficient (Naes et Risvik, 1996).

✓ Résultat

Pour chaque produit, un graphique des coefficients associés aux différents descripteurs est affiché comme le montre la **figure 10** :

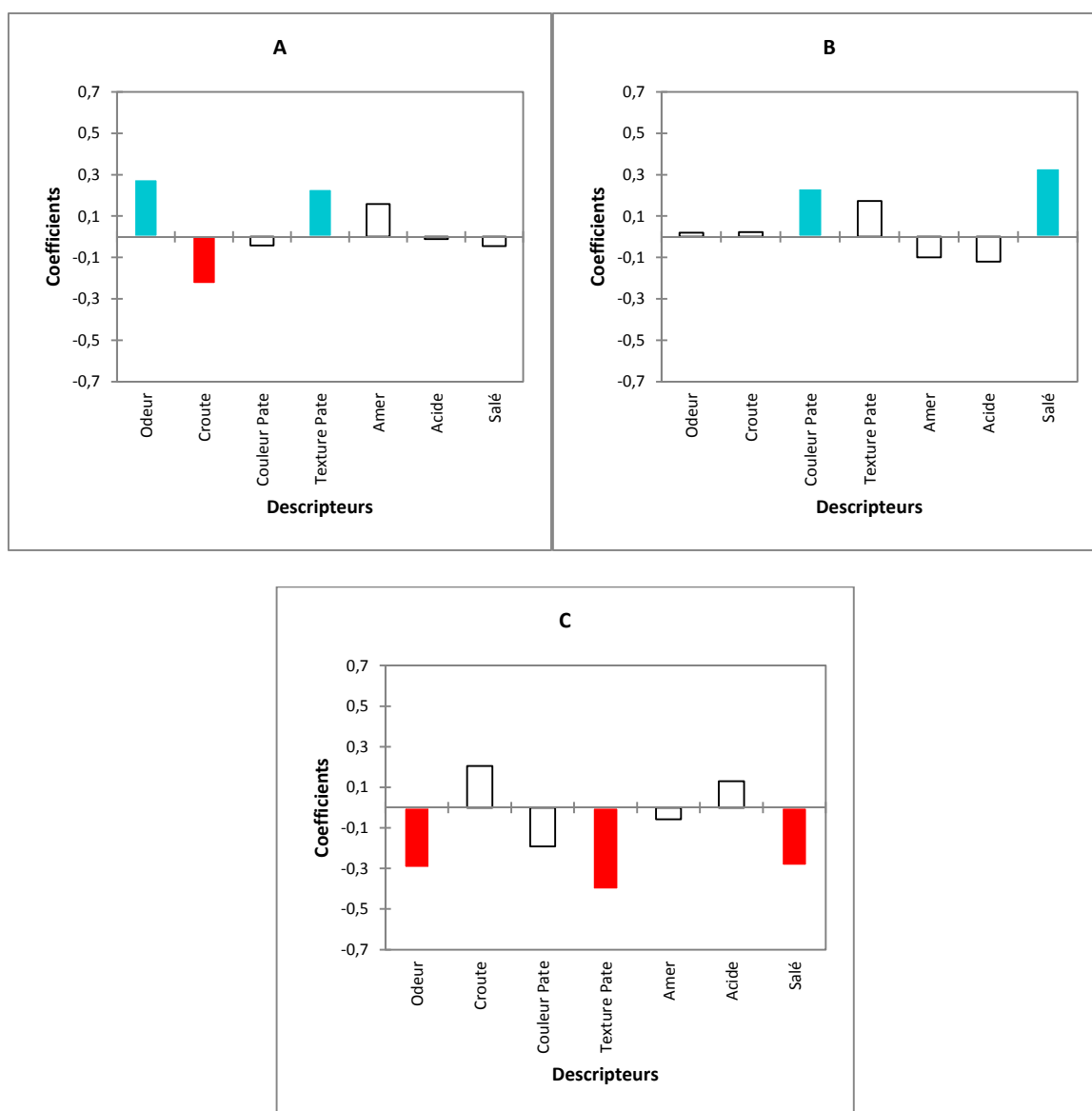


Figure 10 : Coefficient des modèles des 3 échantillons.

✓ **Discussion**

- En bleu, on voit les caractéristiques dont le coefficient est significativement positif ;
- En blanc celles dont le coefficient n'est pas significatif ;
- En rouge, on voit la caractéristique dont le coefficient est significativement négatif.

L'analyse de chaque graphique permet de définir chaque produit :

- ✓ L'échantillon **A** possède une bonne odeur ainsi qu'une bonne texture de la pâte. Par contre, il possède une mauvaise croûte.
- ✓ L'échantillon **B** possède une bonne couleur de la pâte ainsi qu'une bonne salinité.
- ✓ L'échantillon **C** possède une mauvaise odeur, mauvaise texture de la pâte ainsi qu'une mauvaise salinité.

III.2.3. Les moyennes ajustées par produit

Le but de cette action est de définir les moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit (**Lê et Husson, 2008**).

✓ **Résultat**

Le **tableau VIII** correspond aux moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit.

Tableau VIII. Moyennes ajustées par produit.

	Texture Pâte	Odeur	Salé	Couleur Pâte	Amer	Croute	Acide
B	6,675	6,350	6,083	6,900	4,992	6,683	4,742
A	6,733	6,608	5,708	6,625	5,250	6,433	4,850
C	6,100	6,033	5,467	6,475	5,033	6,867	4,992

✓ **Discussion**

Ce tableau permet de faire ressortir les moyennes lorsque l'on croise les différents produits et les caractéristiques. On voit donc en bleu les moyennes qui sont

significativement plus grandes que la moyenne globale et en rouge celles qui sont significativement plus petites que la moyenne globale. Le mélange **B** présente une très bonne couleur de la pâte, une très bonne texture de la pâte, une bonne odeur, ainsi qu'une bonne salinité par opposition à l'échantillon C.

