

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

**ETUDE DE L'INCORPORATION DU LAIT DE SOJA DANS LA
FABRICATION DE FROMAGE FONDU**

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master académique en science de la nature et de la vie

Option : Sciences Alimentaires

Présentée par

M^{elle} DEKKICHE Amina

Devant le jury:

Président : M^r BOUSBIA N.

M.C.B.

Promotrice : M^{me} ACHEHEB H.

M.C.B.

Examinatrice : M^{me} FERNANE S.

M.A.A.

Année universitaire : 2012 – 2013

Remerciement

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

Je remercie sincèrement le Chef de laboratoire Monsieur KRIM Kamel et la responsable du laboratoire de Microbiologie Madame AMALOU de la laiterie fromagerie de **Boudouaou**, pour l'accueil chaleureux qu'ils m'ont réservé lors de mon stage.

A monsieur BOUSBIA, pour nous avoir honorés en acceptant la présidence de ce jury devant lequel nous présentons notre projet de fin d'étude.

A Mme FERNANE, d'avoir honorés et fait partie de ce jury et sa bienveillante contribution quant à l'examen de ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect

Nos remerciements vont aussi à tous les personnels de la laiterie fromagerie de **Boudouaou** en particulier les personnels de l'atelier du fromage fondu, pour leur amabilité, leur disponibilité et leur encouragement, Mrs **Issa**, **Abdel Kader** et Melle **Nassima** pour l'aide qu'il nous a apportés.

Enfin, nous remercions vont à tous ceux qui nous ont encouragés tout le long de notre parcours universitaire et académique et que nous n'avons pas pu les citer.

Dédicaces

Tout d'abord, je remercie Allah le Tout Puissant de m'avoir
donnée la volonté,

La patience et le courage de pouvoir terminer ce modeste
travail

A celle qui m'a donnée naissance, celle qui souffre en silence
pour me donner le meilleur du monde, celle qui m'encourage
et me pousse en avant, à ma chère maman FOUZIA, la plus
belle mère du monde merci.

A celui qui ma toujours aidée et qui a tout fait pour que je
réalise ce travail mon cher papa KAMEL merci.

A mes chers frères SID AHMED et SID ALI a qui j'ai les
bonne et les mauvais moments de ma vie

A Mes chers grand- mère maternelle et paternelle que dieux
les gardes.

A mes chères oncles et tantes

A mes cousins et cousines en particuliers RIMA, RABEA,
FAIZA, IMANE ZOULIKHA, SABRINA

A mon très cher fiancé FOUAD, remède de mon trac et de
mes ennuis, pour son soutien qui me fait une main-forte,
pour sa présence à mes côtés tout au long des moments
difficiles, ainsi qu'à toute sa famille

A tous mes amis : LOUIZA, KHADIDJA, FARIDA, SOUMIA,
AFFAF, DJABER, ANYESSE et ma Cher amie IMANE BAAL
je vous remercie pour tous les rires et les délires et pour tous
Les bons moments qu'on a passés ensemble

A tous mes camarades et à toute la promotion 2012/2013 de
Sciences Alimentaires

Et à tous ceux qui me sont chères,

Je dédie ce travail...

AMINA

Résumé

La production des fromages en Algérie connaît ces dernières années un accroissement remarquable, le problème dans ce secteur est toujours d'augmenter les profits et d'améliorer les produits.

Dans ce contexte, ce travail consiste à l'utilisation d'un constituant compétitif au cheddar dans la fabrication du fromage fondu, pour cela le choix a porté sur le lait de soja comme source de protéines végétales.

Deux taux d'incorporation de 30% et 45% de lait de soja ont été choisis dans la fabrication du fromage fondu et appliqués à l'échelle industriel au niveau de la laiterie fromagerie de Boudouaou.

Ces essais ont montrés la faisabilité de l'incorporation de lait de soja dans la fabrication de fromage fondu à savoir ses qualités nutritionnelles et organoleptiques, ses propriétés émulsifiantes et gélifiantes et son rentabilité économique par rapport au cheddar et poudre de lait.

Le fromage fondu obtenu selon l'avis des dégustateurs professionnels et non professionnels est de très bonne qualité, comparable au meilleur fromage disponible.

Mots clés : Cheddar, lait de soja, fromage fondu, La poudre de lait, qualité nutritionnels, organoleptiques, rentabilité économique

Abstract

The production of cheeses in Algeria knows these last years a remarkable increase, the problem in this sector is always to increase the profits and to improve the products.

In this context, this work consists with the use of a competitive component to the cheddar in the manufacturing of processed cheese, for that the choice related to the milk of soybean like source of plant proteins.

Two rates of incorporation of 30% and 45%de milk of soybean selected in the manufacturing of processed cheese and were applied on the scale industrialist on the level of the dairy cheese factory of Boudouaou.

these tests showed the feasibility of the incorporation of milk of soybean in the manufacturing of processed cheese to knowing its nutritional and organoleptic qualities, its properties emulsifying and gelling and its economic profitability compared to the cheddar and dried milk.

The processed cheese obtained according to the opinion of the professional and nonprofessional tasters is very good quality, comparable with best cheese available.

Keywords: Cheddar, soy milk, cheese spread, the powder of milk, nutritional quality, organoleptic, economic profitability

ملخص

إن إنتاج الجبن في الجزائر عرف في السنوات الأخيرة ارتفاعا ملحوظا، والمشكلة في هذا دائما هي الزيادة الأرباح وتحسين المنتج. في هذا السياق أن هذا العمل يتطرق لاستخدام عنصر تنافسية في صناعة الجبن المطبوخ، وهذا الخيار أرتكز على حليب الصويا كمصدر للبروتين النبتاتي. وقد تم اختيار اثنين من معدل إدماج 30% و 45% من حليب الصويا في صناعة الجبن المطبوخ وتطبيقها على نطاق صناعي في ودواو الجبن من الألبان. وقد أظهرت هذه التجارب إمكانية دمج حليب الصويا في صناعة الجبن المطبوخ لمعرفة الصفات التغذوية والحسية لها، الاستحلاب وخصائص التبلور والربحية مقارنة مع الشيدر واللبن المجفف الجبن المطبوخ التي تم الحصول عليها في رأي المتذوقون المهنية وغير جيدة جدا، ويضاهي أفضل الجبن المتاحة.

كلمات البحث: جبن شيدر، حليب الصويا، جبنة كريم، مسحوق الحليب، نوعية التغذية، الحسية، الربحية الاقتصادية

Introduction

PARTIE
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Le Fromage

CHAPITRE II : Le Soja

MATERIEL ET METHODES

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CONCLUSION

Références

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

- Figure 01** : Principales voies de fabrication du fromage fondu
(GUINEE et al., 2004) 18
- Figure02** : Principe du traitement de stérilisation UHT directe (Boutonnier, 2000).20
- Figure 03**: Plante, cosse et graines de soja
(Source : <http://www.larousse.fr>) 27
- Figure04** : La production mondiale de soja.....28
- Figure05** : Description macroscopique de la graine de soja 30
- Figure 06**: Structure des isoflavones de soja. 38
- Figure 07** : procédés usuels de transformation des graines de soja 46
- Figure 08** : Schéma de l'extraction de l'huile de soja brute 49
- Figure 09** : Procédé de fabrication du lait de soja au niveau de (SOY VILLAGE) 58
- Figure 10** : Diagramme générale de la fabrication du fromage fondu pasteurisé selon « LFB » 59
- Figure 11** : Le découpage et le broyage de cheddar
(Photo originale) 64
- Figure 12**: Pesage des matières premières (Photo originale) 64
- Figure 13** : le mélangeur et le cuiseur (Photo originale) 65
- Figure 14**: conditionnement du fromage fondu en barre
(Photo originale) 66
- Figure 15**: le conditionnement dans des boites rondes en carton contenant huit portions a seize triangulaires. 66
- Figure 16** : Recherche et dénombrement des germes totaux
(Originale) 82
- Figure 17** : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux
(Originale) 83

Figure 18 : Recherche des SAG (originale)	84
Figure 19 : Recherche des levures et moisissures (originale)	85
Figure 20 : Diagramme de fabrication du fromage incorporé du lait de soja (LFB)	89
Figure 21 : Comparaison de pH des différents essais.....	96
Figure 22 : Comparaison de EST% des différents essais.....	97
Figure 23 : Comparaison de MG% des différents essais.....	97
Figure 24 : Comparaison de MG/EST% des différents essais.....	97
Figure 25 : Comparaison de ESD% des différents essais.....	98
Figure 26 : Comparaison de MAT% des différents essais.....	98
Figure 27 : Comparaison de l'EST de différents essais après 2 semaines.....	102
Figure 28 : Comparaison de pH de différents essais après 2 semaines.....	102
Figure 29 : Comparaison de l'EST de différents essais après 4 semaines.....	103
Figure 30 : Comparaison de pH de différents essais après 4 semaines....	104
Figure 31 : Résultats sensoriel des trois fromages après 2 semaines.....	106
Figure 32 : Résultats sensoriel des trois fromages après 4 semaines.....	108
Figure 33 : Essai E1 à 0%.....	109
Figure 34 : Essai E2 à 30%.....	109
Figure 35 Essai E3 à 38%.....	109

Liste des abréviations

Abs : absence
AGPI : acides gras polyinsaturés
AFSSA : L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AFNOR : association française de normalisation
CSR : Clostridium sulfito-réducteur
°D : degré Dornic
d : densité
ESD : extrait sec dégraissé
EST : extrait sec total
FAO : Food and agricultur organisation
g : gramme
G/S : gras sur sec
Kcal : kilocalorie
Kg : kilogramme
L : litre
LFB : Laiterie fromagerie de Boudouaou « BOUMERDES »
MAT : matière azotée totale
mg : milligramme
MG : matière grasse
ml : millilitre.
OMS : organisation mondiale de la santé
PCA: plat count agar
pH : potentiel d'hydrogène
pHi : potentiel d'hydrogène isoélectrique
RCM : reinforced clostridial medium
SAG : spores anaérobies gazogènes
T° : température
TPS : tube en plastique stérile
TSE : tryptone sel eau
UHT : ultra haute température
V : volume.
VF : viande et foie
VRBL : gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau N°01** : la composition moyenne et la valeur énergétique des principaux fromages (Eck et Gillis, 1997). 6
- Tableau N°02** : Classification des fromages en fonction des opérations de fabrication et de leurs caractéristiques (Anonyme₂, 2001). 8
- Tableau N°03** : Composition de fromage fondu (Carole, 2010). 11
- Tableau N°04** : Composition du fromage fondu (MEYER, 1973) 12
- Tableau N°05** : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager (JOHA industry, 1995). 24
- Tableau N°06** : Principaux pays producteurs (FAOSTAT, 2012) 28
- Tableau N°07** : Composition approximative d'une graine de soja jaune
(Glycine max) 30
- Tableau N°08** : Composition en acides aminés essentiels de la graine de soja (CETIOM, 2005) 31
- Tableau N°09** : Composition de l'huile de soja en acides gras selon
(Debruyne, 2001) 33
- Tableau N°10** : teneur en minéraux des graines de soja (en mg) 35
- Tableau N°11** : Composition des vitamines du germe et de la graine entière de soja. 36
- Tableau N°12**: Teneur en isoflavones de quelque aliment 37
- Tableau N°13** : Production de lait de soja (Tonyu) 52
- Tableau N°14** : les propriétés microbiologiques du lait de soja 53
- Tableau N°15** : comparaison des valeurs nutritionnelles moyennes (100ml) du lait de soja par rapport au lait de vache. 54
- Tableau N°16** : Caractéristiques physico-chimiques des matières premières 61
- Tableau N°17** : Objectifs physico-chimiques atteindre pour les trois formulations 62
- Tableau N°18** : les trois formulations du fromage fondu 62

Tableau N°19: Résultats physico-chimiques de la poudre de lait 26% MG comparativement aux norme AFNOR(1986)	92
Tableau N°20 : Résultats physico-chimiques de Cheddar comparativement à la norme AFNOR(1986)	93
Tableau N°21: Résultats physico-chimiques de l'eau et le sel de fonte comparativement à la norme AFNOR(1986)	93
Tableau N°22 : Résultats physico-chimiques du lait de soja comparativement aux valeurs trouvé par Zaoui (2011) et à la norme AFNOR.....	94
Tableau N°23 : Analyses physico-chimiques des fromages fondus incorporés du lait de soja à différentes pourcentages.	95
Tableau N°24 : Résultats des analyses microbiologiques du lait de soja	96
Tableau N°25 : les Résultats des analyses microbiologiques des produits finaux	97
Tableau N°26: Résultats des analyses physicochimiques de l'étude de la stabilité des produits finis après 2 semaines	101
Tableau N°27: Résultats des analyses physicochimiques de l'étude de la stabilité des produits finis après 4 semaines.....	103
Tableau N°28: Suivi de la stabilité microbiologique des produits finis.....	105
Tableau N°29 : Résultats d'un contrôle sensoriel et visuel de l'étude de la stabilité des produits finaux après 2 semaines	106
Tableau N°30 : Résultats d'un contrôle sensoriel et visuel de l'étude de la stabilité des produits finaux après 4 semaines	107
Tableau N°31 : Résultats du test descriptif.....	109

Sommaire

Introduction générale	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : Le fromage	
I. Le fromage.....	3
I.6. Les étapes fondamentales de la fabrication d'un fromage.....	6
II. Le fromage fondu.....	9
II.4. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus	11
II.6.1 Processus de fabrication du fromage fondu	17
CHAPITRE II : Le soja	
I. Historique.....	25
I.5.Situation économique du soja dans le monde et en Algérie.....	28
I.6 La composition biochimique de la graine de soja	29
IV. Les dérivés de soja.....	46
V. Le lait de soja	51
V.1. Production de lait de soja.....	52
MATERIEL ET METHODES	
III. Fabrication du lait de soja	58
IV. Processus de fabrication de fromage fondu.....	59
VI. Méthodes de prélèvement physicochimique de la matière première	67
VII. Méthodes d'analyses microbiologiques	80
IX. Analyse sensorielle	60
Résultats et discussions	
Conclusion.....	112

Introduction

La malnutrition protéique et énergétique est plus fréquente dans les pays sous-développés où les gens ont un accès limité à la nourriture et pour cause principale le problème du pouvoir d'achat.

Dans le monde, 70 % des protéines consommées sont d'origine animale, or les professionnels recommandent une alimentation plus équitable entre protéines animales et végétales. **(Anonyme₁, 2011)**

Dans la littérature, des travaux de recherche comme ceux de MOUNSEY et al. (2008a), NORONHA et al. (2008a) et KIZILOZ et al. (2009) ont fait l'objet de la commutation partielle ou intégrale de la matière grasse et de la matière protéique d'origine laitière par des matières premières d'origine végétale, dont le but est de réduire les coûts de production. Cette commutation entraînait des modifications des caractéristiques de la structure et de la rhéologie, mais aussi de la flaveur du produit fini, qui déterminent son acceptabilité auprès du consommateur. **(CHEMACHE.L, 2011)**

Les causes de malnutrition protéiques peuvent être résolues par l'utilisation des protéines végétales car elles nous apportent des bénéfices en termes de santé, Notons que les protéines de soja sont complètes c'est le seul végétal qui contient tous les acides aminés essentiels tel que (lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine, isoleucine, leucine) .Ces protéines sont riches en isoflavones, des phytoestrogènes. À petite dose ils sont bénéfiques pour hommes et femmes (ils sont riches en anti-oxydants, ils réduisent le cholestérol et combattent l'ostéoporose) cette combinaison nous apporte des protéines végétales de hautes qualités sur le plan nutritionnel et d'un point de vue quantitatif. **(Anonyme₂, 2011)**

Dans le but de substitution partielle des protéines animales nous nous sommes intéressées à l'incorporation du lait de soja dans la fabrication de fromage fondu et de comparer les propriétés de produit fini avec un produit témoin.

Ainsi, notre démarche s'articule autour de 3 axes :

- Une synthèse biologique sur le fromage fondu et le soja
- Une partie expérimentale comportant essentiellement le protocole des essais d'incorporation du lait de soja dans le fromage fondu
- Et une partie résultats et discussion

I. Le fromage

I.1. Généralités sur les fromages :

Les fromages sont des formes de conservation et de report ancestrales de la matière utile du lait (protéines, matière grasse ainsi qu'une partie du calcium et phosphore), dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans presque toutes les régions du globe (**Jeantet et al., 2007**).

I.2. Historique :

La naissance du fromage remonte à la plus haute antiquité. Lorsque l'homme apprit à maîtriser les techniques de l'agriculture et de l'élevage. En ce temps l'estomac des ruminants était souvent utilisé pour la fabrication des gourdes, pour le transport des breuvages.

L'enzyme naturelle (présure) responsable de la coagulation du lait étant secrétée par l'estomac du jeune ruminant avant sevrage. On imagine aisément la façon dont le fromage fut découvert. Depuis, le fromage est l'objet d'une véritable culture, les premiers fromages furent fabriqués dans l'ouest de l'Asie, il y a 8000ans (**Anonyme₁, 2005**).

I.3. Définition réglementaire

La dénomination « fromage » (selon le décret 88-1206 du 30 décembre 1988, article 1^{ère}) et selon (le codex alimentarius) norme générale A6 qui s'attache à la définition du fromage (**Eck et Gillis, 1997**) est réservée au produit fermenté ou non affiné ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitières(lait, lait partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre)utilisées seuls ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse (**Mahaut et al., 2003**).

La teneur minimale en matière sèche du produit ainsi défini doit être de 23g pour100g de fromage (bien que des produits maigre de type pâte fraîche, elle soit inférieur à 13%). (**Croguennec et al., 2007**).

I.4. Production et consommation du fromage :

Il existe une très grande variété de fromages selon la nature du lait et les technologies mises en œuvre.

Les chiffres de la production de fromages en 1998 en milliers de tonnes étaient de 1700 en France (correspondant à 50% du lait collecté), 6580dans l'union européenne et 15000 dans le monde entier (**Mahaut et al., 2003**).

La part des importations provenant de l'UE dans la consommation du fromage des pays du Maghreb reste importante, notamment en Algérie, où elle passe de 70 % à 83 %, avec une légère baisse pour le cas de la Tunisie et du Maroc (**Jemaïel et al., 2006**).

I.5. La composition du fromage :

La composition chimique de fromage dépend du type de fromage et des techniques de fabrication.

En générale, les fromages sont composés de protéines, de lipides, de glucides, de sels minéraux et des vitamines.

Ceci leur confère une valeur nutritionnelle importante (**E.Eck., 1987**).

A. La teneur en eau :

La teneur en humidité des fromages peut être un moyen de classer les fromages. Une pâte molle peut être contenir plus de 50% d'eau, une pâte semi-ferme, entre 45 et 50%, tandis qu'une pâte ferme en aura entre 35 et 45%. Cette eau est essentielle aux microorganismes et influence leur croissance et, par le fait même, la vitesse de fermentation et d'affinage (**vignola et caro, 2002**).