III.3. Analyse des pénalités

L'analyse des pénalités est une méthode utilisée en analyse sensorielle pour identifier des axes d'améliorations possibles pour des produits, suite à des enquêtes auprès de consommateurs ou d'experts (Popper et al., 2004).

✓ Résultat

Pour chaque produit un graphique de pénalités est affiché comme le montre les figures suivantes :

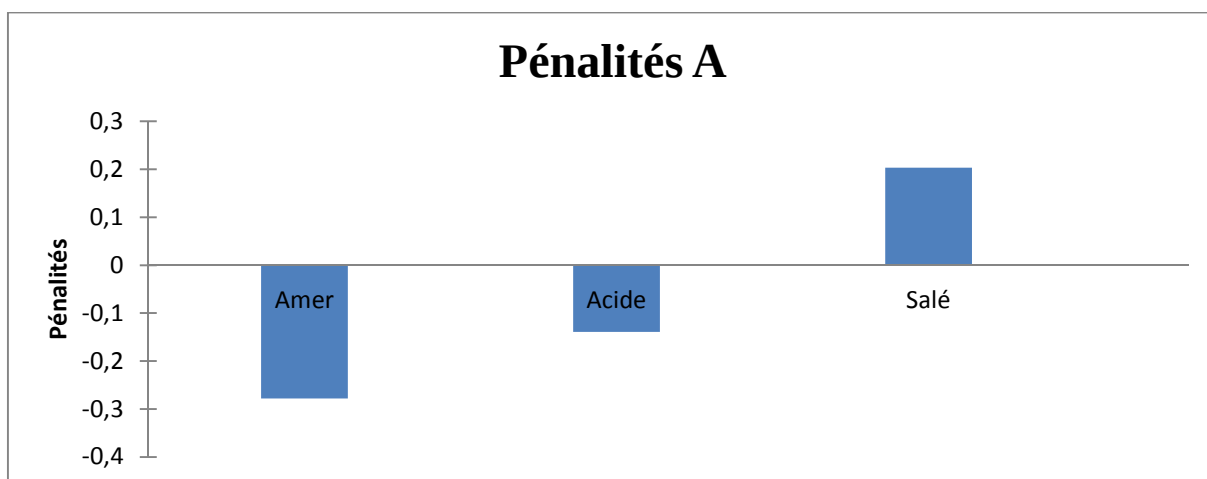


Figure 11: Pénalités de l'échantillon A.

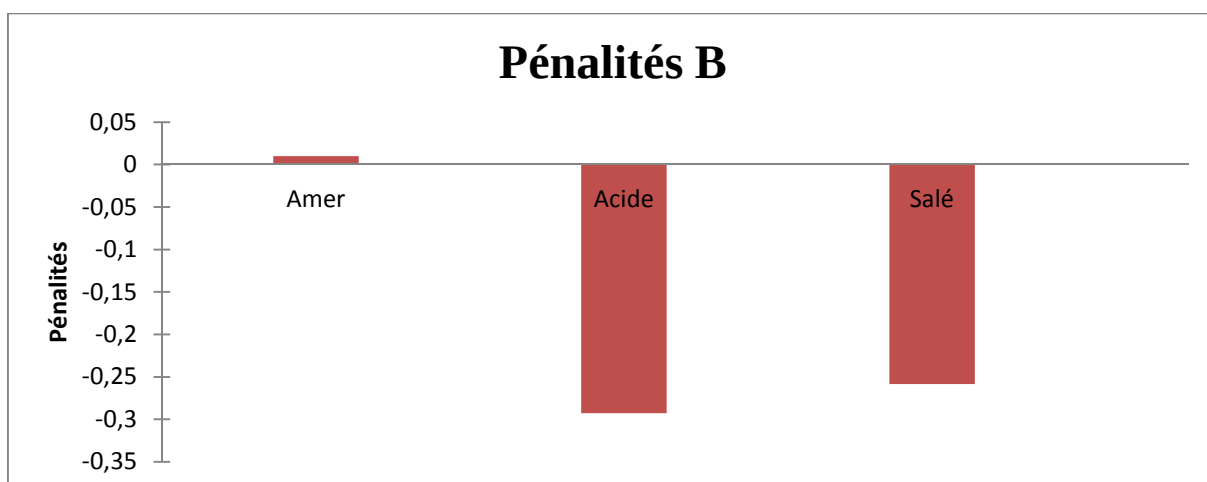


Figure 12 : Pénalités de l'échantillon B.

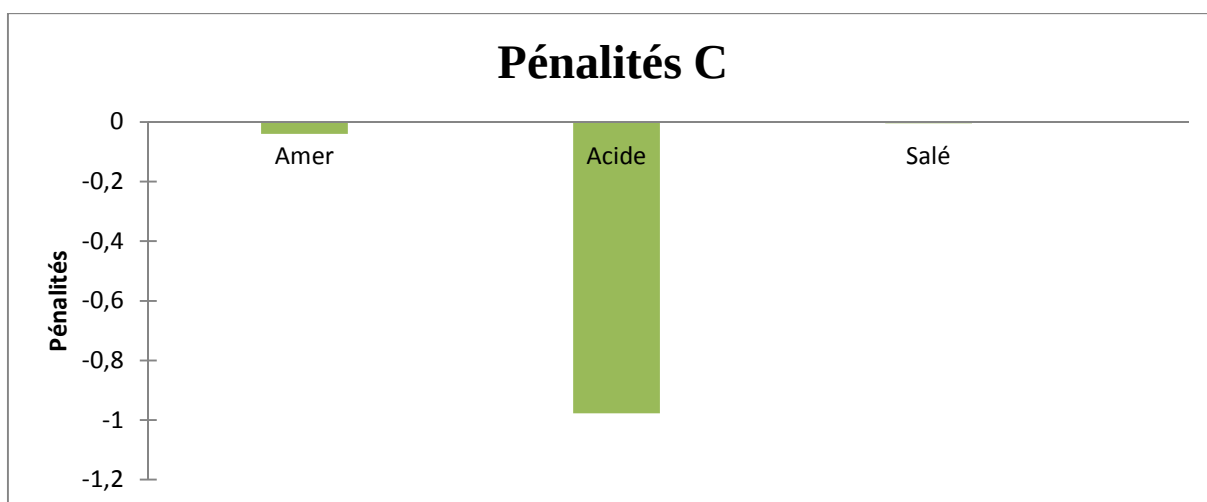


Figure 13 : Pénalités de l'échantillon C.

✓ **Discussion**

Ces graphiques de synthèse représentent les pénalités pour chaque produit. La pénalité est une différence pondérée entre les moyennes (préférence moyenne pour JAR - préférence moyenne pour les deux autres niveaux confondus). Elle nous montre combien de points de préférence sont perdus lorsque le produit ne correspond pas à l'attente du consommateur. Lorsque la différence n'est pas significative les barres sont affichées en vert. (Popper et al., 2004).

- ✓ Pour l'échantillon **A**, les deux descripteurs acide et amer sont pénalisés, selon un nombre de points négatifs. Cela veut dire que la différence est significative entre la moyenne de la catégorie JAR et la moyenne des autres catégories JAR.
- ✓ Pour l'échantillon **B**, les deux descripteurs acide et salé sont pénalisés, selon un nombre de points négatifs. Cela veut dire que la différence est significative entre la moyenne de la catégorie JAR et la moyenne des autres catégories JAR.
- ✓ Pour l'échantillon **C**, ses pénalités se localisent au niveau des descripteurs acide et amer, selon un nombre de points négatifs. Cela veut dire que la différence est significative entre la moyenne de la catégorie JAR et la moyenne des autres catégories JAR.

III.4. Analyse des données des préférences des consommateurs

La **figure 14** représente un graphe indiquant la préférence générale des **120** sujets vis-à-vis les trois échantillons de l'analyse.

✓ **Résultat**

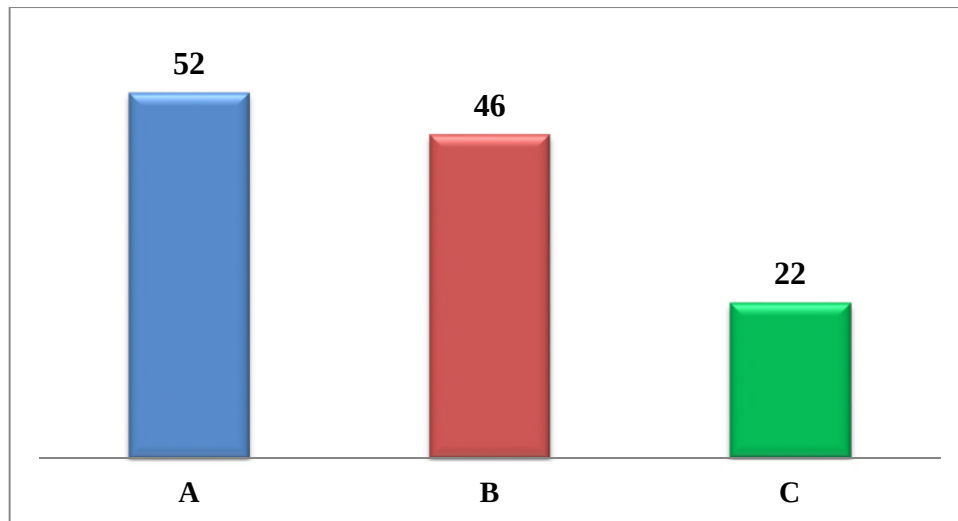


Figure 14 : préférence générale des consommateurs.

✓ **Discussion**

A partir du graphe on remarque que parmi les **120** sujets qui ont participé à l'analyse hédonique, **52** d'entre eux préfèrent l'échantillon **A**, **46** préfèrent l'échantillon **B** et **22** préfèrent le **C**.

Conclusion
Concusion

Conclusion et perspectives

Notre investigation s'est portée sur une modélisation d'un système d'élaboration d'un fromage modèle (fromage à pâte molle type « camembert ») dans le but d'optimiser la formule de production avec un plan d'expérience factoriel complet à 04 facteurs qui sont :

- ✓ Acidité d'emprésurage ;
- ✓ Dose de présure ;
- ✓ Facteur de coagulation ;
- ✓ Auxiliaire de coagulation.

La variation de ces facteurs conduit à une diversité dans les résultats obtenus pour les 06 réponses choisies pour cette étude. Les 06 réponses en question sont :

- ✓ Temps de prise ;
- ✓ Activité de l'eau (A_w);
- ✓ Rendement ;
- ✓ Acidité ;
- ✓ Amertume ;
- ✓ Texture.

La modélisation mathématique a permis d'obtenir 06 formules de prédiction de ces différentes réponses du modèle.

Les conditions expérimentales qui permettent d'obtenir la formule optimale sont :

- ✓ Le niveau bas **(-1)** pour la dose de présure et le facteur technologique ;
- ✓ Le niveau central **(0)** pour l'acidité d'emprésurage ;
- ✓ Le niveau haut **(+1)** pour l'auxiliaire de coagulation.