B. Les protéines :

Les fromages contiennent de 10 à 30% de protéines. Ce sont les aliments les plus riches en protéines, en particulier les fromages à pâte pressés dont la teneur en protéines de 30% dépasse celle de la viande (20%). Ces protéines proviennent de la caséine modifiée dont au cours de l'affinage, une partie importante (20 à 30%) se trouve dégradée et solubilisée en oligopeptides et en acides aminés sous l'influence d'une série d'enzyme (**Eck et Gillis, 1997**).

C. Les lipides :

Les lipides conditionnent l'onctuosité de la pâte du fromage. Au cours de la maturation se produit sous l'influence de lipases microbiennes, une lipolyse limitée avec formation d'acides gras libres qui va de 0,25% de la matière grasse dans le camembert frais à 6,4% dans le camembert très affiné. Certains de ces acides gras sont volatils et interviennent dans la formation de l'arôme.

Les lipides du lait (triglycérides, phosphoglycériques et sphingosides) se trouvent dans le fromage sous forme émulsionnée, ce qui le rend plus digestibles (**Dillon et Berthier, 1997**).

D. Les glucides :

La teneur en glucides des fromages blancs est de 3 à 4%. Le lactose a été entraîné lors de l'égouttage dans le lactosérum ou il a été transformé par la flore lactique du caillage ou de l'affinage (**Vierling E, .2003**).

Le dosage de lactose dans le fromage affiné est nul par contre les fromages frais contiennent des quantités non négligeable de lactose ; l'acide lactique et l'acide citrique (**Mahaut M, et Jeantel R., 2003**).

E. Les minéraux :

Le fromage comme tous les produits laitiers, bénéficie dans l'opinion d'une bonne connotation nutritionnelle pour le calcium et le phosphore. Ces éléments majeurs forment des sels avec les acides (protéines, acide citrique, phosphate et chlore).

Une partie des éléments minéraux se retrouve sous forme colloïdale en association avec les caséines ; c'est le cas des phosphates, des citrates de calcium et magnésium (**Vignola et Caro ,2002**).

➤ Le calcium

Les fromages constituent d'excellentes sources de calcium. Toutefois, le taux de calcium varie en fonction de la teneur en eau et du mode de fabrication.

On note une bonne constance des teneurs en calcium pour les fromages à pâte pressée, par contre, parmi les fromages à pâte molle, on constate une grande variabilité en particulier pour le camembert dont la teneur en calcium varie selon la marque de 200 à 700 mg par100g. (**Dillon et Berthier, 1997**).

F. Les vitamines :

➤ Les vitamines liposolubles :

Principalement les vitamines A, D et E dépendent de leurs taux de matière grasse .la raison à laquelle le lait a été produit joue également un rôle : les fromages fabriqués avec des laits de printemps ou d'été ont une activité vitaminique supérieur à celle des fromages issus de lait d'hiver. (**Luquet F.M., 1986**).

➤ Les vitamines hydrosolubles :

La teneur en vitamines hydrosolubles varie considérablement selon les fromages ; elles sont les résultats de deux facteurs opposés : la perte qui survient au moment de l'égouttage et l'environnement qui survient au cours de l'affinage (vitamine C et B). (**G.Debry., 2001**).

Tableau N°01 : la composition moyenne et la valeur énergétique des principaux fromages (Eck et Gillis, 1997).

Composition	Fromage frais	Fromage à pâte molle à croute fleurie	Fromage à pâte molle à croute lavée	Fromage à pâte pressée non cuite	Fromage à pâte pressée cuite	Fromage fondu	Fromage à pâte persillée
Eau (g)	79	50	50	40	35	48	40
Energie Kcal	118	310	310	355	375	280	378
Glucide (g)	4	4	4	3	2,5	2,5	1,8
Lipides(g)	7,5	24	24	24	28	22	32
Protéine(g)	8,5	20	20	28	29	18	21
Ca (mg)	100	400	450	700	1050	880	620
P (mg)	140	250	320	360	620	900	420
K (mg)	130	150	125	100	140		120
Na (mg)	40	700	970	10	200	1650	1600
Zn (mg)	0,5	5	6	10	10	9	6
Vit A(UI)	170	1010	Ind	Ind	1140	Ind	1200

Ind : indéterminé

I.6. Les étapes fondamentales de la fabrication d'un fromage :

La transformation du lait en fromage comporte, pour la plus grande partie des fromages trois étapes essentielles : la coagulation, l'égouttage, l'affinage (Vignola, 2002).

I.6.1. Coagulation ou caillage du lait :

La coagulation du lait correspond à une déstabilisation de l'état micellaire originel de la caséine du lait. Cette déstabilisation est réalisée de deux manières :

- Par voie enzymatique à l'aide d'enzymes coagulantes, contenues dans la présure.
- Par voie fermentaire à l'aide de bactéries productrices d'acide lactique (bactéries lactiques contaminants à l'état naturel le lait ou apportés sous forme de levains).

Les mécanismes d'action de ces deux agents coagulants au niveau de la micelle sont très différents, mais ils conduisent tous deux à la formation d'un coagulum (gel ou caillé) (Bounie, 2002).

I.6.2. Egouttage :

Cette phase consiste à l'élimination plus ou moins grande du lactosérum emprisonné dans les mailles du gel formé par voie acide et/ou enzymatique. Elle commence dans les cuves de coagulation, puis se poursuit dans les moules et en fins en hâloirs (Jeantet et al., 2007).

L'égouttage a pour objectif d'aboutir aux paramètres du fromage en blanc. Régler l'égouttage permet de régler en partie la capacité d'affinage d'un fromage (**Neyers, 1996**).

L'égouttage spontané d'un gel lactique est lent et limité, il conduit à un caillé hétérogène, présentant des teneurs en matière sèche peu élevées et un faible niveau de minéralisation. Le gel présure présente une forte cohésion, élasticité et porosité mais une perméabilité faible, conduisant à un égouttage spontané limité.

C'est pourquoi il est nécessaire de mettre en œuvre différentes opérations de travail en cuve (tranchage, brassage, chauffage lent et régulier jusqu'à 56°C) pour permettre l'égouttage du gel (**Jeantet et al., 2007**).

I.6.3. Salage :

Incorporation de sel soit par dépôt ou dans la masse ou bien par immersion saumure. Le sel freine le développement des microorganismes, accélère le séchage et la formation d'une croûte. Il favorise la bonne conservation du fromage et intervient dans l'appréciation sensorielle des aliments (**Mahaut et al., 2003**).

I.6.4. Affinage :

L'affinage correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants protéiques et lipidiques du caillé.

La protéolyse et la lipolyse sont les phénomènes dominants de l'affinage, elles se traduisent par de profondes modifications de la composition physicochimique du substrat, et par voie de conséquence, de son aspect, de ses qualités organoleptiques, de sa digestibilité et de sa valeur nutritives (**Bounie, 2002**).

La durée d'affinage est plus ou moins longue, elle varie selon le type du fromage fondu fabriqué entre 2 à 3 semaines jusqu'à plus de 6 mois, dans un lieu spécifique au fromage recherché, où la température varie entre 3 et 20°C, avec une hygrométrie et ventilation contrôlées (**Vierling, 1999**).

La protéolyse et la lipolyse se font par l'intermédiaire d'enzyme dont l'origine est variée : Enzymes naturelles du lait, enzymes coagulantes, enzymes produites par divers microorganismes (moisissures, bactéries, levures) se développent dans et/ou sur le fromage; cette catégorie d'enzymes intervient d'une manière dominante (**Ramet, 1993**).

I.7. Classification des fromages :

Les différentes variétés des fromages sont représentées dans le tableau ci-après :

Tableau 02 : Classification des fromages en fonction des opérations de fabrication et de leurs caractéristiques (**Anonyme₂, 2001**).

pâte	Caractéristiques	Technologie de fabrication	Exemples		
Fromage frais ou à pâte fraîche	Humidité: très élevée (60%). Texture: faible, crémeuse sans cohésion Absence d'affinage Conservation au frais de courte durée	fromages à égouttage obtenu par centrifugation ou filtration, à fermentation lactique.	Petit- suisse		
Fromage à pâte molle	A croûte lavée	fromages obtenu par action de la présure, avec affinage après la fermentation lactique. Avec une pate ni cuite ni pressée, Egouttage lent, par découpage et éventuellement un brassage	Livarot		
	A croûte moisie		Camembert		
	Persillé (à moisissure interne)		Roquefort		
	Non cuite	Pâte ferme non cuite	Quelques degrés de différence dans le chauffage du caillé séparent ces deux types de fromages. Ce chauffage à pour but de resserrer les grains de caillé donc d'extraire davantage de sérum	Cantel	
		A croûte lavée		Saint-paulin	
		A croûte moisie		Saint-nectaire	
		Croûte artificielle		Edam	
		cuite		Avec ouverture	Emmental
				Sans ouverture	beaufort
				Très dure	Cheddar
	Type : Fondu Forme : Variable Croûte : Sans Croûte Texture : Ferme, Tendre Couleur : Jaunâtre Trou : Absence Teneur En EST : 40% Teneur en G/EST : 40%		il s'agit de préparations issues de la fonte de fromage généralement à pâte pressée	les fromages en portion	
	Fromage à pâte pressée				
	Fromages fondus				

II. Le fromage fondu et la spécialité fromagère

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

II.1. Définition :

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

II.2. Aperçu historique et économique :

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

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

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

II.3. Les différents types de fromage fondu :

Ces produits issus de la fonte de fromage peuvent être regroupés en six familles classées ici par ordre chronologique d'apparition sur le marché mondial.

II.3.1.Fromage fondu type « bloc » :

Le bloc est obtenu par le moulage dans l'emballage formé préalablement. Le traitement thermique appliqué est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée en plus de sa stabilité.

Sa teneur en matière sèche est élevée. Il est fondu partiellement ou totalement avec le citrate de sodium. L'objectif est de retrouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée (**Boutonnier, 2000**).

II.3.2.Fromage fondu type coupe :

Moins ferme que le bloc, il contient 3à4 fois moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend agréable à la dégustation. L'élasticité parfois recherchée n'est pas toujours souhaitable en raison de la formation de fils qui rendent le conditionnement délicat. (**Boutonnier, 2000**).

II.3.3.Fromage fondu tartinable :

C'est le processus de crémage qui permet en partie de régler la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité. Il peut être aromatisé et conditionné en emballages souple (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes) (**Boutonnier, 2000**).

II.3.4. Fromage fondu toastable (pour fonte) ou type de tranche :

Originnaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranches qui sont obtenus soit en formant des bandes qui seront découpées et ensuite emballées, soit en moulant le fromage en forme de tube autour duquel on forme alors une gaine de matière plastique.

Ce produit doit refondre rapidement sans carbonisation superficielle, comme une tranche d'emmental par exemple, ce qui exige une préservation importante de la structure protéique de la matière première (**Boutonnier, 2000**).

II.3.5.Fromage fondu thermostable :

C'est un fromage fondu qui ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Il subit un crémage très poussé et les blocs obtenus sont découpés puis incorporés dans les plats cuisinés (**Boutonnier, 2000**).

II.3.6.Fromages fondus aux additifs :

Ces fromages fondus sont obtenus à partir de mélange frais ou affinés, additionnés éventuellement du lait, du beurre, la caséine, et d'autres ingrédients : épices, champignon, olives...etc. (**Kernoug et Benmohamed, 2008**).

II.4. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus :

II.4.1. Composition :

Le fromage fondu se compose de plusieurs éléments cités dans le tableau 2.

Tableau 03 : Composition de fromage fondu (Carole, 2010).

Eléments nutritifs	Composition moyenne
Eau (g/100g)	48
Protéines (g/100g)	18
Glucides (g/100g)	2,50
Lipides (g/100g)	22
Sodium (mg/100g)	1650
Magnésium (mg/100g)	25
Phosphore (mg/100G)	900
Calcium (mg/100g)	680
Zinc (mg/100g)	9
Energie(Kcal)	280

II.4.2 Valeur nutritionnelle :

La spécialité fromagère comporte toutes les caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers qui le composent. Elle apporte à l'organisme la majorité des nutriments essentiels à un bon équilibre alimentaire (Tableau04). Ne nécessitant aucune préparation, c'est un excellent moyen d'apporter à notre corps les éléments énergétiques et bâtisseurs nécessaires à son fonctionnement (lipides, glucides, protéines, minéraux, vitamines, etc.) (MEYER, 1973).

Tableau 04 : Composition du fromage fondu (MEYER, 1973)

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

II.5. Matières premières utilisées:

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

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

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

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

Le choix des fromages utilisés se fait entre le Cheddar, l'Emmental, le Gruyère, Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressée (**McSWEENEY et al., 2004**) en se basant

sur le type, la flaveur, la maturité, la consistance, la texture et l'acidité (**CHAMBRE et DAURELLES, 1997**).

II .5.1. Autres matières premières laitières :

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

II.5.2. Préfonte :

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

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

II.5.3 Matières premières non laitières :

II.5.3.1 L'eau :

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

II.5.3.2 Matières premières végétales :

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

✓ **Graisses végétales**

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

✓ **Protéines végétales**

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

D'autres matières premières non laitières peuvent être utilisées dans un but d'aromatisation (aromates, épices, fruit et légumes) dans une limite de 30% en poids du produit fini (**Gaucheron, 2004**).

✓ **Amidon**

Aucun autre ingrédient alimentaire ne rivalise avec l'amidon en termes de polyvalence et d'application dans l'industrie alimentaire. Les amidons ont été employés pour :

- La diversification des textures.
- L'amélioration de l'esthétique des produits.
- La simplification de la déclaration du label.
- La réduction des coûts de production.
- La garantie de la consistance des produits.
- Le prolongement de la durée de conservation (**TAGGART et al., 2009**).

Malgré l'omniprésence de l'amidon dans la nature, le nombre des sources commerciales est très réduit. Les sources de l'amidon les plus importantes sont le maïs, la pomme de terre provient des régions froides du nord Européen.

II.5.3.3 Agents de textures :

Ce sont des hydrocolloïdes qui, en présence d'eau ont un fort pouvoir épaississant voire gélifiant et une action stabilisante vis-à-vis de l'eau du produit. Ils peuvent être d'origine animale (gélatine), végétale (amidon, gommes de guar, de caroube, algines, carraghénanes, carboxyméthylcellulose...) ou produits par voie fermentaire (gommes xanthane et gellane) (**KIZILOZ et al., 2009**).

Leur rôle est d'améliorer la consistance et l'onctuosité de la spécialité fromagère, et permet d'éviter toute synérèse et par conséquent faciliter le décollement de l'emballage au contact du produit. En France, le recours à ces additions interdit l'appellation fromage fondu et contraint à la dénomination « spécialité fromagère fondue ». Les quantités couramment employées varient entre 0,1 et 0,25 % en masse.

Ces agents de texture ne peuvent pas remplacer en totalité les sels de fonte. Leur utilisation se justifie beaucoup plus dans le cas de la fabrication de fromages fondus à partir de fromages frais qui sont des matières premières fortement déminéralisées et pauvres en protéines. Dans ce cas particulier, l'association entre agents de texture et sels de fonte donne d'excellents résultats tant sur le plan de la stabilisation physico-chimique que sur le plan de la sensation en bouche (**GUINEE et al., 2002 ; LUCEY et al., 2003**).

Autres agents technologiques

- Le colorant : ils sont essentiellement utilisés dans les pays anglo-saxons pour conférer au produit une couleur jaune-orangé. Il s'agit essentiellement de la bixine, du carotène, etc.
- Les conservateurs : l'acide sorbique, l'acide propionique et leurs sels peuvent être utiles dans le cas de tranche comme agent anti-moisissures.

De façon générale, l'emploi de conservateurs ne se justifie pas pour les produits traités à haute température et emballés dans des conditions favorables, toutefois on peut utiliser la nisine comme inhibiteur des germes de clostridies butyriques, responsable de gonflements (**Eck et Gillis., 1997**).

II.5.3.4 Sels de fonte :

L'industrie du fromage fondu emploie les sels des acides citrique, orthophosphorique et polyphosphorique. ces sels sont généralement employés en mélanges de 2 à 3 composants afin de minimiser les incidents de fabrication.

Les sels de fonte sont des stabilisants utilisés pour éviter la séparation de la phase protéique de la phase liquide, ils servent au maillage de la protéine et rendent le produit plus homogène.

Les principaux sels utilisés pour la fabrication du fromage fondu sont les sels de l'acide phosphorique (les phosphates) et l'acide citrique (les citrates). (**Kasomel., 1990**).

Parmi les phosphates (sels de l'acide phosphorique), on distingue les monophosphates et les phosphates polymères ou polyphosphate. Parmi ses derniers on rencontre 3 groupes:

- les polyphosphates en chaînes courtes et chaînes longues ;

- les métaphosphates cycliques et les ultraphosphates réticulés.

Dans le groupe des polyphosphates à chaîne courte, ce sont les diphosphates et les triphosphates qui présentent un intérêt sur le plan technique. Les citrates sont des sels de l'acide citrique. Le citrate qui présente un intérêt pour la fonte des fromages est le dihydrate-citrate trisodique car c'est celui qui convient le mieux pour la fabrication et qui est le plus stable au stockage (**Boutonnier, 2000**).

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

✓ **Le pouvoir complexant ou chélatant :**

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

✓ **Le pouvoir tampon :**

L'ajustement du pH d'une formule de fromage fondu constitue une étape importante dans le procédé de fabrication. Les valeurs de pH tolérées durant le procédé se situent entre 5,6 et 6,1, le pouvoir tampon des sels de fonte affecte la conformation des protéines, l'hydratation et la séquestration du calcium (**GUINEE et al., 2004**). Son effet sur la texture a été clairement démontré par **KARAHADIAN et al. (1984)**.

Les différents sels de fonte permettent, par leur pouvoir tampon, d'ajuster le pH du produit à la bonne valeur (**GUPTA et al., 1984 ; CHAMBRE et al., 1997**). Cependant, **SWIATEK (1964)** a rapporté que l'augmentation de la concentration de polyphosphates a un effet moindre sur le pH.

✓ **Effet bactériostatique :**

Certains sels possèdent un effet bactériostatique, c'est le cas surtout des polyphosphates et des orthophosphates qui peuvent inhiber très nettement la multiplication de plusieurs espèces de Salmonella, des bactéries à Gram-positif y compris Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis, Clostridium sporogenes et Clostridium botulinum (**VAN WAZER, 1971 ; TANAKA et al., 1979, 1986 ; WAGNER, 1986 ; Ter STEEG et al., 1995 ; LOESSNER et al., 1997**).

En prolongeant la durée de conservation du produit fini. Cet effet s'explique par le fait que les parois et les membranes cellulaires de nombreux micro-organismes sont stabilisées par des ions Ca^{2+} . La liaison avec des anions qui ne peuvent traverser la

membrane, comme c'est le cas avec les orthophosphates et les citrates, déstabilise l'enveloppe des micro-organismes (**BOUTONNIER, 2002**).

✓ Aspect nutritionnel des sels de fonte :

Les phosphates sont très utilisés dans le secteur alimentaire et sont absorbés par l'intestin sous forme d'orthophosphates. Néanmoins, ils font l'objet d'une Dose journalière admissible qui est pour un adulte de 30 mg par Kg de masse corporelle par jour et sans condition. Par contre, l'ingestion d'acide citrique et de ses sels n'est pas limitée.