Toutefois, comme complément à la présente étude, nous suggérons :

- ✓ Selon les résultats d'ANOVA du modèle obtenu, un plan additionnel (Augment Design) de domaine de variation des facteurs influençant le système est nécessaire dans le but de confirmer et de valider la formule optimale ;
- ✓ La formation d'un panel de jurys experts spécialisés dans l'analyse sensorielle des fromages afin d'obtenir des réponses sensorielles statistiquement représentables et exploitables ;

On termine par cette citation des auteurs : « *La transformation fromagère ce n'est pas de l'alchimie, ce n'est que des réactions et des modélisations de biochimie* ».

Références
RÉFÉRENCES

bibliographiques
BIBLIOGRAPHIQUES

Synthèse bibliographique



Addinsoft. (2007). XLSTAT, Analyse de données et statistique avec Mx Excel. Addinsoft, NY, USA.

Aiyar KR et Wallace GM. 18^{ème} congrès International Lait, Sydney, 1970, 1F, p.49.

Aubry J M, Schorsch G. (1999). Formulation, présentation générale. Éd, Techniques de l'Ingénieur, Paris, p.17.



Bertrand F. (1988). Le fromage grand œuvre des microbes .Revue générale de froid, 78, p.519-527.

Box George EP, Hunter WG et Hunter JS. (2005). «Statistics for Experimenters»,2^{ème} édition. John Wiley and Sons. New-York, p.633.

Brule G, Lenoir J et Remeuf F. (1997). La micelle de caséine et la coagulation du lait. *In* Le fromage. Eck, A. et Gillis, J.-C. Lavoisier, Technique et Documentation. Paris. p.7-39.



Eck A. (1987). Le fromage. Techniques et Documentation, Lavoisier, 2^{ème} Edition, Paris.



FAO. (1995). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Rome, p.262.



Garnier J, Mocquit G, Ribadeau-Dumas B. et Maubois JL. (1968). Ann. Nutrition et Alimentation, p.495-552.

Goupy J. (2006). « Les plans d'expériences ». Revue MODULAD N° 34. 2006. p.74-78.



Henri G, Benedicte CC, Jean-Yves G, Pierre S. (2001). Procédés de transformation fromagère (partie 2). Éd, Techniques de l'Ingénieur, Paris, 9.p.

Husson F et Pagès J. (2009). SensoMiner dans Evaluation sensorielle. Manuel méthodologique, 3^{ème} éd. Lavoisier, vol.23, p.16.



Kergoat M. (2010). Approche psychosociale et différentielle des évaluations sensorielles : Intensité affective et préférences tactiles. Université Paris Ouest Nanterre La Défense. Département de Psychologie EA – 4386 Laboratoire Parisien de Psychologie Sociale. Ecole Doctorale 139 - Connaissance, Langage, Modélisation. p.33.

Kirchmeier O. (1961). « Milchwissenschaft », 16 (3), p.137-140.



Lai E. (2009). « *Billionaire SAS co-founder keeps on coding* ».

Lê S et Husson F. (2008). SensoMiner: a package for sensory data analysis. Journal of Sensory Studies. 23 (1), p.14-25.

Lenoir J, Lambert G, Schmidt JL et Tourneur C. (1983). La maîtrise du bioréacteur fromage. Biofutur 41, p.23-50.



Mahaut M, Jeantet R et Brule G. (2000). Initiation à la technologie fromagère. Ed, Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, p.25-27.

Mietton B. (1994). Transformation du lait en fromage. In : Bactéries lactiques II. Edition des industries Agricoles et Alimentaires. Institut National Agronomique, Alger.

Mietton B. (1995). Incidence de la composition des fromages au démoulage et des paramètres d'environnement sur l'activité des agents de l'affinage. Revue des ENIL, 189, p.19-27.



Naes T et Risvik E. (1996). Multivariate Analysis of Data in Sensory Science. ELSEVIER Science, Amsterdam.



Payne RL et Morrison D. (1999). The importance of knowing the affective meaning of job demands revisited. Work and stress, 13, p.208-288.

Périnel E et Pagès J. (2004). Optimal nested cross-over designs in sensory analysis. Food Quality and Preference, 15(5), p.439-446.

Popper P, Schlich P, Delwiche J, Meullenet JF, Xion R, Moskowitz H, Lesniasukas RO, Carr TB, Eberhardt K, Rossi F, Vigneau E, Qannari P et Markato C. (2004). Workshop summary: Data Analysis workshop: getting the most out of just-about-right data, Food Quality and Preference, vol.15, p.891-899.



Ramet JP. (1976). Thèse Doctorat. Ingénieur. Université Nancy I, p.159.



Sabre R. (2006). Planification expérimentale en agroalimentaire. Ed, Technique de l'ingénieur, Paris, p.4.

Simal C. (2001). Water and salt diffusion during cheese ripening: effect of the external and internal resistances to mass transfer. Journal of food engineering, Vol 48.

Stoll W. (1966). University of Minnesota, Food Technology, p.181.



Veisseyre R. (1975). Technologie du lait. Ed, La maison rustique, Paris, p.508.

Annexes

Annexes

Annexe I : Appareillage utilisé pour la fabrication du camembert.

Appareillages	Références	Principe
pH mètre	EXTECH instruments (EC 500)	Le pH par définition est une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une solution.
Balance de précision	RADWAG.WAS 600/C/2	Une balance à peser à grande précision.
Aw mètre	ROTRONIC HYGROPALM AW	Il accélère la mesure d'activité de l'eau et fournit un résultat en en général 5 minutes. Quand les états de température sont stables (tous les deux au produit et à la sonde), la mesure obtenue avec cet appareil est généralement dans le ± 0.005 a_w de la mesure qui serait obtenue en attendant la stabilisation du produit et de la sonde.
Datenlogger	Testo 175T3	l'enregistreur de température avec ses deux raccords pour sondes thermocouples externes convient parfaitement lorsque vous souhaitez enregistrer la température à deux endroits différents en parallèle. Les valeurs de mesures sont enregistrées en toute sécurité dans l'enregistreur de température et sont disponibles pour être évaluées et documentées ultérieurement.
Bec bunsen		Le bec Bunsen se présente sous la forme d'une cheminée reliée à une arrivée latérale de gaz combustible. Une virole

	—	permet de varier l'arrivée de l'air par des orifices latéraux afin de régler l'intensité et la chaleur de la flamme.
Thermo-lactodensimètre	Quevenne 15-40	On verse 250 ml de lait cru à 20 °C dans un tube en verre, puis on introduit le lactodensimètre et on le laisse flotter jusqu'à stabilité.
Dessiccateur infrarouge	DENVER instrument IR – 100	L'extrait sec est mesuré au moyen d'un dessiccateur, il est composé d'un système de chauffage avec quatre lampes à rayonnement Infrarouge. La détermination de l'extrait sec est basée sur la dessiccation d'un échantillon qui est proportionnelle à sa surface d'étalement.
Dispositif d'acidité titrable	—	Titrage de l'acidité par l'hydroxyde de sodium (NaOH) en présence d'un indicateur coloré qui est « la phénolphthaléine ».

Annexe II : Fiche technique DEPTAL MDS. <http://www.hypred.fr>

-Caractéristiques physico-chimiques :

Aspect	Liquide limpide
Couleur	Incolore
Odeur	Caractéristique
PH pur	13±0,3
PH à 10g/l	0,9±0,5
Masse volumique	1,05±0,01 g/cm ³
Point de gel	0 °C
Solubilité dans l'eau	Soluble dans l'eau en toutes proportions

-Propriétés :

Détergent moyennement alcalin.

Moussant.

Fortement mouillant.

Séquestrant.

Désinfectant.

-Application :

Détergent désinfectant bactéricide.

Non chlore compatible avec la plupart des matériaux.

-Mode d'emploi :

DEPTAL MDS est un nettoyant désinfectant bactéricide.

Utilisation : TOUTES SURFACES.

Concentration : 3 % (30 ml de DEPTAL MDS pour 1 litre d'eau).

Température : >= 20 °C.

Temps de contact : >=30 min.

Séquence standard d'utilisation :

Rinçage à l'eau.

Application solution DEPTAL MDS en mousse.

Rinçage final à l'eau potable en haute pression.

Annexe III : Fiche technique DEPTAL AIR. <http://www.hypred.fr>

-Caractéristiques physico-chimiques :

Aspect	Liquide limpide
Couleur	Incolore
PH pur	6±0,5
Masse volumique	1,01±0,02 g/cm ³
Point de gel :	0 °C

-Propriétés :

Large spectre d'activité.

Absence de formaldéhyde.

Non corrosif.

-Application :

DEPTIL AIR s'utilise par thermo nébulisation (procédé FOG'AIR).

-Mode d'emploi :

- Concentration bactéricide, levuricide et fongicide : 10,7 ml de produit pur par m³ de locaux.
- Température : Ambiante.
- Temps de contact : 3 heures.

Séquence standard d'utilisation :

Nettoyage et rinçage préalables complets des surfaces.

Application de DEPTIL AIR par thermo nébulisation.

Rinçage obligatoire à l'eau potable des surfaces en contact avec les denrées alimentaires.

Un délai de 3 à 4 heures pour la reprise d'activité après la désinfection est acceptable en présence d'un système fiable de renouvellement d'air. La reprise d'activité en toute sécurité s'effectue environ 8 heures après la désinfection.

Annexe IV : Fiche technique EXTRAIT
PRESURE 1/10000 1l
www.danisco.com

Description

Extrait de présure animale.

Conseils d'utilisation

Les conditions d'utilisation dépendent de la technologie utilisée et des caractéristiques du produit fini recherché. L'action de la présure dans la fabrication de fromage est double.

- Hydrolyse de la caséine kappa ce qui déclenche la coagulation du lait.
- Activité protéolytique durant l'affinage du fromage.

A titre indicatif, sont données ci-après quelques informations sur les doses moyennes rencontrées pour 100 litres de lait :

Fromage frais lactique	300-900 IMCU
Caillé affiné lactique	1000-1800 IMCU
Pâte molle	2600-3300 IMCU
Pâte molle stabilisée,	3600-5200 IMCU
Pâte pressée non cuite	
Pâte pressée cuite	2900-5200 IMCU
Cheddar et pâtes molles italiennes	5100-5900 IMCU

Composition

Extrait liquide obtenu à partir de caillettes de jeunes bovidés,

Chlorure de sodium

Conservateurs :

Benzoate de sodium (E211).

Ester éthylique du parahydrobenzoate de sodium (E215).

Ester méthylique du parahydrobenzoate de sodium (E219).