Le phosphore est un oligo-élément très important en alimentation car il améliore l'absorption du fer et on recommande un ratio calcium/phosphore supérieur ou égale à 1 (**Boutonnier, 2000**).

II.6. la technologie de la fonte

Le fromage fondu est un véritable chef d'œuvre d'une biotechnologie industrielle. Il est essentielle, tant pour des raisons technologiques que commerciales, de bien maîtriser les paramètres au cours de la fabrication du fromage fondu à savoir le pH, la température, la dose des ingrédients et l'humidité relative.

II.6.1 Processus de fabrication du fromage fondu :

Les principales étapes que comprend la fabrication de la spécialité fromagère sont représentées dans (**la figure N°01**).

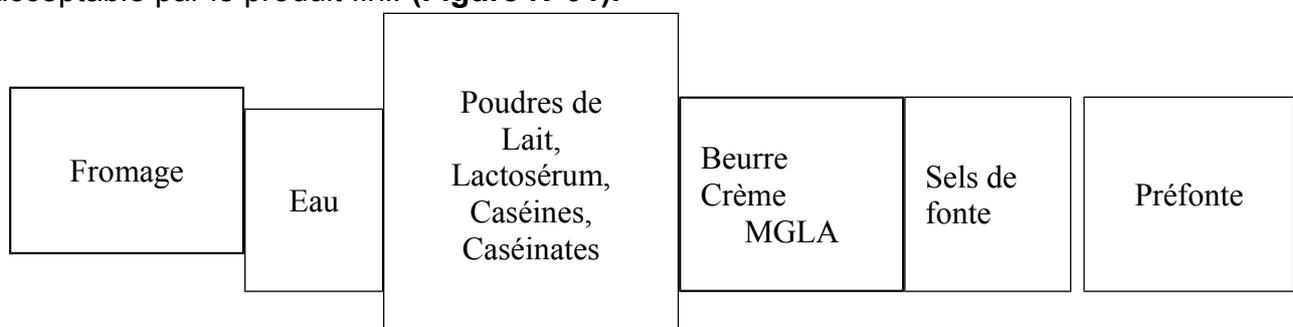
II.6.1.1 La sélection des matières premières et contrôle de qualité :

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

II.6.1.2 Ecroûtage, découpage et broyage des fromages :

Dans certains cas, la dureté des fromages peut entraîner des difficultés de fonte et une présence dans le produit fini de particules infondues. L'écroûtage est réalisé traditionnellement par raclage ou abrasion, ou encore par de nouvelles techniques telles que les jets d'eau chaude sous pression.

Pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de fonte, il est impératif de fragmenter les fromages. Ce broyage grossier est généralement suivi d'un broyage plus fin dans un appareil à double vis sans fin qui conduit les morceaux vers une grille dont les perforations mesurent 2 à 10 mm de diamètre selon le niveau d'intensité acceptable par le produit fini. (**Figure N°01**).



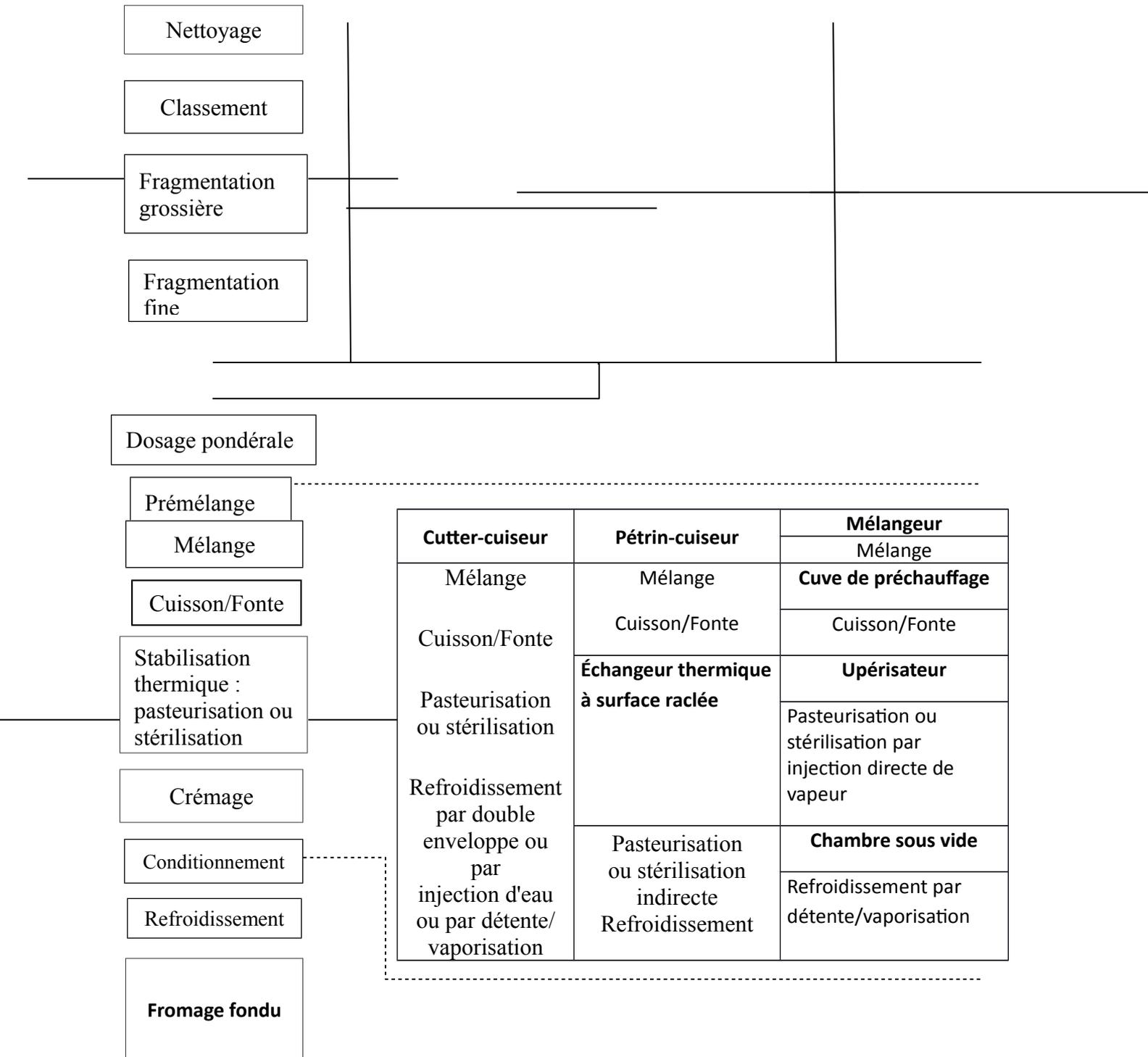


Figure N°01 : Principales voies de fabrication du fromage fondu (GUINEE et al., 2004)

II.6.1.3 Préparation de la formule et procédé technologique :

Avant le broyage, les matières premières fromagères (cheddar, beurre...) sont déemballées, pesées puis découpées en morceaux.

Certaines matières lorsqu'elles sont entreposées, subissent des opérations d'écroutage et de nettoyage (lavage) avant l'utilisation. La préparation et le découpage permettent un bon émiettement des matières lors de leur broyage. (**Eck et Gillis, 1997**)

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

L'ordre d'addition des matières premières dépend du matériel à disposition, le type de cuiseur et la durée de cuisson. Selon **McSWEENEY et al., (2004)**, l'ordre typique de l'addition est comme suit :

- les meules de fromages
- mélange de sels émulsifiants secs,
- les ingrédients laitiers tels que la poudre de lait, l'eau et d'autres agents technologiques tels les colorants, les hydrocolloïdes et les conservateurs.

II.6.1.4 Fonte proprement dite :

C'est l'opération clef de la fabrication du fromage fondu, elle peut être réalisée dans des installations en continu reliées à des pompes d'eau, de vapeur et du vide. Le temps et la température de fonte varient entre 70 et 95°C pendant 4 à 15 minutes, tout dépend de l'intensité de l'agitation, la texture souhaitée du produit fini et ses caractéristiques de conservation (**FOX et al., 2000**).

Les traitements thermiques sont généralement suffisants pour éliminer toutes formes végétatives (**WARBURTON et al., 1986**), mais restent inadéquats pour se débarrasser des formes sporulées.

Des températures supérieures à 130°C sont exigées pour éliminer quelques spores (**ZEHREN et al., 2001**).

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

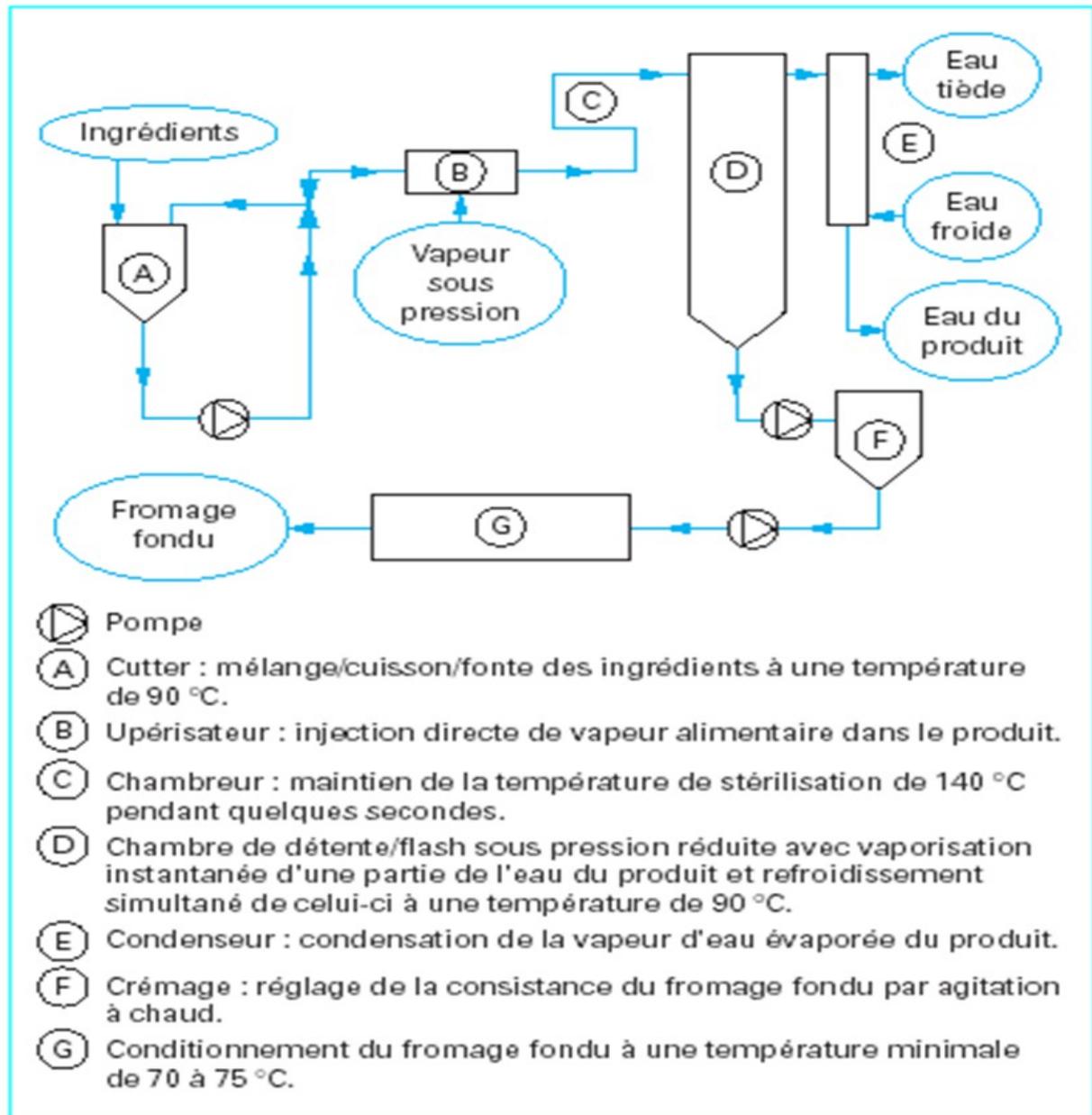


Figure N°02 : Principe du traitement de stérilisation UHT directe

(Boutonnier, 2000).

II.6.1.5 Homogénéisation :

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

- ✓ Amélioration de la stabilité de l'émulsion de matière grasse en diminuant la taille des globules gras ;
- ✓ Amélioration de la consistance, de la structure, de l'apparence et de l'onctuosité des spécialités fromagères ;

- ✓ Favorise une dispersion plus fine des globules gras (WALSTRA et JENNESS, 1984);
- ✓ Favorise généralement l'épaississement.

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

II.6.1.6 Conditionnement :

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

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

Des machines de plus en plus sophistiquées ont été produites permettant de sortir 60, 80, 100, 200, 400 et même 800 portions à la minute. Les techniques modernes du conditionnement permettent de réduire considérablement les risques de contamination de la pâte après les opérations de pasteurisation ou de stérilisation.

Si l'image traditionnelle de fromage fondu est donnée par la boîte ronde contenant un certain nombre de portions triangulaires, la diversification de la présentation a été très importante depuis quelques années.

Non seulement les portions sous aluminium sont également carrées, rectangulaires, rondes, mais on trouve aussi, des blocs et aussi des conditionnements en boîtes métalliques ou verre type moutarde et diverses autres présentations originales. Bien entendu, à chaque type de conditionnement est adapté le produit qui convient : Pâte plus ou moins grasse, épaisse ou liquide, obtenue grâce au choix des matières premières convenables et en modulant en conséquence les divers paramètres du processus de fabrication (**Jacquot et al., 1981**).

II.6.1.7 Refroidissement :

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

Ce refroidissement peut se faire par circulation des produits sur des tapis à l'air ambiant mais les meilleurs résultats sont obtenus dans des tunnels de refroidissement à 20°C (**ECK et GILLIS, 1997**).

II.6.1.8 Stockage du produit fini

Les produits mis en carton sont stockés dans des entrepôts dont la température se situe autour de 10 à 15°C et la durée de conservation peut être estimée entre 6 à 12 mois si les conditions optimales au cours de différentes étapes de fabrication sont bien respectées (**ECK *al.*, 2008**).

Leur conservation nécessite certaines précautions élémentaires lors du stockage, du transport et de la distribution. il s'agit de :

- ✓ Eviter l'écrasement par surcharge et mouillage, surtout lorsqu'il s'agit des boîtes en carton
- ✓ Eviter l'exposition au soleil et le stockage à température supérieure à 12°C
- ✓ Eviter surtout le brusque changement de température, notamment le passage du froid au chaud, ce qui provoque des condensations détériorant particulièrement les emballages en carton. (**LUQUET F.M, 1995**).

II.7 Le contrôle de qualité

II.7.1. Les principes

Avant d'être sélectionnées, dès l'arrivée ; les matières premières sont soumises à des contrôles microbiologiques et physico chimique et organoleptiques préalable (**BOUTONNIER, 2002**).

Ces contrôles doivent porter sur :

- ✓ Produit (fromage fondu et spécialité fromagère)
- ✓ Matière 1^{er} (cheddar, poudre de lait, beurre, sel de fonte, eau....)
- ✓ Emballage (papier aluminium, film plastique, sac, carton)
- ✓ Lieux de fabrication (salles de préparation, salle de conditionnement, salle d'emballage...).

Et selon trois plans :

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

II.7.2. Qualité au cours de fabrication :

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

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

II.7.3. Qualité du produit fini

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

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

II.8. Défauts de fabrication du fromage fondu :

Au cours du processus technologique et pendant le stockage, quelques défauts technologiques peuvent apparaître

Tableau N°05 : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager (JOHA industry, 1995).

Défauts constatés	Causes possibles	Remèdes possibles
la pâte n'est pas homogène.	<ul style="list-style-type: none"> - pH trop bas. - Apport de sel de fonte insuffisant. - Temps de fonte trop court. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter le pH. - Augmenter la quantité de sel de fonte. - Prolonger le temps de fonte.
la pâte est trop liquide.	<ul style="list-style-type: none"> - Fromage de fonte trop jeune. - Sel de fonte à faible pouvoir crémant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mélanger du fromage jeune avec un autre moyennement affiné. - Utiliser un sel de fonte à fort pouvoir crémant. - Réduire la quantité d'eau. - Ajouter de l'eau en 2 ou 3 fois. - Ajouter 3 à 8% de préfonte.
la pâte s'étire et fait des fils.	<ul style="list-style-type: none"> - Une insuffisance de préfonte. - Un sel de fonte inapproprié. - Un temps de fonte trop court. - Un sous dosage du sel de fonte. - Un agitateur trop lent. - Une eau ajoutée une seule fois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la préfonte. - Ajouter un sel de fonte bien crémant. - Prolonger le temps. - Augmenter la dose de sel de fonte. - Augmenter la vitesse de rotation de l'agitation. - Ajouter l'eau de 2 à 3 fois.
la pâte est trop épaisse.	Présence probable d'un sur-crémage	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire la quantité des sels de fonte. - Identifier un sel de fonte moins crémant. - Réduire le temps de fonte. - Réduire la vitesse de rotation. - Diminuer la quantité de préfonte.
La pâte est trop luisante et trop liquide. La pâte est relativement épaisse est non liée.	pH élevé	Régler le pH sur la valeur adéquate.
	pH trop bas	Augmenter le pH.

I. LE SOJA ET SA GRAINE

I.1. Histoire d'une graine millénaire :

Une très ancienne légende chinoise raconte la survie miraculeuse d'une tribu agréée aux premiers temps de l'humanité grâce à une mystérieuse fève ressemblant à la graine de soja (**Rossel, 2006**).

Les traces des premières cultures de soja ont été trouvées dans un livre intitulé «Pen-Ts'ae-Kung Mu » rédigé en l'an 2838 avant J.C. par l'empereur chinois Sheng-Nung (**Wang, 1997**).

A cette époque, le soja était appelé « Ta Teou », ce qui signifiait « grosse graine » et était classé parmi les cinq plantes sacrées que sont le soja, le riz, le froment, l'orge et le millet. Avec l'introduction des routes commerciales maritimes et terrestres, le soja pénétra le Japon, la Corée et l'Asie du Sud-Est. En Asie du Sud-Est, la première preuve de la présence de tofu, le fameux produit à base de soja, a été rapporté en 901 après J.C. en Indonésie (**Shurtleff & Aoyagi, 2010**).

C'est un botaniste allemand ayant vécu au Japon, au XVII^e siècle, qui a été le premier occidental à étudier et à écrire sur les aliments cuisinés avec le soja. Ce n'est cependant qu'à la fin du XVIII^e siècle que la fève de soja a fait son apparition en Europe, au début de la révolution industrielle, et à l'aube du XIX^e siècle en Amérique du nord (**Boyte, 2001**).

La date de sa première introduction en Afrique reste obscure mais tout porte à croire qu'il a été introduit au cours du XIX^e siècle par des marchands chinois fort actifs le long de la côte d'Afrique Orientale (**Brink et Belay, 2006**).

En Algérie, le soja a été introduit en 1894 par le Dr. TRABUT, elle a été introduite sous forme de cultivars d'origine asiatique (Chine) et cette graine a été cultivée, à titre expérimental, dans le Chélif, la Mitidja orientale et la plaine d'Annaba (**Tabet, 1977**).