Spécifications physiques/chimiques

• **Propriétés physiques :**

-PH à 20°C (AFNOR standard NF T01.013) 5.45-5.75

-Densité à 20°C (méthode Interne) 1.13-1.14

-Benzoate de sodium (E211)(H.P.L.C) $\leq 0.9\%$

-Ester éthylique (E215) et ester méthylique (E219) du parahydrobenzoate de sodium (H.P.L.C) $\leq 0.1\%$

• **Normes biochimiques :**

-Activité coagulante 139-152 IMCU/ml (IDF 157A/1997)

-Taux de Chymosine (IDF 110B/1997) 80% +/- 5%

-Taux de pepsine (IDF 110B/1997) 20% +/- 5%

Concentration en chymosine active $\geq 520\text{mg/l}$

Ratio chymosine active/pepsine active ≥ 1.38

Annexe V : Fiche technique MA 14 LYO
50 DCU
CHOOZIT™ Cheese Cultures
www.danisco.com

Description

Ferment lactique lyophilisé concentré pour l'ensemencement direct du lait et des bases lactées.

Dosages d'utilisation

Produit Dose

Fromage à pâte molle	6.25 DCU/100l
Emmental	6.25 DCU/100l
Raclette, Fontine	6.25 DCU/100l
Saint Paulin	6.25 DCU/100l
Tomme, Comté	6.25 DCU/100l
Fromage frais	3.75-6.25 DCU/100l
Tvarog	4-6 DCU/100l
Type quark	4-6 DCU/100l
Crème acide	4-6 DCU/100l

Les doses d'ensemencement préconisées sont données à titre indicatif. Des ferments supplémentaires peuvent être rajoutés en fonction de la technologie, du taux de matières grasses et des caractéristiques produits recherchées.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Conseils d'utilisation

Conserver à une température < 4°C dans un endroit sec. Lorsque le produit est conservé à une température négative, laisser le sachet pendant 30 à 60 min, à température ambiante, avant de l'ouvrir. Dans le cas contraire, les propriétés de la culture en seront affectées. Prolonger

l'exposition à température ambiante diminuera également les performances.

Vérifier avant utilisation que la culture utilisée et sous forme de poudre. Ajouter directement au lait de fabrication dès que les pâtes d'agitation de la cuve sont recouvertes de lait. Eviter la formation de mousse et d'aire dans le lait.

- **Recommandations importantes :**

Si le produit forme une masse compacte, il doit être mis au rebut. Afin de garder la contamination bactériophagique sous contrôle, s'assurer que l'environnement et les équipements soient nettoyés avec des produits appropriés, à intervalles réguliers.

Supprimer tout système qui pourrait recycler une partie du produit fini au début de la chaîne de fabrication afin de limiter la propagation phagique.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Composition

Lactococcus lactis subsp.lactis

Lactococcus lactis subsp.cremoris

Support :

Saccharose

Maltodextrines

Propriétés

-Ferment mésophile homofermentaire.

-Ensemencement direct.

-Activité standardisée.

Annexe VI : Fiche technique TA 54
LYO 50 DCU
CHOOZIT™ Cheese Cultures

www.danisco.com

Description

Ferment lactique lyophilisé concentré pour l'ensemencement direct du lait et des bases lactées.

Dosages d'utilisation

Produit	Dose
Fromage à pâte molle	5-10 DCU/100l
Fromage à pâte demi dure	1.25-5 DCU/100l
Lait	4-6 DCU/100l
Type quark	4-6 DCU/100l
Crème acide	4-6 DCU/100l

Les doses d'ensemencement préconisées sont données à titre indicatif. Des ferments supplémentaires peuvent être rajoutés en fonction de la technologie, du taux de matières grasses et des caractéristiques produits recherchées.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Conseils d'utilisation

Conserver à une température < 4°C dans un endroit sec. Lorsque le produit est conservé à une température négative, laisser le sachet pendant 30 à 60 min, à température ambiante, avant de l'ouvrir. Dans le cas contraire, les propriétés de la culture en seront affectées. Prolonger l'exposition à température ambiante diminuera également les performances. Vérifier avant utilisation que la culture utilisée est sous forme de poudre. Ajouter directement au lait de fabrication dès que

les pâtes d'agitation de la cuve sont recouvertes de lait. Eviter la formation de mousse et d'aire dans le lait.

- **Recommandations importantes :**

Si le produit forme une masse compacte, il doit être mis au rebut. Afin de garder la contamination bactériophagique sous contrôle, s'assurer que l'environnement et les équipements soient nettoyés avec des produits appropriés, à intervalles réguliers.

Supprimer tout système qui pourrait recycler une partie du produit fini au début de la chaîne de fabrication afin de limiter la propagation phagique.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Composition

Streptococcus thermophilus.

Propriétés

- Souches thermophiles lentes.
- Ensemencement direct.

Une rotation phagique est disponible sur demande.

Annexe VII : Fiche technique PC SAM3
LYO D
CHOOZIT™ Cheese Cultures
www.danisco.com

Description

Culture d'affinage constituée de spores de *Penicillium candidum*.

Penicillium candidum est le nom courant du *Penicillium camemberti*.

Dosages d'utilisation

Produit	Dose
Camembert	3-5 doses/1000l
Brie à pate stabilisée	5-8 doses/1000l
10 doses / 1000 litres de lait comme protection anti-mucor.	

Les doses d'ensemencement préconisées sont données à titre indicatif. Des ferments auxiliaires peuvent être ajoutés en fonction de la technologie, du taux de matières grasses et des caractéristiques produits recherchées.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Conseils d'utilisation

Ensemencement direct du lait de fromagerie pour un usage en pulvérisation, dilué juste avant l'utilisation : réhydraté la poudre lyophilisée sur une tryptone enrichie avant utilisation (sel + tryptone + glucose pendant 16h à 4°C).

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Composition

Penicillium candidum.