I.2. Description générale de la plante :

Le soja [*Glycine max* (L.) Merrill] est une plante appartenant à la famille des Fabacées, sous famille des Faboideae, tribu des Phaseoleae, genre *Glycine*, qui est largement cultivée pour ses graines. Le soja est cultivé dans 47 pays à travers le monde mais la majorité des cultures intensives reste localisée aux Etats-Unis, au Brésil, en Argentine et en Chine (**Labalette et al., 2010**).

Le terme soja sous-entend la plante mais également ses graines oléagineuses qui fournissent la deuxième huile alimentaire la plus consommée dans le monde, après l'huile de palme. Celles-ci constituent aussi l'un des aliments naturels les plus riches, notamment en protéines. En effet, il est aujourd'hui reconnu qu'elles renferment de nombreux composés bénéfiques pour la santé humaine (**Kim et al., 2006**).

I.3. taxonomie végétale de la plante :

Le soja, encore appelé, Soja hispidus, Glycine hispida ou Glycine max appartient à la famille des papilionacées (légumineuse) comme le haricot ou la lentille (**Bourgeois et Iarpent, 1996**)

Selon (**Anonyme₄**), la classification taxonomique du soja est la suivante :

- Sous règne : Cormobionta
- Division : Spermatophyta
- Sous division : Angiospermae
- Classe : Dicotyledoneae
- Sous classe : Archychlamydae
- Ordre : Rosales
- Sous ordre : Leguminosinae
- Famille : Leguminosae
- Sous famille : Papilionaceae, Fabaceae
- Tribu : Phaseolinae (Glycininae)
- Genre : Glycine L.
- Espèce : Glycine max (L Merrill).

I.4. Caractéristiques agronomiques :

Le soja est une plante herbacée annuelle connue seulement à l'état cultivé. Elle est entièrement (feuilles, tiges, gousses) revêtue de poils gris ou bruns. Les tiges dressées ont une longueur de 30 à 130 cm. Les feuilles sont de type trifoliolé, chaque foliole mesurant entre 6 et 15 cm de long et 2 à 7 cm de large. Celles-ci tombent avant que les gousses ne soient arrivées à maturité. Les fleurs sont blanches ou mauves, de petite taille, et apparaissent à l'aisselle des feuilles. Elles sont hermaphrodites et autogames, mais la pollinisation croisée est parfaitement possible. Les gousses sont velues, de 3 à 8 cm, de couleur foncée à maturité, et contiennent généralement 2 à 4 graines. Les graines sont de forme sphérique ou elliptique et ont un diamètre variant généralement de 5 à 11 mm. Les feuilles représentent avec les racines des organes clés dans la nutrition azotée de la plante. L'azote est le quatrième constituant des plantes qui est utilisé dans l'élaboration de molécules importantes comme les protéines, les acides nucléiques et la chlorophylle. Lorsque le grain grossit, chaque feuille à travers la photosynthèse (**de Veau et al., 1992**).

- ✓ Le soja pousse bien sur la plupart des types du sol, à l'exception des terrains sableux profonds présentant une faible capacité de rétention d'eau.
- ✓ Ph optimale du sol est compris, entre 6,0 et 6,5
- ✓ Préfère les zones tempérées.
- ✓ Des précipitations de 500 à 700 mm sont nécessaires pour obtenir un bon rendement.
- ✓ La semé est réalisée entre la fin du printemps et le début de l'été.
- ✓ La pleine maturité est atteinte entre le début et la fin de l'automne.

- ✓ Récolte effectuée quand la teneur en eau de la graine est de 13% ; niveau d'humidité maximum qui permet de garantir une bonne conservation sur une longue période. (Berk, 1993).

Il existe une dizaine d'espèces dans la famille *Glycine* et plusieurs milliers de variétés réparties en quatre familles : les graines vertes, les graines jaunes, les graines noires/marrons et les graines blanches. Les graines noires sont utilisées pour la production d'huile. Les graines vertes, *vigna radiata*, pratiquement sans huile, sont consommées sous forme de bouillie, de purée, de soupe, de pousses, de salades ou de nouilles chinoises via l'utilisation de son amidon.

Les graines jaunes (les cotylédons) (Fig. 03), *Glycine max*, riches en huile (13-25%), en protéines (30-50%), sont consommées en Europe et en Amérique aussi bien dans l'alimentation animale (tourteaux) que dans l'alimentation humaine.



Figure 03: Plante, cosse et graines de soja (**Anonyme_s**)

I.5. Situation économique du soja dans le monde et en Algérie :

Aujourd'hui, le soja est cultivé dans environ soixante-dix pays venant des cinq continents. La production du soja est concentrée sur quatre pays (États-Unis, Brésil, Argentine, Chine) qui assurent près de 90% des exportations et l'Union Européenne reste le principal acheteur de graines de soja sur le marché mondial (environ la moitié des exportations mondiales). Les principaux pays producteurs sont présentés dans le tableau N°06.

Tableau N°06 : Principaux pays producteurs (**Anonyme₁**)

**Production en tonnes et pourcentage de la production mondiale
(chiffres de 2010)**

Données de FAOSTAT (FAO)

FAO accès le 26/3/2012

Production d'huile de soja en tonnes et pourcentage de la production mondiale (chiffres de 2010)

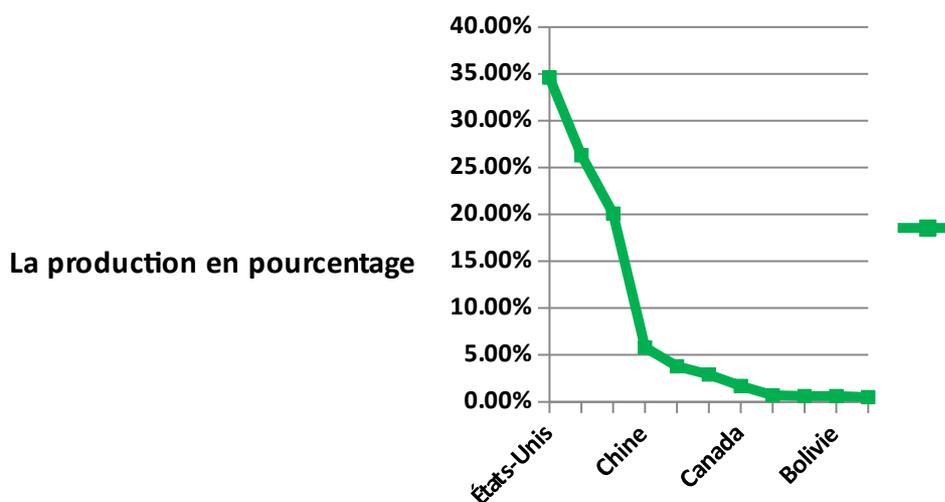
Données de FAOSTAT (FAO) FAO accès le

États-Unis	90 609 800	34,6 %
Brésil	68 518 700	26,2 %
Argentine	52 677 400	20,1 %
Chine	15 083 204	5,8 %
Inde	9 810 000	3,8 %
Paraguay	7 460 440	2,9 %
Canada	4 345 300	1,7 %
Uruguay	1 816 800	0,7 %
Ukraine	1 680 200	0,6 %
Bolivie	1 637 000	0,6 %
Russie	1 222 370	0,5 %
Total Monde	261 578 498	100 %

26/3/2012

Chine	9 069 800	22,8 %
États-Unis	8 771 500	22,1 %
Argentine	7 000 080	17,6 %
Brésil	6 928 000	17,4 %
Inde	1 349 300	3,4 %
Japon	467 707	1,2 %
Union européenne	2 408 450	6,1 %
Allemagne	594 770	1,5 %
Espagne	563 300	1,4 %
Pays-Bas	462 300	1,2 %
Italie	306 900	0,77 %
France	91 300	0,23 %
Total Monde	39 761 852	100 %

Figure 4: La production mondiale de soja



L'introduction du soja dans les pays occidentaux est beaucoup plus récente, et date du 19^{ème} siècle. Initialement développé pour la filière « alimentation animale », la découverte de la bonne image nutritionnelle et l'avancement de la technologie de transformation du soja favorisent le développement des produits dérivés adaptés au goût occidental.

C'est avant tout sous forme d'ingrédients, issus de la graine, que le soja est utilisé dans la fabrication d'aliments industriels. Les extraits des graines de soja occupent actuellement une place importante sur le marché des matières protéiques végétales. Ces ingrédients sont employés pour leurs propriétés technologiques fonctionnelles (fixation d'eau, liaison, émulsion, texturation, etc.) ou leurs propriétés nutritionnelles (allègement en matières grasses, augmentation de la teneur en protéines).

En Algérie, la quasi-totalité de soja consommé à l'échelle nationale vient de l'importation. Le soja est importé sous forme de graines, mais il est surtout importé sous forme de produits dérivés tels que l'huile, tourteau etc.

1.6 La composition biochimique de la graine de soja :

Dans les années 1880, les chercheurs français ont découvert que la graine de soja ne contient pas d'amidon et par conséquent ne peut pas engendrer une production de sucre dans le corps humain. Ils ont recommandé l'utilisation du soja dans les régimes pour les diabètes. Cela a marqué le début de la recherche moderne portée sur la découverte de la composition chimique de la graine de soja. A travers des recherches subséquentes, nous avons appris que le soja présente un profil très intéressant de composés bénéfiques pour la santé humaine. Une alimentation à base de soja est pauvre en graisses saturées et en cholestérol, et apporte peu de calories par rapport à une alimentation à base de viande ou de produits laitiers **(Messina, 1999)**.

La graine de soja est particulièrement riche en protéines (en moyenne 40%), en sucres (35%) et en lipides (20%) avec également 5% de fibres : en % de matière sèche **(Snyder et Kwon, 1987)**. Ces composés présentent un grand intérêt pour les industries agroalimentaires.

Les graines de soja sont riches en vitamines A, B, E, K et en minéraux, dont le calcium, le fer, le zinc, le potassium, le phosphore et contiennent une quantité importante de composés mineurs issus du métabolisme secondaire de la plante. Les isoflavones, les phytates, les stérols, les saponines ou les inhibiteurs de protéases font partie de ces composés potentiellement responsables des propriétés préventives du soja vis-à-vis d'un grand nombre de pathologies.



Figure05 : Description macroscopique de la graine de soja (Hubert, 2006)

Aujourd'hui, de nombreux chercheurs se consacrent à la caractérisation complète de ces familles de molécules ainsi qu'à la compréhension de leur mécanisme d'action, tentant d'établir clairement leur rôle dans la prévention des maladies métaboliques.

Parmi toutes les légumineuses, la teneur en protéines de soja est la plus élevée, environ 40% de la matière sèche. Sa teneur en lipides, environ 20% de la matière sèche, est au deuxième rang après les arachides. La composition approximative d'une graine de soja est présentée dans (le tableau N°06) (Imram et al., 2003).

Tableau N°07 : Composition approximative d'une graine de soja jaune (Glycine max)

Partie de la graine	% en masse de la graine totale	Protéines N*6.25(%)	Lipides(%)	Glucides (fibres incluses)(%)	Cendres (%)
Cotylédon	90	43	23	43	5.0
Pellicule	8	9	1	86	4.3
Hypocotyl	2	41	11	43	4.4
Graine entière	100	40	20	35	4.9

Source : (TU Viet Phu ,2010)

I.6.1. Les protéines :

C'est un élément-clé pour les utilisateurs de l'agroalimentaire. Les protéines de soja sont solubles dans l'eau et donc constituées surtout de globulines (80 à 90%), en moindre part d'albumines (10 à 20%) et d'une fraction de glutélines (Hymowitz et Collins, 1974).

La qualité des protéines présentes dans la graine de soja est très satisfaisante en termes de profil d'acides aminés. Ces protéines contiennent les huit acides aminés

essentiels et sont particulièrement riches en lysine. En revanche, les acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) sont limitant (Tableau N°08).

Tableau N°08 : Composition en acides aminés essentiels de la graine de soja
(Anonyme⁷, 2005)

Acides essentiels	aminés	Protéines de soja (mg.g ⁻¹ de protéines)	REFERENCE FAO / O.M.S
Histidine		28	19
Isoleucine		50	28
Leucine		85	77
Lysine		70	58
Méthionine + cystéine		28	19
Phénylalanine + tyrosine		88	63
Thréonine		42	34
Tryptophane		14	11
Valine		53	35

Ce tableau met donc en évidence la remarquable complémentarité du soja avec les céréales qui sont déficitaires en lysine mais riches en acides aminés soufrés.

Selon (**Green ; 2000**) Les graines de légumineuses ont la particularité d'être riche en protéines, ceci est particulièrement vrai pour les graines de soja. La teneur en protéine pour :

- Haricot sec : 21%
- Pois chiche : 18%
- Lentille : 24%
- Soja : 38% .

La lysine, acide aminé indispensable facilitant la synthèse des protéines et l'assimilation des autres acides aminés, est beaucoup plus concentrée dans le soja que dans de nombreuses autres sources végétales. Les acides aminés limitant sont la méthionine et la cystéine. Le soja est donc complémentaire des céréales qui sont déficitaires en lysine mais riches en acides aminés soufrés d'où l'intérêt d'associer la consommation de soja et de céréales en remplacement de la viande, source de graisses et de cholestérol (**Roussel, 2006**).

En alimentation infantile, des formules à base de protéines de soja supplémentées en méthionine sont proposées aux enfants intolérants au lactose ou allergiques aux protéines de lait.

- Dans les graines légumineuses, il existe quatre familles de protéines :
 - ✓ les albumines,
 - ✓ les globulines (les légumineuses et les vicilines).
 - ✓ les prolamines (non présentes dans le soja).
 - ✓ les glutélines (non présente dans le soja).
- Dans le soja :
 - ✓ les globulines (90% des protéines) jouent le rôle de protéines de réserve.
 - ✓ les albumines (10% des protéines) correspondent à des molécules à activité enzymatique, dont les inhibiteurs trypsiniques, la lipoxygénase et les lectines.
- Enzyme :

Les graines de soja, comme toutes les graines, contiennent les systèmes enzymatiques nécessaires à leur germination. Technologiquement, l'enzyme la plus importante des graines de soja est la lipoxygénase. Cette enzyme catalyse l'oxydation des acides gras poly-insaturés par l'oxygène moléculaire, aboutissant au développement d'un goût rance et de haricot (**Berk, 1993**).

➤ L'enzyme uréase est son importance technologique, l'activité uréasique est utilisée parfois comme indicateur de l'insuffisance d'un traitement thermique (**Berk, 1993**).

I.6.2. Les lipides :

Les lipides de graine de soja (huile de soja crue) sont constitués typiquement 96% de triglycérides, 2% de phospholipides, 1,6% d'insaponifiable, 0,5% d'acides gras libres ainsi que de faible quantité de pigment caroténoïdes (**Berk, 1993**).

La teneur des acides gras dépend de la variété et des conditions de culture (**Bhardwaj, Hamama, Rangappa, Joshi, & Sapra, 2003**) et leur répartition varie dans les différents compartiments de la graine (**Liu & Brown, 1996**).

Composition de l'huile de soja en acides gras est représentée dans le tableau suivant :

Tableau N°09 : Composition de l'huile de soja en acides gras

Acides gras			Teneur Moyenne(%)
Saturés	Laurique	C 12	0.1
	Myristique	C 14	0.2
	Palmitique	C 16	10.7
	Palmitique	C 18	3.9
	Arachidique	C 20	0.2
	Béhénique	C 22	
	Totale		15.0
Insaturés	Palmitoléique	C 16.1	0.8
	Oléique	C 18.1	22.8
	Linoléique	C 18.2	50.8
	Linoléénique	C 18.3	6.8
	Eicosénoïque	C 20.1	
	Totale		85.0

Source : **(Debruyne, 2001)**

L'huile issue des cotylédons contient 11-15 % d'acide palmitique, 2-5 % d'acide stéarique, 20-30 % d'acide oléique, 45-55 % d'acide linoléique et 5-9 % d'acide linoléénique **(Liu et Brown, 1996)**, alors que le germe est caractérisé par une plus forte proportion d'acide palmitique et linoléénique qui représentent respectivement 15-20 % et 20-25 % des acides gras totaux **(Yoshida et al., 2003)**.

- ✓ les acides gras polyinsaturés interviennent dans la constitution des tissus et des membranes cellulaires.
- ✓ L'acide α -linoléénique, précurseur des acides 19 oméga-3, régule la pression artérielle, l'élasticité des vaisseaux et l'agrégation des plaquettes sanguines **(Sinclair et al., 2000 ; Romieu et al., 2005)**.
- ✓ L'acide linoléique, précurseur des acides oméga-6, est responsable de l'équilibre cardiovasculaire et immunitaire. Il agit sur la régulation du système nerveux, sur la cicatrisation et contre les réactions allergiques et inflammatoires **(Vessby, 1994 ; Demaison et Moreau, 2002)**.

Les graisses de soja est également la principale source de lécithine, largement utilisée par l'industrie agroalimentaire pour ses propriétés émulsifiantes. La lécithine est un mélange complexe de phospholipides, de triglycérides et de glycolipides. En pharmacie, elle permet l'obtention d'émulsions stables et de liposomes et favorise la solubilisation du cholestérol dans le sang, empêchant ainsi son dépôt sur la paroi des artères. La lécithine apporte une quantité importante de choline et d'inositol qui interviennent sur le métabolisme hépatique des graisses, augmentant ainsi le taux des HDL, diminuant les LDL et favorisant l'élimination par le foie du cholestérol en excès.

Les graisses de soja contiennent aussi de 1 à 3 % de phospholipides, dont 25 % sont localisés dans les cotylédons, suggérant que le reste provient du germe. Le germe est effectivement une source importante de phosphore principalement réparti entre les phytates et les phospholipides. Les phospholipides entrent dans la composition des cellules nerveuses du cerveau et leur apportent le phosphore indispensable à leur fonctionnement. En plus de ce rôle essentiel, les phospholipides et leurs métabolites sont impliqués dans de nombreuses autres fonctions cellulaires dont les processus de prolifération et l'apoptose. La fraction lipidique de l'huile de soja renferme également des stérols, des tocophérols et des sphingolipides (**Yoshida et al., 2003**).

I.6.3. Les glucides :

Les glucides sont des polysaccharides qui peuvent être classés en deux catégories :

➤ Oligosaccharides et oligomères solubles : La graine de soja contient entre 30 et 35% de sucres. Les sucres solubles représentent 10% de la matière sèche de la graine avec 5% de saccharose, 1% de raffinose et 4% de stachyose (**Snyder and Kwon, 1987**). Le contenu de ces deux derniers dans la graine de soja est génotype dépendant (**Kumar et al., 2010**). Le stachyose et la raffinose peuvent provoquer chez l'homme des problèmes physiologiques tels que la flatulence (**Suarez et al., 1999**).

In vivo, il a été mis en évidence qu'une alimentation avec une concentration de moins de 0,2% de raffinose et de moins de 2,2% de stachyose améliore la digestibilité des nutriments sans avoir de problème de flatulence (**Yamka et al ; 2006**).