Propriétés

- Souche anti-mucor.
- Densité et hauteur moyenne.
- Croissance très rapide.
- Protéolyse et lipolyse adaptées pour cette croissance rapide.
- PC SAM3 LYO 2 D convient à tout type de substrats, même fortement minéralisés. Il est particulièrement adapté pour lutter contre les pollutions par mucorales.
- PC SAM3 LYO 2 D donne un aspect blanc et stable sous le papier d'emballage. Vitesse de croissance et aptitude au vieillissement, activité enzymatique, production d'arômes et inhibition des polluants.

Annexe VIII : Fiche technique PC
NEIGE LYO 10 D
CHOOZIT™ Cheese Cultures
www.danisco.com

Description

Maturation/ripening culture made up of *Penicillium candidum* spores.

Penicillium candidum is the ordinary name of *Penicillium camemberti*.

Usage levels.

Product	Dose
Camembert	3-5 doses/1000l of milk
Stabilized Brie	5-8 doses/1000l of milk

The quantities of inoculation indicated should be considered as guidelines. Supplement cultures may be required depending on technology, fat content and product properties desired.

We do not accept any liability in case of undue application.

Directions for use

Direct inoculation of cheese milk.

Dilution for use in spray just before use: rehydrate the freeze-dried powder on the enriched tryptone medium before use (sodium chloride, tryptone, glucose for 16h at 4°C).

We do not accept any liability in case of undue application.

Composition

Penicillium candidum.

Properties

-Medium height and important density,

-Rapid growth,

-Quite proteolytic and medium lipolysis.

- PC NEIGE LYO 10 D can be used in all type of substrates.

- PC NEIGE LYO 10 D provides a whiteness appearance and stability beneath the wrapper, speed of moulds growth and ageing stability, enzymatic activity, aroma development and inhibition of contaminants.

**Annexe IX : Fiche technique GEO 17
LYO 10 D
CHOOZIT™ Cheese Cultures**

www.danisco.com

Description

Agent important dans l'affinage des fromages, le *Geotrichum* s'installe très rapidement à la surface des fromages (premier) facilitant ainsi (avec les levures) l'implantation de *Penicillium candidum*.

Dosages d'utilisation

Produit

Type Brie 2 doses/1000l

Type Camembert 2 doses/1000l

Fromage ultra filtré 1-2 doses/1000l

Fromage à pâte persillée 1-2 doses/1000l

Croute fleurie

Les doses d'ensemencement préconisées sont données à titre indicatif. Des ferments supplémentaires peuvent être rajoutés en fonction de la technologie, du taux de matières grasses et des caractéristiques produits recherchées.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Conseils d'utilisation

L'incorporation dans le lait favorise l'activité du *Géotrichum*. L'apport dans le lait peut être fait sans réhydratation du lyophilisat. Les *Géotrichum* lyophilisés doivent être réactivés (16H à +4°C) avant emploi en pulvérisation ou en solution de soins en cave.

Notre responsabilité ne serait être engagée dans le cas d'une utilisation autre que celle recommandée.

Composition

Geotrichum candidum

Propriétés

GEO 17 LYO 10 D : forme moisissure.

-Il est préférable d'utiliser GEO 17 LYO 10 D en association avec *Penicillium candidum*.

-Une des manières de réduire l'épaisseur de la croûte du fromage est d'augmenter le dosage de GEO 17 LYO 10 D au détriment de celui de *Penicillium candidum*.

Rapide désacidification du caillé par consommation de l'acide lactique grâce à l'implantation en 24-48H d'une flore sélectionnée facilement maîtrisable. L'activité enzymatique est faible par rapport au *Penicillium candidum*, mais ayant un rôle considérable sur l'arôme et le goût du fromage. Favorise l'implantation des Corynébactéries par neutralisation du PH et par l'introduction de facteurs de croissance. Améliore l'aspect final du fromage : protéolyse limitée (moins d'amoniac) et contrôle des polluants.

Préparation de la salle ou de l'atelier	Evacuation de toutes choses encombrantes dans la salle ou l'atelier
	Nettoyage à sec qui vise à éliminer les poussières
	Installation des équipements dans leurs places
	Nettoyage avec de l'eau propre
	Fermeture des fenêtres et des ouvertures
Désinfection des surfaces	Désinfection avec des désinfectants de surfaces
	Rinçage avec de l'eau chaude après un temps de contact
	Vérification de l'absence de traces de désinfectants.
Désinfection d'ambiances	Pulvérisation de l'agent désinfectant
	Attente de temps de contact
	Evacuation du désinfectant

Annexe X : plan de préparation et de désinfection de l'atelier de travail.



Tenue réglementaire : le port d'une charlotte, blouse propre, bavette est exigé à l'entrée de l'atelier de fabrication. La désinfection des mains avec éthanol 70% est exigée et le port des gants est obligatoire avant toute manipulation de la pâte fromagère.



Nettoyage du matériel de travail : tous les outils et les ustensiles de travail sont nettoyés avec un détergent désinfectant suivi d'un rinçage à l'eau chaude. L'eau de rinçage subit une analyse du pH pour confirmer l'élimination de toutes traces de détergent.



Nettoyage de pasteurisateur : avant utilisation, le pasteurisateur subit un nettoyage avec un désinfectant basique puis un rinçage avec de l'eau chaude jusqu'à l'élimination de toute traces de désinfectant.



Nettoyage des surfaces : les surfaces de travail et de contact subissent une désinfection avant toute reprise de travail et un nettoyage successif après chaque manipulation.



Réception du lait : chaque matin, une quantité de 20 litres de lait frais est réceptionnée au niveau de la salle de production dans des récipients alimentaires et suivie d'une caractérisation physicochimique.



Lancement de la production : chaque jour, 04 formulations du plan d'expérience sont sélectionnées pour être effectuées tout en respectant les conditions hygiéniques.