➤ Le polysaccharide insoluble : est un mélange complexe de polysaccharides et de leurs dérivés environ (20%) se comportent comme les fibres alimentaires donc utiles à la régulation de la digestion (**Roussel, 2006**).

Ces sucres jouent un rôle de structure mais également un rôle de réserve dans la graine (**Andriotis et al., 2010 ; Zeeman et al., 2010**).

Des études ont montré aussi que in vivo et in vitro les polysaccharides de soja possèdent une activité anti-allergène (**Kobayashi, 2005**).

I.6.4. La teneur en eau :

La teneur en eau des graines de soja peut varier selon les conditions de stockage. Pour une bonne stabilité au stockage ainsi qu'une bonne vitalité des semences, les graines de soja doivent avoir une teneur en eau d'environ 12 à 13% (**Berk, 1993**).

I.6.5. Les éléments minéraux :

La graine de soja contient environ 5% de minéraux dont les principaux éléments sont le potassium (sa concentration est la plus élevée), suivi par le phosphore, le magnésium, le soufre, le calcium, le chlorure et le sodium. Leur teneur varie, en moyenne, de 0,2 à 2,1% (**Liu, 1999**).

✓ Le potassium est impliqué dans plusieurs fonctions vitales incluant l'édification des protéines, la synthèse glucidique ou l'excitabilité neuromusculaire.

- ✓ Le calcium du lait est mieux assimilé que celui de soja, celui-ci contient de l'acide phytique qui entrave l'absorption de minéraux comme le calcium et le fer (**Vesanto et al., 1996**). Le calcium intervient essentiellement dans la régulation sanguine et dans la composition des os.
- ✓ Le fer : le soja et les lentilles sont les légumes secs les plus riches en fer, le soja contient de fer non héminique dont l'absorption varie selon la composition du repas et selon la préparation de l'aliment (entier, concassé, mixé). (**Collomb et Mayor, 2007**).
- ✓ Le phosphore : a un rôle physiologique fondamental puisque les réactions de phosphorylation sont impliquées dans la production d'énergie.
- ✓ Le magnésium assure la cohésion des protéines et agit en activateur des systèmes enzymatique.

La plupart des minéraux sont localisés dans les cotylédons. Seul le zinc est deux fois plus concentré dans le germe que les cotylédons. (**Jane Hubert, 2006**).

Tableau N°10 : teneur en minéraux des graines de soja (en mg).

Teneur pour 100g de soja sec					
• Calcium	128*	• Fer	8**	• Vitamine B2	0,15
• Magnésium	160	• Zinc	4	• Vitamine B3	5,90
• Potassium	1160	• Cuivre	0,9	• Isoflavones	
• Phosphore	400	• Manganèse	2,3	(génistéine	entre 40
• Sodium	40	• Vitamine B1	0,50	et daidzéine)	et 200

*(12 fois plus que dans la farine de blé, 26 fois plus que dans la viande de bœuf)

** (2fois plus que dans les épinards)

(Source : Roussel, 2006)

I.6.6. Les vitamines :

L'apport en vitamines des graines de soja est également significatif, puisqu'on y trouve les vitamines liposolubles A, E, D et K ainsi que les vitamines hydrosolubles essentiellement du groupe B (Tableau N°11) (**Imram, et al., 2003**).

Tableau N°11 : Composition des vitamines du germe et de la graine entière de soja.

Vitamines (µg pour 100 g de matière sèche)	Germe de soja*	Cotylédons**
Thiamine (B1)	0,03	0,9

Riboflavine (B2)	0,50	0,9
Niacine (B3)	2,7	1,6
Acide pantothénique (B5)	1,3	0,8
Pyroxidine (B6)	0,5	0,4
Acide folique (B9)	430	375
Acide ascorbique (C)	0,2	0,2
β -carotène (A)	ND	1,0
Tocophérols (E)	37,5	3,5

* : Schryver, 2002

Source: (Hubert,2006)

** USDA : Nutrient Database for Standard Reference, Release 13 (Nov. 1999)

- les vitamines liposolubles A (β -carotène), E (α -tocophérol) sont de puissants antioxydants grâce à leur capacité de capture des radicaux libres.
- On trouve aussi les vitamines liposolubles D et K et des vitamines hydrosolubles, essentiellement du groupe B avec notamment une forte quantité d'acide folique (B9).

Le germe est significativement plus riche que les cotylédons en vitamines du groupe B. Hormis les vitamines B1 et B2 dont les teneurs sont plus élevées dans les cotylédons, le germe est plus concentré en vitamine B3 qui régule les cycles de transport de l'hydrogène, en vitamine B5 qui intervient dans la constitution de la coenzyme A, en vitamine B6 qui intervient dans la constitution du système nerveux central et en vitamine B9 qui contribue au métabolisme des vitamines C et B12.

Le germe de soja est également 10 à 20 fois plus concentré que la graine entière en vitamine E. Les molécules appartenant à la famille de la vitamine E, appelées tocophérols et tocotriénols, sont considérées comme de puissants antioxydants (Rossel, 2006).

1.6.7. Les phytoestrogènes :

Les phytoestrogènes sont des composés actifs se trouvant de façon naturelle dans certaines plantes et dont la composition chimique est très proche de celle d'hormones stéroïdes humaines. Ils sont très largement répandus dans le règne végétal et surtout dans le soja. Les plus importants sont les isoflavones (Roussel, 2006).

Les isoflavones sont issues de la grande famille des flavonoïdes, composés phénolés, qui sont des pigments colorants des fleurs et fruits de presque tous les végétaux (Roussel, 2006)

Les isoflavones sont des nutriments présent dans plus de 300 espèces de plantes nature : le soja (1g de soja contient 2 mg d'isoflavones), le thé, les céréales, les légumes,

les fruits...etc. Il ressemble beaucoup aux œstrogènes classiques (ceux fabriqués par les ovaires) bien qu'ils s'en différencient de façons très spécifiques (**Elia, 2003**).

Les isoflavones, appartenant à la classe de phyto-œstrogènes non stéroïdiens, sont une sous classe des flavonoïdes présents presque exclusivement dans les plantes légumineuses dont fait partie le soja. La teneur en isoflavones des graines de soja, en fonction de la variété de soja, de la zone géographique et des conditions de culture, est compris entre 1,261 et 3,886 mg/g de graine (**Imram, et al., 2003**).

Dépendante des procédés de transformation, la teneur en isoflavones varie d'un produit à l'autre. Les isoflavones ne se trouvent pas dans l'huile de soja car elles sont éliminées au cours de l'extraction de l'huile. Les isoflavones se trouvant dans les graines de soja existent essentiellement sous forme aglycone dont les trois types : daidzeine, génistéines et glycitéines. Les études ont montré différents effets physiologiques des isoflavones chez l'homme et les animaux : activité oestrogénique ; interférence avec la métabolisme des minéraux ; arrière-goûts acide et amer et l'astringence ; propriétés antioxydants, antifongiques, et anticarcinogéniques (**Faure et al., 2002; Kim et al., 2006**).

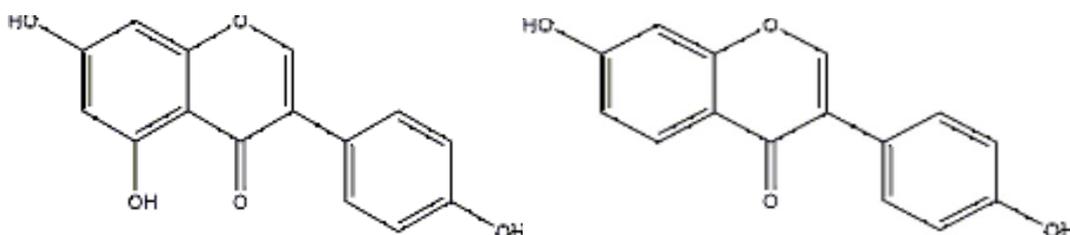
Le tableau ci-après représente la teneur en isoflavones de quelque aliment :

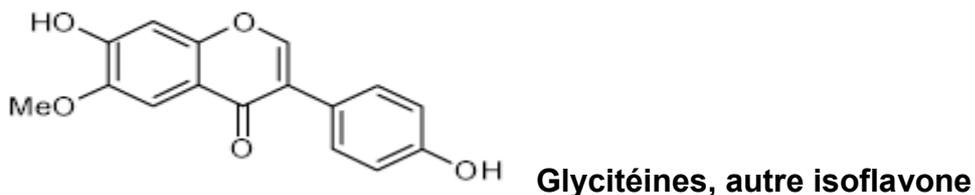
Tableau N°12: Teneur en isoflavones de quelque aliment

Aliments	Daidzeine (mg/100g)	Génistéine (mg/100g)	Glycitéines (mg/100g)	Total (mg/100g)
Pois chiche	0,75	1,9	/	2,64
Graine de trèfle	17,8	32,3	/	50,1
Soja frais	54,6	72,9	7,9	135,4
Farine de soja	22,6	81	8,8	112,4
Tofu	14,6	16,2	2,9	33,7
Yaourt de soja	5,7	9,4	1,2	16,4

Source :(**Roussel, 2006**)

Au niveau de l'assimilation intestinale, les isoflavones sous forme glucosides sont déglucosilées en aglycone sous l'action de β -glucosidases de la flore intestinale, afin d'être absorbées tel quel ou transformées en molécules biologiquement actives tel que l'équol. La production de cette molécule à partir de la daidzeine, n'est observée que chez 30 à 40% de la population occidentale (**Setchell, et al., 2002**).



Génistéine,**Daidzeine,****Figure 06** : Structure des isoflavones de soja.

Le soja est donc le plus pourvu en isoflavones comparés aux autres graines.

I.6.8. Les saponines :

Les saponines constituent un ensemble complexe et chimiquement très diversifié de molécules tri terpéniques constituées d'une fraction aglycone hydrophobe liée à une chaîne mono ou polysaccharidique hydrophile. Cette structure leur donne d'excellentes propriétés émulsifiantes.

Les saponines ont une saveur amère et astringente. Elles constituent des agents tensio-actifs pouvant se lier aux composés hydrophobes dans des milieux aqueux.

II. Les facteurs antinutritionnels de soja :

La présence des composés chimiques dans la graine de soja affecte l'utilisation de ses protéines et peut diminuer sa qualité nutritive, ces composés sont appelés facteurs antinutritionnels, parmi eux on distingue :

II.1 Les inhibiteurs trypsiques :

La graine de soja contient deux types d'inhibiteurs trypsiques. Les deux portent le nom des chercheurs qui les premiers les ont isolés et caractérisés. On les appelle respectivement inhibiteur de Kunitz, qui a un poids moléculaire de l'ordre de 20000 et inhibiteur de Bowman-brik qui est un polypeptide plus petit de l'ordre de 8000 dalton. Ils sont tous deux constitués de plusieurs protéines différenciables (**Berk ; 1993**).

L'inhibiteur trypsique est le principal facteur antinutritionnel, du fait de sa présence en quantités importantes. L'inhibiteur trypsique provoque une diminution de la croissance puisqu'il affecte la digestion des protéines (**Anonyme₃, 1995**).

II.2. Les lectines :

Constitue un groupe de composés protéiques extrêmement ubiquistes. Ils sont souvent appelés hémagglutinines car ils se fixent sur les hématies (**Guillaume, 1999**) et favorisent la formation du caillot en faisant s'agglutiner les globules rouges (**Anonyme₄, 2007**).

Ces substances ont la faculté de se fixer au niveau des cellules de la muqueuse intestinale (membrane des microvillosités) et d'empêcher ainsi l'absorption intestinale des acides aminés et de la vitamine B₁₂ et des polysaccharides (**Anonyme₅, 2003**).

II.3. Les lipoxygénases :

Les enzymes lipoxygénases oxydent les lipides du soja pendant sa transformation, provoquant l'apparition d'un goût désagréable. La dégradation des graines et le taux d'humidité élevé favorisent l'action nocive de ces enzymes (**Anonyme₃, 1995**).

II.4. Les phytates :

Le soja est riche en phytates, qui diminuent l'absorption intestinale du calcium et des autres minéraux dont le fer. L'acide phytique forme des complexes avec les cations divalents tels que Fe²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ou Zn²⁺, il génère des structures moléculaires insolubles dans l'appareil digestif, ce qui empêche le métabolisme de ces minéraux, affecte leur solubilité ou leur fonctionnalité (**Rickard et Thompson, 1997 ; Kumagai et al., 1998**). Pourtant, des interactions entre l'acide phytique et les protéines lui confèrent des propriétés d'inhibition enzymatique, spécialement de l' α -amylase, ce qui empêche la digestion de l'amidon et réduit la quantité de glucose dans le sang. Les fermentations longues diminuent nettement leur taux, ce qui n'est pas le cas du traitement par la chaleur.

II.5. Les goitrigènes :

On pense que le soja contient des goitrigènes, en effet, il contient des facteurs qui restreignent l'absorption de l'iode et provoquent, par conséquent, une déficience en iode qui finit par se traduire par un goitre. Cependant, toutes les toxines potentielles présentes dans les légumineuses crues sont détruites ou éliminées par une préparation adéquate (**Anonyme₆, 1990**).

II.6. Les anti-vitamines et les anti-minéraux :

Ces substances ont des effets spécifiques sur certaines vitamines et des hydrolases spécifiques se traduisant par une perte de valeur nutritionnelle (**Aliouane et Ikhlef, 2005**). La Glycine max manifeste une activité anti-vitamine D (**Anonyme₆, 1990**).

Le soja contient aussi des facteurs qui inhibent l'absorption des métaux en particulier le fer (**FAO, 1990**).

II.7. Les saponines :

(0,5% de la graine de soja) ont une saveur amère et astringente (goût haricot). Ce sont des émulsifiants naturels (**Liu, 1999**) de nature glucosidique (**Guillaume, 1999**). Ils constituent des agents tensioactifs pouvant se lier aux composés hydrophobes dans les milieux aqueux (**Godon, 1996**) mais ils ont un faible pouvoir d'agglutination des hématies (**Roussel, 2006**).

II.8. Les oligosaccharides :

Des oligosaccharides, composés à base de sucre, non digérés, leur importance est assez significative car ils peuvent causer des flatulences chez les humains, provoquées

par des micro-organismes dans le gros intestin qui se nourrissent de ces composés non digérés et les transforment en gaz. Les principaux éléments qui causent cet effet sont le raffinose et la stachyose. L'addition de l'enzyme α -galactose au régime permet la digestion de cet élément, évitant les flatulences (**Newkirk et al, 2010**)

III. Traitements éliminant les facteurs antinutritionnels du soja :

La plupart des utilisations alimentaires des produits du soja sont basées sur les propriétés fonctionnelles des protéines de soja (**Berk, 1993**).

Les facteurs antinutritionnels doivent être neutralisés par les préparations traditionnelles ou par les procédés industriels de fabrication (**Roussel, 2006**).

- ✓ **la germination** : Une plus grande humidité et des températures plus basses créent de meilleures conditions pour la germination des graines de nombreuses cultures (**Anonyme₃, 1995**).
La germination diminue également la teneur en inhibiteur de trypsique et atténue le goût désagréable de soja (**Anonyme₃, 1995**).
- ✓ **Le trempage** : Le trempage préalable accélère la destruction des inhibiteurs tryptiques des graines (**Lui, 1999**).
- ✓ **La cuisson** : Il s'agit d'un traitement relativement simple et facile à appliquer. Les graines crues sont trempées et cuites pendant 30 à 120 minutes (Lui, 1999). Ce traitement a pour effet la diminution de l'activité anti-tryptique et augmente la digestibilité des nutriments (**Lui, 1999**).
- ✓ **La torréfaction** : La torréfaction exalte la saveur et le goût du produit en améliore sa digestibilité (**Lui, 1999**).
Les graines, non broyées, sont chauffées durant quelque minute à 160-180°C par conduction dans un cylindre (cuisson sèche) (**Anonyme₅, 2003**).
- ✓ **L'extraction** : la graine, préchauffée dans un conditionneur, est portée à des températures de l'ordre de 150°C pendant 10 à 30 secondes et à des pressions entre 30 et 80 bars (**Anonyme₇, 2003**).
- ✓ **Le toastage** : consiste à chauffer les graines par injection de vapeur (cuisson humide) entre 110 et 130°C pendant 30 minutes (**Anonyme₇, 2003**).
- ✓ Le flaconnage : les graines sont cuites en milieu humide à moins de 100°C et pendant 10 à 20 minutes, puis elles sont aplaties à chaud et refroidies. (**Anonyme₇, 2003**).
- ✓ **La micronisation** : les graines entières ou broyées passent sous une rampe à rayonnement infra-rouge, chauffée au gaz ou à l'électricité (2 000 à 6 000 nm pendant 45 – 90 secondes, à 120 - 145 °C). (**Anonyme₇, 2003**).
- ✓ **le jet-sploding** : fait passer les graines dans un courant d'air sec chauffé à 300°C pendant un temps court de 10 à 60 secondes (cuisson sèche). Les graines éclatent et gonflent par évaporation de l'eau qu'elles contiennent (**Anonyme₇, 2003**).

IV. UTILISATION DES PROTEINES DE SOJA EN AGROALIMENTAIRE:

IV.1. Pour leurs propriétés fonctionnelles :

Le terme « propriété fonctionnelle » appliqué aux ingrédients alimentaires est défini comme toute propriété non nutritionnelle qui influence l'utilité d'un ingrédient dans un aliment. Les diverses propriétés vont contribuer à des caractéristiques désirées de l'aliment. **(Colot et Luis, 2007)**

IV.1.1 propriété d'hydratation :

L'absorption et la rétention d'eau par les ingrédients protéiques jouent un rôle majeur dans la qualité et la texture de divers aliments. Les concentrés et isolats de protéines de soja doivent être hydratés pour leur utilisation. De nombreuses propriétés d'une préparation protéique sont en relation avec cette hydratation. **(Colot et Luis, 1998).**

IV.1.2 La viscosité :

Des variations de pH, de température, de force ionique peuvent modifier la viscosité des solutions protéiques. Toutefois, elle augmente en milieu alcalin parce que les charges électriques négatives entraînent un dépliement et une élévation maximum de la protéine. Ce phénomène est mis à profit pour la préparation de fibres de protéines de soja (filage). Elle joue un rôle important dans les aliments liquides tels que les boissons, potages, sauces et crème. **(Colot et Luis, 1998).**

IV.1.3 La gélification :

Quand des molécules dénaturées s'agrègent pour former un réseau protéique ordonné, le phénomène est appelé gélification. Elle joue un rôle majeur dans la préparation de nombreux aliments : les gels protéiques de soja (exemple : tofu) les protéines texturées par extrusion ou filage. Elle est aussi utilisée pour améliorer l'absorption d'eau, l'épaississement, et pour stabiliser les émulsions et les mousses.

L'acidification à pH 5,5 des solutions de protéines de soja ou l'addition d'ions calcium, provoque la coagulation et la formation de caillé protéique (ex : tofu). Les protéines de soja peuvent aussi gélifier sans chauffage grâce à une alcalinisation suivie d'un retour à la neutralité ou au pH isoélectrique, une protéolyse restreinte, ou l'addition de solvants miscibles à l'eau **(Colot et Luis, 1998).**

IV.1.4 La texturation :

Les protéines constituent la base de la structure et de la texture de plusieurs aliments. Il existe des procédés de texturation qui conduisent à des structures fibreuses ou en forme de film possédant une texture mastiquable et une bonne capacité de rétention d'eau. Ces protéines sont souvent utilisées pour remplacer ou « diluer » les viandes :

- coagulation thermique des solutions concentrées de protéines de soja et formation de film protéique pouvant être plissés, pressés ensemble, coupés.
- formation de fibres par filage à partir d'isolats.-

- extrusion thermoplastique. Elle donne des granules ou des morceaux secs, fibreux et poreux, qui après réhydratation possèdent une texture masticable. Il n'est pas indispensable que la matière de base soit un isolat protéique, on peut utiliser des farines ou des concentrés protéiques, beaucoup moins coûteux. **(Colot et Luis, 2007)**

IV.1.5 Les propriétés émulsifiantes :

Les émulsions sont des dispersions de 2 liquides non miscibles. De nombreux produits alimentaires sont des émulsions (lait, crèmes, glacées...) et les constituants protéiques jouent un rôle prépondérant dans la stabilisation. Les protéines de soja surtout les isolats, ont de bonnes propriétés émulsifiantes. **(Colot et Luis, 1998)**.

Les protéines de soja précipitées par la chaleur, sont des agents émulsifiants beaucoup moins performants que celles qui sont restées solubles (corrélation entre solubilité de la protéine et capacité émulsifiante). Cependant, des particules protéiques solides peuvent souvent jouer un rôle stabilisateur d'émulsions déjà formées. L'utilisation de ces matières premières du soja est très facile et ne nécessite pas d'investissements importants pour leur intégration dans les chaînes de fabrication. Les industriels des produits agroalimentaires ont donc mis au point des produits qui répondent aux exigences du consommateur par la diminution des matières grasses, et des calories tout en conservant les qualités recherchées, goût, jutosité, moelleux, et ceci au meilleur prix.

IV.1.6 La lécithine :

La lécithine est composée essentiellement de phospholipides, constitués de phosphore et d'acides gras polyinsaturés (AGPI). Elle est aussi très riche en choline et inositol, apparentés au groupe vitaminiq ue B **(Godon et Willm, 1998)**.

- Rôle émulsifiant ; utilisé en margarinerie, chocolaterie, dans les mayonnaises (fabrications qui nécessitent la liaison des fractions grasses avec des fractions aqueuses)
- Rôle assouplissant ; cette propriété facilite le passage des pâtes en machine (diviseuse, façonneuse), en limitant les phénomènes de déchirements.
- Rôle antioxydant ; réduit les phénomènes d'oxydations sur le gluten.
- Rôle antirassissant ; ralentis les phénomènes de rétrogradations de l'amidon après cuisson **(Godon et Willm, 1998)**.

IV.1.7 Lipoxygénase :

Elle est utilisée en panification pour blanchir le pain **(Godon, 1996)**.

IV.2. Pour leurs propriétés nutritionnelles :

IV.2.1 Composition en acides aminés :

Le soja couvre largement nos besoins en acides aminés indispensables (non synthétisés par l'organisme) puisqu'il les contient tous (His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Cys, Tyr, Thr, Tryp, Val) et de ce fait, ses protéines sont considérées comme les meilleures protéines végétales. Les protéines du soja visent donc essentiellement à élever l'apport protéique de certains aliments. **(Colot et Luis, 1998)**.

IV.2.2 Intolérance au lactose et allergie aux protéines de lait :

Dans le cas des traitements de l'intolérance au lactose et d'allergie aux protéines de lait, des formules à base de protéines de soja supplémentées en méthionine sont proposées pour obtenir un apport protéique similaire. Cependant, l'existence d'une allergie croisée aux protéines de soja est possible chez 20 à 30% d'enfants allergiques aux protéines de lait. **(Colot et Luis, 1998).**

IV.3. Pour leurs effets sur la santé :

IV.3.1 Rôle sur l'hypercholestérolémie:

Il est officiellement reconnu depuis 1999 qu'une consommation de protéines de soja supérieure à 25 g/jour réduit le risque de maladies cardiovasculaires **(Anonyme⁸, 1999).**

Le soja correspond aux besoins d'un régime pauvre en cholestérol et en graisses saturées. Plusieurs études ont montré un effet bénéfique sur la tension artérielle et sur la teneur en lipides sanguins (baisse du LDL cholestérol). Suite à une méta-analyse très concluante, la FDA américaine a autorisé une allégation santé reliant la consommation de 25g de protéine de soja par jour dans le cadre de la protection cardio-vasculaire **(Jacques, 2010).**

Des études faites en 1995 sur les effets des protéines de soja sur les paramètres lipidiques chez l'homme ont montré que la consommation de 47 g/jour de protéines de soja entraînait une diminution de 9,3% du cholestérol total, de 12,9% du cholestérol LDL et de 10,5% des triglycérides par rapport au régime témoin **(Colot et Luis, 1998).**

IV.3.2 Rôle sur la pression artérielle :

La prise régulière de protéines de soja est associée à une diminution de la tension artérielle systolique et diastolique **(Colot et Luis, 1998).**

IV.3.3 Soja et cancer :

* **Prévention du cancer du sein :** Deux études de cas/témoins effectuées sur des populations de femmes asiatiques indiquent que la consommation d'aliments à base de soja durant l'adolescence est liée à une plus faible incidence de cancer du sein. De plus, cet effet persisterait même lorsque ces femmes émigrent vers des pays occidentaux où elles modifient inévitablement leur alimentation. La consommation de soja dans l'enfance et l'adolescence pourrait donc réduire les risques de souffrir du cancer du sein plus tard dans la vie. **(Shū et al., 2001).**

* **Prévention du cancer de la prostate :** Une étude prospective effectuée dans une communauté de 12 395 Californiens indique que les hommes dont la consommation de lait de soja est élevée sont moins susceptibles de souffrir du cancer de la prostate. **(Jacobsen BK, Knutsen SF, Fraser GE, 1998).**

* **Prévention du cancer de l'endomètre :** Une étude de cas/témoins a été effectuée auprès de la population pluriethnique d'Hawaï (qui comprend une forte proportion d'Asiatiques) afin de déterminer s'il y avait des liens entre l'alimentation et le risque de

souffrir du cancer de l'endomètre. Les chercheurs ont conclu qu'une alimentation riche en produits d'origine végétale, y compris fruits et légumes, grains entiers et légumineuses - particulièrement le soja - réduisait le risque de cancer de l'endomètre. Selon eux, ce type d'alimentation, courant en Asie, pourrait expliquer en partie le fait que les risques de cancer de l'utérus y soient relativement plus faibles qu'aux États-Unis. **(Raymond, 1997)**.

IV.3.4 Soja et affections rénales :

Une consommation excessive de protéines animales à un effet néfaste sur la fonction rénale entraînant la lithiase rénale (formation de calculs rénaux) : l'excrétion de calcium et d'acide urique augmente tandis que l'excrétion de citrate diminue.

Or, il a été montré que, pour un apport de calcium équivalent, si les protéines animales étaient remplacées par des protéines de soja, une diminution de l'excrétion de calcium et d'acide urique et, une augmentation de l'excrétion de citrate était observée. Il a alors été suggéré qu'il pourrait y avoir une amélioration d'une fonction rénale défaillante en substituant une partie des protéines animales par des protéines végétales, notamment celles du soja **(Colot et Luis, 2007)**.

IV.3.5 Bouffées de chaleur dues à la ménopause :

Deux études randomisées à double insu et une étude multicentrique randomisée à double insu indiquent que l'intensité des bouffées de chaleur diminue chez les femmes qui consomment régulièrement des protéines de soja **(I.T Johanson et al, 2003)**.

IV.3.6 Prévention de l'ostéoporose. Une étude randomisée à double insu d'une durée de 24 semaines ainsi qu'une étude rétrospective effectuée auprès de 478 femmes japonaises indiquent que la consommation de protéines de soja riches en isoflavones diminue le risque d'ostéoporose chez les femmes ménopausées. **(I.T Johanson et al, 2003)**

V. Contre-indications :

- ✓ Allergie aux protéines de soja;
- ✓ Précaution en cas d'allergie rhinite et d'asthme;
- ✓ Chez les personnes souffrant lithiases urinaires;
- ✓ Chez les enfants allergiques au lait de vache, le soja n'est pas recommandé comme un substitut alternatif; ils peuvent développer une sensibilité aux protéines de soja. Cependant, la consommation modérée des divers produits de soja par une alimentation normale est sécuritaire chez ces groupes.
- ✓ Cancer du sein, des ovaires et de l'endomètre, ou en cas connus de cancer hormonodépendants chez de proches parents. Les phytoestrogènes de soja peuvent alimenter directement une tumeur œstrogénodépendante. Des doses élevées sur une période prolongée (plus de 150 mg d'isoflavones par jour, pendant plusieurs années): risquent de développer de l'hyperplasie de l'endomètre.
- ✓ Grossesse
- ✓ Allaitement: l'innocuité n'est pas encore établie;
- ✓ Hypothyroïdisme: les isoflavones de soja peuvent alors inhiber la synthèse d'hormones thyroïdiennes **(Anonyme a₁, 2012)**

VI. Les dérivés de soja :

Les principaux produits dérivés et exemple d'utilisation sont représentés dans la figure suivante :

- ◆ Le soja provient de culture intensives, traditionnelles ou de plus en plus à partir de semences OGM.
- ◆ Les graines de soja après récolte sont nettoyées, traitées, décortiquées et peuvent suivre ensuite plusieurs voies de transformation selon leur destinée.

VI.1.Extraction des lipides (par pression à froid ou à l'aide de solvant) :

- Elle donne de l'huile (**l'huile de soja**) et de la farine :
 - La première pression à froid donne une huile de bonne qualité nutritionnelle.
 - L'extraction par les solvants est plus courante et donne une huile raffinée servant à la préparation de margarines et d'huiles de cuisson.
 - La lécithine peut être concentrée pour constituer un additif alimentaire (E332).
 - La farine contenant de l'amidon et des protéines est utilisable en pâtisserie dans l'industrie agroalimentaire.
 - La farine peut aussi donner des protéines de soja texturées (PST) obtenues par compression conduisant à un changement de structure probable des molécules protéiques. On obtient un produit riche en protéines (55 à 70%) et en fibres, pauvre en matières grasses et en sels (**jacques, 2010**).

* Obtention de l'huile brute de soja :

Par trituration, les graines de soja sont transformées en huile de soja et en tourteaux par l'alimentation du bétail. Le traitement des graines de soja qui sont dites pauvres en huile est constitué de : Nettoyage, séchage, maturation, décortilage, aplatissage, extraction et séchage (**Debruynne, 2001**).

- **Nettoyage** : Les graines de soja sont soit stockées par l'agriculteur à la ferme, soit transportées aux silos de l'usine, la tâche la plus dure consiste à transporter la récolte d'un lieu de stockage à un autre sans trop nuire à l'état de la graine. Les graines doivent être bien nettoyées, elles subissant d'abord un dépoussiérage par un courant d'air. Puis le nettoyage se poursuit par un tamisage et passage sur des électroaimants. (**Mustapha et Stauffer, 2002**).
- **Séchage** : Il est indispensable que la partie non grasse ne comporte pas une humidité atteignant 15%.
 - Un séchage est aussi nécessaire pour le décortilage.
 - Pour le soja, on sèche à niveau de 10% puis la graine séché dans un silo où elle séjourne 1 à 3 jours.
 - Sans cette maturation qui permet l'équilibrage de l'humidité les coques se séparent mal au décortilage (**Laisney, 1992**).
- **Le décortilage** : L'intérêt de décortilage est d'éliminer les matières sans valeur pour l'alimentation animale, mais surtout de faciliter les traitements ultérieurs. Le décortilage sera réalisé en fonction de la matière protéique et de l'huile contenue dans la graine pour arrivera avoir un tourteau à 44, 48 ou 50% de matières PROFAT (Protéin Fat, Protéins+ matières grasses).

-Pour le soja, la coque se sépare facilement, l'amande et la coque constituent de, mélanges qu'il faut dissocier avec des tamis. Le concassage grossier se fait sur des concasseurs à 4 cylindres cannelés (**Laisney, 1992**).

- **Aplatissage** : Le concassage est suivi d'un aplatissage sur cylindre lisses, une température de 65°C est nécessaire pour avoir l'état thermoplastique indispensable pour fournir des flacons qui ne s'effritent pas. Cette température servira d'ailleurs de source de chaleur pour l'extracteur qui doit travailler à plus de 52°C pour des raisons de sécurité mais aussi parce que l'extraction est meilleure à chaud qu'à froid (**Laisney, 1992**).
- **Extraction** : L'extraction de l'huile est effectuée d'abord par pression et ensuite au moyen de solvants. La matière première est pressée dans des presses à vis, en continu, et l'on obtient d'une part l'huile brute et d'autre part un résidu solide ou tourteau qui contient encore 10 à 20% d'huile. Le tourteau subit en suite une extraction au moyen d'un solvant l'hexane. Le tourteau préalablement broyé et le solvant circulant à contre-courant dans l'extracteur. Le mélange solvant huile ainsi obtenu est débarrassé du solvant par distillation. Le tourteau est déshuilé qui sera éliminé par chauffage aussi de solvant est récupère pour de nouvelle utilisation et les tourteaux sont utilisés pour l'alimentation animales (**Denise, 1998**).
- **Séchage** : Il est souhaitable de sécher l'huile pour avoir moins de 0.1% d'humidité, il se fait toujours par pulvérisation de l'huile chauffée à 80-90°C dans une enceinte sous un vide de l'ordre de 50mm de mercure (**Laisney, 1992**). Les moyens employés pour le séchage et le stockage des graines ainsi que les procédés de trituration l croissant susceptibles d'introduire dans les corps gras bruts des substances contaminants qu'il faut éliminent pour livrer à la consommation humaine un aliment parfaitement conforme à la réglementation relative aux produits alimentaires (**Denise, 1998**).
- **L'huile de soja** : est une huile très polyinsaturée. comme toute huile végétale, elle est exempte de tout cholestérol et très pauvre en acides gras saturés. L'huile de soja offre une combinaison unique de deux acides gras, l'acide Linoléique (acide gras n-3) et l'acide linoléique (acide gras n-6), sachant que les acides gras n-3 ont des propriétés identiques à celle de l'huile de poisson et diminuent le risque de maladie cardio-vasculaire. (**Debruynne, 2001**).
- **La farine de soja** est le résultat de la mouture en poudre fine de graines de soja grillé ou de l'Okara .riche en protéines de haute qualité et en qualité d'autres aliments nutritifs, la farine de soja donne une texture et un goût agréable a une diversité de produit.
On distingue actuellement deux types de farines de soja :
-la farine complète ou grasse, qui contient les huiles naturelles de la graine de soja.
-la farine de soja déshuilée qui a été débarrassée de l'huile et des matières grasses. (**Anonyme y, 2006**).

La fabrication de l'huile de soja est apportée dans le schéma suivant :

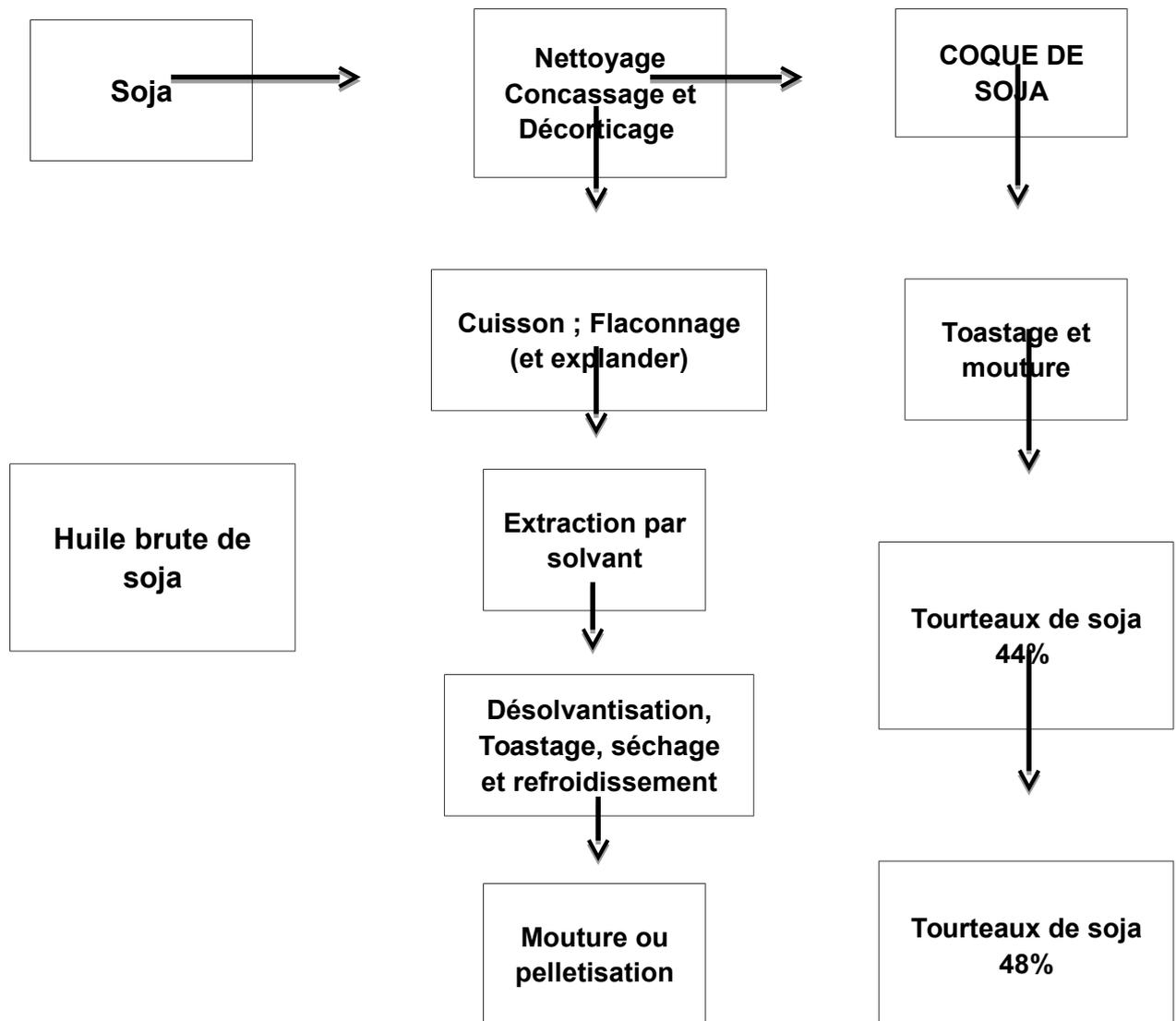


Figure 08 : Schéma de l'extraction de l'huile de soja brute (Mustapha et stauffer, 2002)

VI.2. Broyage et filtration :

* Fermentation traditionnelle :

Elle donne des sauces :

- Le **Tamari** est une source de soja fermentée, sans blé, à un goût plus prononcé que le Shoyu (Roussel, 2006).
- Le **Shoyu**, ou « sauce de soja », est un liquide brun sombre et salé, à l'arôme particulier et au goût de viande (Berk, 1993), fabriqué à partir de graine de soja fermentées et d'une céréale torréfiée, fermentée et vieillie (Roussel, 2006). C'est un condiment capital de la saveur dans la cuisine orientale (Berk, 1993).