Nettoyage à la fin de production : à la fin de chaque journée de production, les outils utilisés lors des manipulations sont nettoyés avec de l'eau chaude puis sécher ainsi que l'atelier de travail et les surfaces de contact. A la fin d'utilisation, le pasteurisateur subit un nettoyage avec un désinfectant basique puis un rinçage avec de l'eau chaude. Un deuxième nettoyage avec de l'acide nitrique a été effectué pour éliminer les dépôts de lait, suivi d'un rinçage avec de l'eau chaude jusqu'à l'élimination totale.

Annexe XII : Fiche d'analyse hédonique comparative du fromage.

FICHE D'ANALYSE HEDONIQUE COMPARATIVE DU FROMAGE

Sexe : Féminin ☐ Masculin ☐

Date :/...../.....

Age : ☐-Etes-vous un consommateur du camembert. Oui ☐ Non ☐

1. Intensité de l'odeur du camembert:

(A)	(B)	(C)
Fraiche (faible) ☐	Fraiche (faible) ☐	Fraiche (faible) ☐
Agréable (moyenne) ☐	Agréable (moyenne) ☐	Agréable (moyenne) ☐
Forte ☐	Forte ☐	Forte ☐
Très forte ☐	Très forte ☐	Très forte ☐
Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐

2. Croûte :

(A)	(B)	(C)
Lisse ☐	Lisse ☐	Lisse ☐
Humide ☐	Humide ☐	Humide ☐
Colante ☐	Colante ☐	Colante ☐
Régulière ☐	Régulière ☐	Régulière ☐
Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐

3. Couleur de la pâte :

(A)	(B)	(C)
Blanche ☐	Blanche ☐	Blanche ☐
Blanche crème ☐	Blanche crème ☐	Blanche crème ☐
Ivoire crème ☐	Ivoire crème ☐	Ivoire crème ☐
Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐

4. Texture de la pâte:

(A)	(B)	(C)
Homogène ☐	Homogène ☐	Homogène ☐
Elastique ☐	Elastique ☐	Elastique ☐
Molle ☐	Molle ☐	Molle ☐
Ferme ☐	Ferme ☐	Ferme ☐
Sableuse ☐	Sableuse ☐	Sableuse ☐
Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐

5. Gout: (noter de 01 à 09).

(A)	(B)	(C)
Amer ☐	Amer ☐	Amer ☐
Acide ☐	Acide ☐	Acide ☐
Salé ☐	Salé ☐	Salé ☐

6. Description de la finale en bouche :

(A)	(B)	(C)
Agréable ☐	Agréable ☐	Agréable ☐
Très typique ☐	Très typique ☐	Très typique ☐
Riche en arôme ☐	Riche en arôme ☐	Riche en arôme ☐
Intense en gout ☐	Intense en gout ☐	Intense en gout ☐
Persistante ☐	Persistante ☐	Persistante ☐
Plutôt courte ☐	Plutôt courte ☐	Plutôt courte ☐
Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐	Note de 1 à 9 : ☐

7. Préférence : classez les 03 échantillons du camembert en donnant une note de 1 à 9.

- Echantillon A : ☐
- Echantillon B : ☐
- Echantillon C : ☐

MERCI POUR VOTRE COOPERATION

Résumé

Le présent travail s'est porté sur l'optimisation du processus de fabrication d'un fromage à pâte molle type « **camembert** » en utilisant la planification expérimentale. Ce travail a été réalisé à deux échelles : échelle semi pilote au niveau du laboratoire **BBBS** à l'Université de Bejaia où 19 formulations ont été opérées afin d'avoir une formule optimale ; échelle industrielle au niveau de la fromagerie « **Univert Milk** » à Tizi Ouzou où la formule optimale a été validée et une production a été opérée. L'optimisation de la formule s'est faite en utilisant un plan d'expérience (plan factoriel complet) à 04 facteurs qui sont : l'acidité d'emprésurage, la dose de présure, le facteur technologique et l'auxiliaire de coagulation. L'influence de ces facteurs sur six réponses a été étudiée. Les six réponses en question sont : le temps de prise, l'Aw, le rendement, l'acidité, l'amertume et la texture. Les résultats obtenus à l'issu de ce travail ont montré qu'il serait intéressant d'élargir la modélisation mathématique en utilisant préalablement un plan en étoile complémentaire pour assoir la vérification et la validation du modèle. Les conditions expérimentales qui permettent d'obtenir la formule optimale sont : le niveau bas (-1) pour la dose de présure et le facteur technologique, le niveau central (0) pour l'acidité d'emprésurage, le niveau haut (+1) pour l'auxiliaire de coagulation.

Mots clés : Camembert, Optimisation, Formulation, Plan d'expérience, Facteurs, Réponses.

Abstract

This work has focused on optimizing the process of making a soft cheese like "camembert" using experimental design. This work was conducted at two scales: semi pilot scale in the laboratory **BBBS** at the University of Bejaia or 19 formulations were made in order to have an optimal formula; industrial scale at the dairy "**Univert Milk**" in Tizi Ouzou, or the optimal formula was validated and production has been made. Optimization of the formula is made using an experimental design (full factorial design) using 04 factors: the acidity of rennet, rennet dose, technological factor and coagulation auxiliary. The influence of these factors on six responses was investigated. The six responses in question are: the setting time, the Aw, performance, acidity, bitterness and texture. The results obtained at the end of this work have shown that it would be interesting to expand mathematical modeling in advance using a complementary star plan to sit the verification and validation of the model. The experimental conditions that achieve the optimal formula are: low (-1) for the dose of rennet and technological factors, the central level (0) to the acidity of rennet, the high level (+1) for the coagulation assistant.

Keywords: Camembert, Optimization, Formulation, experience Plan, Factors, Answers.