- Le **Tympeh** est un produit d'origine indonésienne, à base de graines de soja fermentées par des moisissures *Rhizopus* (producteur de vit B12.) (**Berk, 1993**). Il se présente sous forme de gâteau compact et ferme (**Roussel, 2006**).
- Le **Natto** est un tempeh à la mode japonaise (**Roussel, 2006**). Il est produit en faisant fermenter des graines de soja torréfiées par *Bacillus Natto* (**Riaz, 2006**).

* D'autres produits :

- Le **Sufu** est un fromage végétal obtenu à partir d'un caillé pressé du type *tofu* et inoculé avec un *phycomycete Actinomuvor elegans* (**Godon, 1996**).
- Le **yuba** est un produit répondu en Chine .il est obtenu par chauffage d'un lait de soja qui provoque la formation d'un film à la surface du liquide. Les films protéiques, récupérés successivement au cours du chauffage, sont séchés à l'air. Ils contiennent alors 10% d'eau, 52%de protéines et 24%de lipides (**Godon, 1996**)
- Le **Miso** est une pâte riche et savoureuse, préparée soit à partir des graines de soja entières, âgées et fermentées ou par des graines de soja combinées avec le blé, l'orge, ou le riz (**Riaz, 2006**). Le *Miso* sert de condiment de tous usages, comme concentré de « soupe instantanée » et comme bonne source de protéines (**Berk, 1993**).

* Produits nouveaux :

- **Yaourt de soja :**
 - Yaourt de soja gélifié : Dans la formulation du yaourt de soja gélifié, le lait de soja est inoculé, mis dans le pot de yaourt qui est ensuite fermé. La fermentation et le refroidissement ont lieu dans les pots.
 - Yaourt de soja brassé : Dans la formulation du yaourt de soja brassé, le lait de soja est inoculé, fermenté, refroidi, brassé et éventuellement mixé (ex. avec les fruits préparés) dans les récipients. Le yaourt est emballé à la dernière étape.
 - Yaourt de soja à boire : Le yaourt de soja à boire est un produit à basse viscosité. Sa formulation est identique à celle du yaourt brassé sauf que le yaourt est violemment brassé après la fermentation afin de détruire une partie du gel formé et rendre le produit moins visqueux.

* Les produits non fermentés :

- On obtient ainsi du jus de soja qui est transformé en tonyu (appelé improprement « lait de soja ») par traitement à haute température (> 130° selon le procédé U.H.T) pour dégrader le facteur antinutritionnel. Le tonyu sert de base à d'autres préparations :
- Le tofu, qui est un caillé de tonyu, égoutté et pressé.
 - Diverses spécialités mises au point par les industries agro-alimentaires dont le sojami obtenu par lacto-fermentation du tonyu (**Jacques B, 2010**).

- L'**Okara**, appelé aussi « farine de soja » est le résidu insoluble obtenu après la filtration du lait de soja (**Liu, 1999**). Elle est souvent mélangée à d'autre farines (**Anonyme u, 2009**).

- Le **Tofu**, ou « fromage de soja », est fabriqué à partir de lait de soja qui, une fois caillé donne une purée, elle-même transformée en une sorte de fromage qui peut être utilisé tendre, ferme ou frit (**Anonyme u ,2009**).

V. Le lait de soja :

Le **tonyu**, ou « lait de soja », est le nom souvent donnée aux extraits aqueux de fèves de soja en raison de leur aspect laiteux (**Anonyme₃, 1995**). C'est une suspension blanche contenant des glucides et des protéines solubles, et la majeure partie de l'huile de soja (**Berk, 1993**).

Le lait de soja ne contient pas de lactose d'où son intérêt pour les populations dépourvues de lactase. Il ne possède pas de cholestérol et ses lipides sont composés principalement d'acides gras polyinsaturés d'où son intérêt diététique (**Liu et al., 2002**).

La composition du lait de soja extrait à partir des graines de soja entières dépend du ratio entre la quantité de soja et d'eau utilisé et des paramètres du processus de fabrication. La teneur en protéines du lait de soja peut varier de 1 à 4%, et il ne contient ni lactose ni cholestérol.

V.1. Production de lait de soja

Le tableau suivant illustre le traitement à faire, l'opération et l'équipement :

Tableau N°13 : Production de lait de soja (Tonyu)

Traitement	Opérations (procédé courant)	Equipement artisanal	Equipement semi-industriel
1. Nettoyage, lavage et pesage	Retirer les saletés et les pierres des graines puis les laver dans l'eau tiède.	Bassins et seaux	Bassins et seaux

2. Trempage	Tremper les graines dans l'eau pendant 14 heures. 1kg de graines de soja dans 1l d'eau.	Bassins	Bassins
3. Broyage	Passer le soja dans un moulin en ajoutant 8 litres de l'eau tiède à 1 Kg de soja.	Moulin Electrique :	Broyeur/cuiseur électrique
4. Cuisson	Le mélange broyé va directement dans une marmite de cuisson et il est chauffé jusqu'à l'ébullition. La cuisson continue jusqu'à ce que les mélanges aient une consistance de lait.	Marmite chauffée directe au bois de chauffe	
5. Filtrage	Le lait est filtré à travers un moustiquaire	Tissu moustiquaire, égouttoir	Presse manuelle et filtre
6. Aromatiser	Pour donner un goût au lait de soja, des arômes sont ajoutés pour des goûts divers de chocolat, de vanille, etc.		
7. Conditionnement	Le lait de soja est mis en sachets plastiques en quantité de 200 ml et 500 ml.	Sachets et soudeuse manuelle électrique	Thermo-soudeuse électrique de sachets plastiques
8. Stockage	Le lait est conservé à l'état frais	Réfrigérateur	Réfrigérateur

Source : **(Juvenal, 2010)**

V.2. Stabilité du tonyu après fabrication :

La durée de vie du tonyu est conditionnée par sa stabilité microbiologique, physique et organoleptique (Godon, 1996).

❖ Stabilité microbiologique :

Le tonyu constitue un excellent milieu de culture, car tous les éléments nécessaires au développement microbiens sont présents et l'activité d'eau est élevée. **(Godon, 1996)**. Les propriétés microbiologiques du lait de soja doivent être conformes au tableau suivant :

Tableau N°14 : les propriétés microbiologiques du lait de soja

propriétés	Nombre dans 1ml
Nombre de micro-organismes mésophiles, aérobies et anaérobies facultatifs.	50000
Coliforme	Abs
Salmonella	Abs
Staphylococcus aureus	Abs
Bacillus.cereus	Abs
Moisissures	10

Source : **(Stépha, 2003)**.

❖ Stabilité lors du stockage :

La durée de vie du tonyu est limitée par la détérioration progressive de ses caractéristiques organoleptiques : apparition d'amertume, de goût crayeux, rance oxydé. Une augmentation de la température de stockage accélère au cours du temps la chute du pH, l'accroissement de la viscosité, ces phénomènes se produisent quoi que ralenti, même à 5°C et en dessous. On observe également une protéolyse ; la teneur en acides aminés libres est d'ailleurs extrême bien corrélée avec la saveur du tonyu **(Godon, 1996)**.

❖ Caractéristiques nutritionnelles du lait de soja :

Le lait, lorsqu'il est préparé correctement, contient les mêmes composants que le lait de vache, à l'exception du lactose et du calcium. Il est de ce fait très déconseillé de donner du lait de soja qui ne serait pas enrichi en calcium et vitamine D à un nourrisson car ce dernier pourrait souffrir de rachitisme.

Le lait de soja est moins calorique que le lait de vache (37kcal pour 100ml de lait de soja contre 45kcal pour le lait de vache). Il contient également moins de matières grasses saturées et est dénué de graisse hydrogénée (ou acides gras trans). Les acides gras trans sont responsables de l'augmentation du mauvais cholestérol mais également de la diminution du bon. Ils entraînent donc des risques cardio-vasculaires importants.

Par contre, pour une même quantité, le lait de soja est plus riche en protéides et en lipides que le lait de vache.

Tableau N°15 : comparaison des valeurs nutritionnelles moyennes (pour 100ml) du lait de soja par rapport au lait de vache.

Composition du lait de soja et comparaison avec le lait de vache (pour 100 ml)		
Composants	Lait de soja	Lait de vache
Calories	37 kcal	45 kcal
Eau	92 ml	90 ml
Protides	3,7 g	3,2 g
Lipides	2,2 g	1,5 g
Glucides	0,4 g	4,8 g
Lactose	0	4,5 - 5 g
Calcium	0	120 mg

Source : (Adeline, 2010)

V.3. Le lait de soja, une source inestimable de protéines végétales

Le lait de soja présente un pouvoir nutritif élevé par sa teneur élevée en protéines, par rapport à celle du lait de vache, par le fait de lait de soja fournit les acides aminés essentiels indispensables à la croissance et au maintien de l'organisme, comparé aux recommandations journalières par la Fao /OMS pour les enfants et les adultes (Anonyme, 2006)

V.4. Le goût d'haricot du lait de soja et composés responsables

Le goût de haricot apparaît dès le broyage de la graine crue, donc dès la mise en contact des différents composés, ce qui sous-entend que plusieurs composés sont impliqués. On identifie la cause majeure de ce goût caractéristique à la présence de lipoxygénase dans la graine de soja.

Cette enzyme catalyse l'oxydation de cis, cis, 1,4 pentadiènes contenus dans les acides gras des lipides du soja pour former des 1, 3 cis trans hydroperoxydes, qui se décomposent en ethyl vinyl cétone, n-pentanal et 1- octène 3- ol, qui donne la flaveur du haricot.

V.5. produits dérivées de lait de soja :

A la suite du succès commercial du lait de soja, des imitations de produits laitiers ont été mises au point à partir de lait de soja ou de mélanges de soja et de lait de vache. Le lait de soja se caille quand on l'acidifie par fermentation lactique naturelle ou par addition d'acide. Par une acidification soigneusement contrôlée on peut obtenir des produits de type gel qui ressemblent aux produits laitiers fermentés comme le yaourt.

Le lait de soja ne contenant pas de lactose, les cultures de bactéries lactiques habituellement utilisées dans l'industrie laitière ne peuvent fermenter le lait de soja. On contourne cette difficulté en ajoutant du lactose, les solides du petit lait ou du lait de vache. Une autre solution encore au stade de la recherche, serai de mettre au point, par génie génétique, des souches de bactéries qui fermenteraient les glucides naturels du lait de soja et produiraient l'acide lactique. On trouve maintenant dans divers pays des yaourts de soja de qualité tout-à-fait acceptable.

La « crème glacée » de soja est également un autre produit dérivé du lait de soja ce produit est bien accepté par les végétariens et les personnes qui surveillent leur taux de cholestérol (**Berk, 1993**).

Notre travail a été effectué au niveau de la laiterie fromagerie (**L.F.B**) durant une période de stage s'étalant du 4 avril au 4 juillet.

I. Présentation de l'unité :

L'unité de « Laiterie fromagerie » de BOUDOUAOU (**L.F.B**) appartient au groupe industriel pour la production du lait (G.I.P.Lait).

Cette unité créée en 1978 sous l'ancienne appellation ONALAIT, elle s'étend sur une superficie de cinq hectares ; elle est située à l'entrée ouest de la ville de BOUDOUAOU, wilaya de BOMERDES à environ 40 Km d'Alger.

★ Composition de l'unité :

Elle est composée de :

- Atelier de « laiterie » et « fromagerie » qui sont équipés d'installations automatiques de nettoyage et de désinfection.
- Cuves d'affinage pour le fromage et de chambre froides de stockage.
- Des locaux de stockage de la matière première, et de service généraux et sociaux.
- Bâtiment administratifs.
- Laboratoire d'analyse physico-chimique et microbiologique assurant la surveillance de la qualité des produits vendus ainsi que le contrôle du processus de fabrication.
- Une station de traitement des eaux brutes.
- Une station de traitement des eaux usées.

★ Production de l'unité :

L'unité de « LFB » assure la production de :

- Le lait pasteurisé conditionné en sachet de polyéthylène d'un litre.
- Le lait acidifié fermenté (L'ben) en sachet d'un litre.
- Le lait en poudre instantané en sachet de 200g
- Le fromage fondu pasteurisé en portion (boîtes de huit, seize portions, barre de 1 Kg.
- Le fromage fondu stérilisé dans des boîtes métalliques de 200g.
- Le fromage de type « EDAM » en forme de boule paraffinée rouge.

★ L'effectif de la laiterie fromagerie de BOUDOUAOU est de 441 agents.

II. Démarche expérimentale :

Notre travail consiste à préparer trois échantillons du fromage fondu par incorporation de lait de soja dans trois recettes par 30%, 38% et 43% ces trois recettes sont choisies suite à des travaux précédents dans le but d'optimiser les quantités de lait de soja à incorporer au risque d'enregistrer un effet négatif sur la texture et les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques du produit fini.

Nos essais ont été fait au niveau du laboratoire de l'unité de L.F.B. le matériel utilisé est le suivant :

II.1. Matière biologique :

Nous avons utilisé le matériel suivant : le lait de soja, le cheddar, poudre de lait de 26%MG, le sel, préfonte, l'eau de procès.

II.2. Matériel de fabrication:

Au cours de la fabrication de fromage nous avons utilisé le matériel suivant: balance, broyeur, cuiseur vapeur.

II.3. Matériel physicochimique :

Le contrôle physico-chimique a pour but d'analyser les matières premières et le produit fini, en passant par les différents paramètres (pH, EST, MG, H). Il présente l'analyse et signale toute erreur de fabrication et toute modification des paramètres au cours du processus de fabrication et nous renseigne sur le traitement possible à appliquer. Pour la réalisation des analyses physicochimique nous avons utilisé le matériel suivant :

- **L'appareillage** : balance analytique, agitateur magnétique, bain marie maintenu à 65°C et 80°C ,bécher ,thermomètre, Butyromètre GERBER à lait ,Butyromètre VAN GULIK avec système de pesage à fromage, centrifugeuse ,dessiccateur muni d'un dèshydrateur efficace, éprouvette, fiole conique, homogénéisateur, pH-mètre ,pipette graduée.

- **les réactifs** : acide sulfurique d=1,522, acide sulfurique d=1,82 (lait), alcool iso amylique d=0, 813, acide sulfurique solution titré à 0,1N, bichromate de potassium (9, solution d'EDTA 0,01M, solution $K_2Cr_2O_7$), noir ériochrome T(NET), nitrate d'argent à 0,1N, phénolphtaléine à 1%, solution NaOH à N/tampon K10, solution tampon de référence à PH=4, solution tampon de référence à pH=7.

II.4. Matériel microbiologique :

Au cours de la réalisation des analyses microbiologique le matériel suivant a été utilisé: les boites pétris, l'eau physiologique, pipette pasteur, les milieux de culture (VRBL, PCA, BEA, Sabouraud, Baird Parker, VF, Eau Peptone Tamponné, Sélinite-cystéine, OGA, Hektoen, Rouge de phénol). (**Annexe N° 1**)

III. Fabrication du lait de soja :

Nous avons utilisé le lait de soja ce lait a été préparé à partir des graines entières de soja de la variété « Lynda », fournies par le centre de recherche de production et d'information sur le soja « SOY VILLAGE ».

III.1. Caractérisation de la variété « Lynda » :

La variété « Lynda » appartient à l'espèce « Glycine max » qui est connue par sa richesse en protéine, sa teneur est estimée à 38% de protéine, originaire d'ITALIE, résistante aux maladies et issue d'une bonne production.

III.1. Processus de fabrication du lait de soja:

Le procédé de la préparation est réalisé dans un appareil spécifique appelé « Soy magic » selon « SOY VILLAGE » est le suivant :

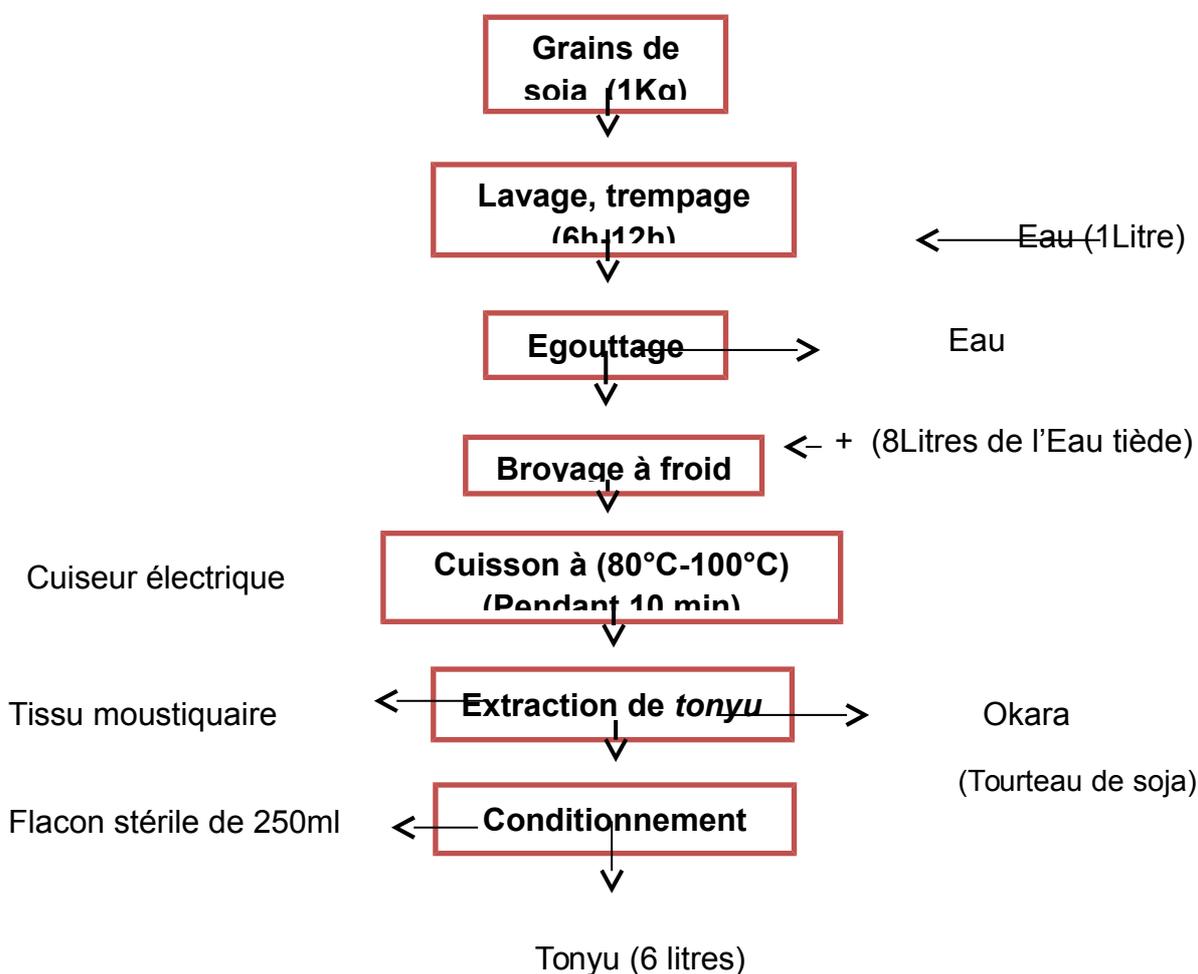


Figure 09 : Procédé de fabrication du lait de soja au niveau de (SOY VILLAGE)

IV. Processus de fabrication de fromage fondu

Le procédé de la fabrication du fromage fondu à LFB est le suivant :

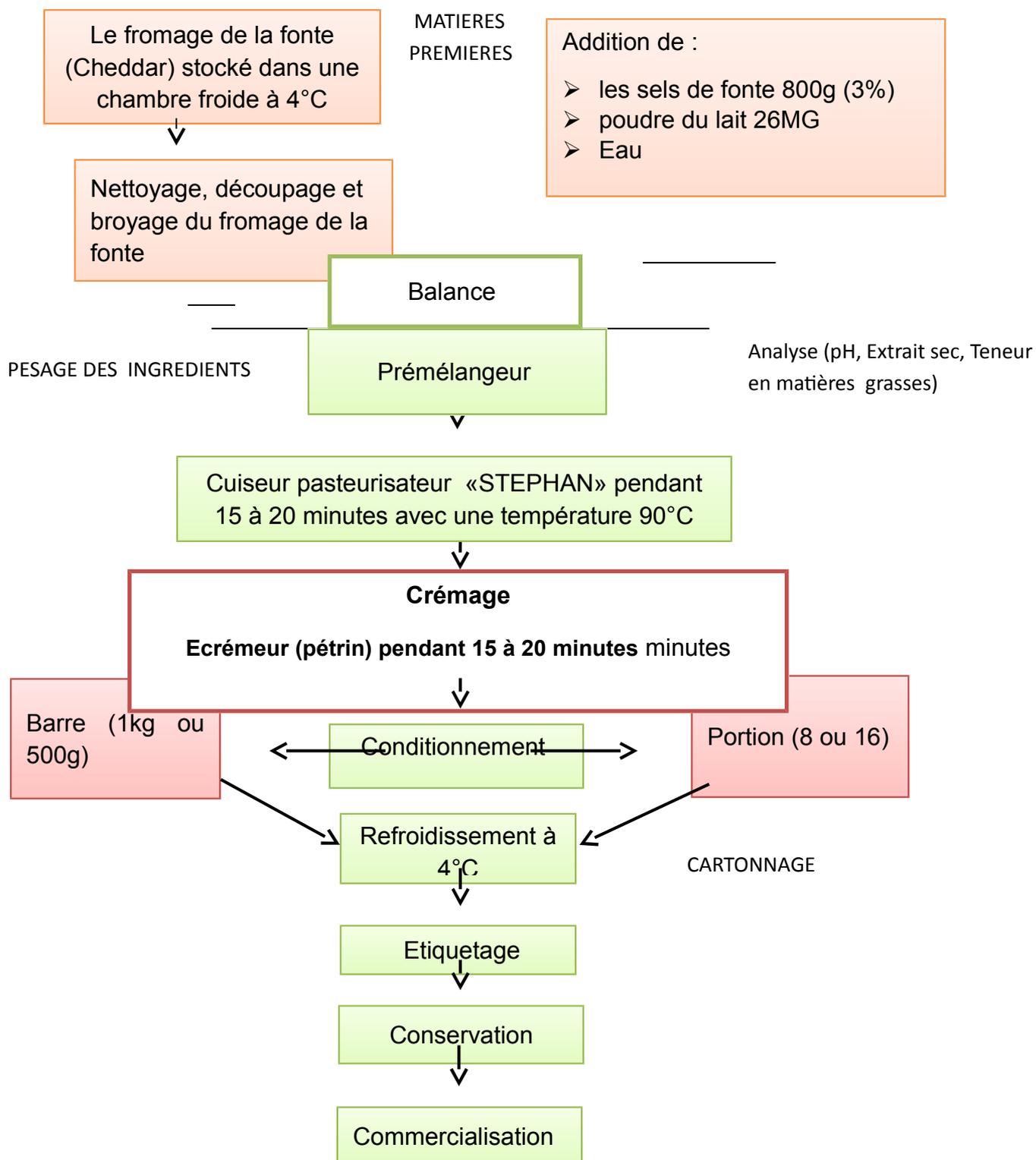


Figure 10 : Diagramme générale de la fabrication du fromage fondu pasteurisé selon « LFB »

VI.1. matières premières utilisées :

La sélection des matières premières est guidée par les caractéristiques du produit fini. Le choix des matières premières contribuera à la détermination du procédé de fonte. **(Gaucheron, 2004)**.

Au cours de la réalisation des trois essais au niveau de **LFB**, les matières premières utilisées sont :

VI.1.Cheddar (fromage de la fonte) :

C'est un fromage à pâte pressée non cuite, riche en protéines, apte à la fonte, confère la texture homogène au produit fini. Le cheddar a été fourni par **LFB**.

Le cheddar doit être conditionné sous emballage plastique, thermosoudé, étanche, et thermique, assurant une conservation totale (transport et stockage compris) jusqu'au moment de l'utilisation du produit ; il sera destiné pour la fabrication du fromage fondu en portion, en barres ou en boîtes métalliques **(Rauger, 1979)**.

VI.2.La poudre de lait à 26% de MG:

Poudre crémeuse de couleur blanc-jaunâtre. Saveur et odeur lactées ; obtenu par la déshydratation du lait entier naturel soumis à un traitement thermique, équivalent au moins, à la pasteurisation et réalisé à l'état liquide avant ou pendant le processus de fabrication.

Dans la fabrication du fromage fondu à tartiner, la poudre de lait employée est une poudre de lait entier (26% de matière grasse) **(Luquet, 1990)**.

VI.3.Le lait de soja:

Il représente une source de protéines végétales.

VI.4.L'acide citrique:

Il joue le rôle d'un acidifiant, il a pour but d'ajuster le pH de mélange. Il a été fourni par **LFB**.

VI.5.Le sel:

Il modifie les propriétés de l'eau, agit sur l'hydratation des protéines, change la solubilité de d'autres sels minéraux et bien sûr intervient dans l'appréciation sensorielle des aliments **(Gaucheron, 2004)**.

VI.6.Eau:

Il favorise l'hydratation des poudres qui par conséquent assure la formation d'un mélange homogène qui facilite l'action des sels de fonte **(Eck et Gillis, 1997)**.

VI.7.Les sels de fonte :

Les sels de fonte sont des ingrédients de base, qui rentrent dans la fabrication du fromage fondu.

Dans la réglementation française et dans les normes **FAO/OMS(1976)**, les sels de fonte sont autorisés et utilisés en faible quantité par rapport au fromage, à raison de 3% du poids de la matière première mise en œuvre.

Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières utilisées sont données sur le tableau N°16° :

Tableau N°16 : Caractéristiques physico-chimiques des matières premières

	EST(%)	MG(%)	LACTOSE(%)	MAT(%)
Cheddar	63	33	00	24
Poudre de lait 26%MG	97	26	40	25
Acide citrique	100	/	/	/
Sel de fonte S203 (joha)	100	/	/	/
Lait de soja	7,28	2,26	0	3,56

Source : (Fiche technique de LFB)

VI.2. les recettes des trois essais d'incorporation du lait de soja dans le fromage :

Le calcul de formulation du fromage fondu est important, non seulement pour respecter les normes internationales (MG, EST et G/EST doivent être conforme aux indications déclarées), mais aussi pour assurer la rentabilité des produits. **(Kasomel, 1990)**

Les quatre recettes ont été appliquées à l'échelle industrielle et fixée par LFB façon à obtenir des produits ayant un : EST, MG, MAT, G/S conforme aux Normes et objectifs physicochimiques.

Les objectifs physico-chimiques à atteindre pour les trois recettes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N°17 : Objectifs physico-chimiques atteindre pour les quatre formulations

Les paramètres physicochimiques	objectifs
EST(%)	45 min
MG(%)	20±1
G/S(%)	44±1
Ph	5,65 +/- 0,2
MAT(%)	19±1

Ce travail consiste à un essai témoin comportant 0% de lait de soja et trois autres essais comportant respectivement deux d'incorporation 30% ,38% et 43% de lait de soja.

Les quatre formulations du fromage fondu sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N°18 : les trois formulations du fromage fondu

Ingrédient (Kg)	E à 0%	E à 30%	E à 38%	E à 43%
Cheddar	7	7	7	7
Poudre de lait (26 MG)	6,5	5,2	4.8	4
Acide citrique	0,15	0,15	0,15	0,15
Sel	0,15	0,15	0,15	0,15
Sel de fonte	1,1	1,1	1,1	1,1
Eau de formule (L)	15	12	10,8	8.9
Lait de soja (L)	/	15	17,5	21,5
Préfonte	20	10	10	10
Total	49,9	50.6	51,5	52,8

V. Méthodes

V.1.Processus de fabrication:

Avant de lancer la production d'un nouveau produit, il faut :

- étudier en détail toutes les données
- faire des essais en laboratoire
- faire des essais en usine
- bien observer et analyser les produits obtenus dans ces essais sur une durée minimale de 3 semaines. **(Kasomel, 1990)**

Tableau N°19 : Objectifs physico-chimiques atteindre pour les quatre formulations selon les normes Algérienne 2007 utilisé par LFB :

Paramètres	(Normes Algériennes, 2007)
pH	(5,65 – 5,85).
EST.	46% min.
G/S	40%min.
T° de pasteurisation	90°C-10minutes

Les étapes de fabrications se résument ainsi:

- Préparation des matières premières (pesage, broyage).
- Fonte et cuisson de mélange.
- Conditionnement.
- Refroidissement.
- Stockage et conservation

V.2. Les différentes étapes de la fabrication du fromage fondu pasteurisé en barre utilisé par LFB:

La recette a été fixée par LFB de façon à obtenir un produit ayant un : EST, MG, MAT, G/S conforme aux Normes et objectifs physicochimiques.

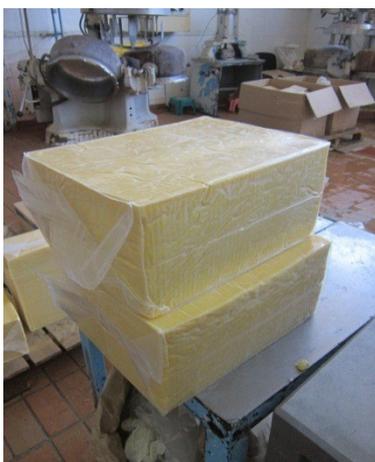
V.2.1. Préparation des matières premières :

L'opération de nettoyage est manuelle le cheddar est déshabillé d'abord de son film plastique puis débarrassé à l'aide d'un couteaux ou grattoir, de sa croute pour éviter les grumeaux.

V.2.1.1. Découpage, broyage du fromage de la fonte (Cheddar) :

C'est une étape importante du traitement des matières premières car il est indispensable de dissocier finement le fromage pour obtenir un fromage fondu homogène.

Le broyage du fromage de la fonte s'effectue à l'aide d'une râpeuse, un broyeur de type Kustner, le fromage cheddar broyé est recueilli dans des grands bacs en acier inoxydable.



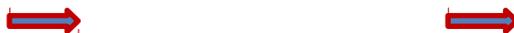


Figure 11 : Le découpage et le broyage de cheddar (**Photo originale**)

V.2.1.2.Pesage

Une production uniforme ne peut être garantie que si les charges et quantités destinées au cuiseur sont pesées très exactement. (**Kasomel, 1990**) Les matières premières sont pesées, une par une pour chaque recette de (0%,30%,35%) dans une balance, qui sont amenées vers le cuiseur dans wagonnets.



Figure 12 : Pesage des matières premières

V.2.1.3.Mélange des ingrédients :

Cette opération se fait dans des grandes machines qu'on appelle « [Pétrins cuiseurs](#) », Après un broyage grossier et pesage des matières premières, les charges sont versées dans des wagonnets et amenées au cuiseur où elles vont subir un deuxième broyage plus fin grâce aux couteaux qui se trouvent au fond du cuiseur.

Aux matières premières fromagères et laitières, nous ajoutons de l'eau et des sels de fonte, puis nous effectuons un prébroyage de l'ensemble pendant quelques minutes pour obtenir un mélange prêt à être fondu.

L'homogénéité du mélange est fondamentale pour assurer une bonne qualité du produit fini, elle est notamment en fonction du matériel, de l'intensité des forces de cisaillement générées par les systèmes d'agitation. (**Boutonnier, 2000**)

V.2.1.4. Traitement thermique du mélange :

le traitement thermique du mélange consiste la cuisson et le brassage simultanée dans les pétrins traditionnels à double parois de marque Kustner et chauffage par injection directe de vapeur sous vide réalisant une pasteurisation du fromage fondu à 85 à 90°C pendant 5 à 10 minutes. Durant cette étape la transformation par la chaleur et à l'aide des sels de fonte du gel de parra caséinates insoluble en gel de parra caséinates soluble devenu homogène et fluide .



le cuiseur (Photo originale)

V.2.1.5. conditionnement du fromage fondu :

Pour éviter une contamination ou conditionnement le transfert du fromage se fait par des tuyauteries en acier inoxydable démontant des cellules au niveau de **LFB**. Cette opération se fait manuellement par des seaux contenant la pâte chaude de fromage fondu qui viennent alimenter directement la couleuse de double parois ou l'eau courante circule, ses machines emballent à très grandes vitesse à 60 a plusieurs portion a la minute le fromage fondu plus ou moins chaud et le mettant dans des feuilles d'aluminium qui sont protégés thermo soluble exempt de phares rayures et autre lésions pour ne pas provoquer des altérations de la qualité du produit telle que mauvais gout et formation de gaz .

La formation du produit est donnée par l'emballage (portion), le conditionnement est assemblé manuellement dans des boites rondes en carton contenant huit portions a seize triangulaires.



Figure 14: conditionnement du fromage fondu en barre (**Photo originale**)

V.2.1.6. Refroidissement :

C'est au cours de cette phase que se produit la gélification grâce à des liaisons hydrogènes formant le réseau protéique qui va se structurer pour former un gel qui va emprisonner fortement la matière grasse ainsi que l'eau.

Ce refroidissement varie en fonction de type de produit, il doit être rapide pour les fromages fondu à tartiner. Les boîtes en cartons contenant les portions sont déposées dans des chambres de refroidissement sous une température de 4°C.



Figure 15: le conditionnement dans des boîtes rondes en carton contenant huit portions à seize triangulaires.

V.2.1.7. l'étiquetage :

L'étiquetage est illustré sur le couvercle de la boîte, elle doit contenir :

- la teneur en MG dans l'Extrait sec
- le poids selon les usages du pays dont le produit sera vendu
- la liste complète des ingrédients doit figurer par ordre décroissant selon leur proposition
- le nom de pays producteur doit être déclaré dans le cas où les produits sont destinés à l'exportation ou vendus sur le marché extérieur
- la date de fabrication et de péremption du produit
- température de conservation

V.2.1.8. Conservations :

Le fromage fondu est apparenté aux conserves et aux semi-conserves à base de la température, il se conserve plusieurs mois à température ambiante, il se conserve 3 à 6 mois afin de prévenir des possibles altérations d'origine chimique (rancissement et oxygénation de la matière grasse) et malgré cette qualité exceptionnelle de stockage et tous les climats certaines précautions élémentaires

doivent être prise pour la conservation ,le transport et la distribution en particulier pour les pays chauds.

- éviter l'exposition longue a une chaleur excessive et le stockage a une température trop élevée, une conservation à basse température est souhaitable.

Si on veut éviter une altération d'origine microbienne et afin de conserver le gout du fromage.

- éviter le mouillage surtout lorsque il s'agit de la boite en carton.

VI. Méthodes de prélèvement physicochimique de la matière première :

VI.1. Analyses physicochimiques du lait de soja :

Les analyses physicochimiques sont réalisées au sein du laboratoire de la laiterie-fromagerie de BOUDOUAOU.

Les prélèvements des échantillons sont effectués dans des conditions d'hygiène et d'asepsie à partir de lait de soja (20L), bien homogénéisés,

➤ Détermination du pH :

- **Principe :**

La mesure de pH est largement utilisée en industrie laitière pour la caractérisation des produits des processus technologiques.

En milieu aqueux ; l'ion H^+ et sous sa forme hydratée H_3O^+ et la formule est

$$pH = - \log+ [H_3O^+]$$

La mesure du pH est une mesure potentiométrique (mesure d'un potentiel ou d'une tension) qui est réalisée à l'aide d'une électrode de référence dont le potentiel ne varie pas en fonction de la solution à mesurer. Ces électrodes sont utilisées généralement sous la forme d'une électrode combinée.

Une chaine de mesure de pH est composée d'un système de mesure et de référence. D'un transmetteur dont la fonction est de présenter le signal de manière appropriée (affichage numérique par exemple) et d'un système de mesure de la température (capteur intégré à la machine ou non).

- **Mode opératoire :**

- prélever 10 ml de lait de soja
- placer les deux électrodes à l'intérieur de lait

- **Expression des résultats :**

Lire directement les résultats sur le cadran de l'appareil

➤ Détermination de l'acidité titrable selon AFNOR 1983 :

Application au lait, lactosérum, lait concentré et crème.

• le principe :

Le lait présente une acidité qui peut être titré par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur d'acidité titrable est exprimée éventuellement en g d'acide lactique par litre de lait.

• Mode opératoire :

- Homogénéiser en transvasant l'échantillon d'un récipient dans une autre 2 ou 3 fois
- Prélever 10 ml avec une pipette à lait et les introduire dans le bécher ;
- Ajouter 3 gouttes de la solution de phénolphthaléine ;
- Ajuster l'acidimètre à 0 ;
- Ajouter la soude Dornic goutte à goutte jusqu'à coloration rose, persistant pendant une dizaine de secondes et facilement perceptible par comparaison avec témoin du même échantillon.

• Expression des résultats :

$$\text{Acidité} = V \times 10$$

Lecture directement sur l'acidimètre en °D ou expression en g d'acide lactique par litre de produit

- **Rappel :** 1°D = 1dg d'acide lactique /litre de lait
10 ml NaOH N/9 neutralise 0,1g d'acide lactique
°D = nombre de dixièmes de ml de soude N/9 nécessaire pour neutraliser 10 ml de lait.

➤ Détermination de la densité :**• Mode opératoire**

- Peser 10 ml de lait de soja
- Peser 10 ml de l'eau

• Expression des résultats :

$$\text{Densité} = Q \text{ lait} / Q \text{ eau}$$

➤ Détermination de l'extrait sec :

L'extrait sec a été déterminé par les méthodes suivantes:

✓ Par dessiccateur MA 150:

Dans des capsules en aluminium séchées et tarées, du dessiccateur à balance nous introduisons 5 g de lait de soja, nous fixons la température à 120°C, alors que pour le fromage nous pesons 4 g de fromage et nous fixons la température à 105°C, quand le poids de l'échantillon est fixé (dessiccation totale), l'appareil s'arrête automatiquement et affiche la valeur de l'extrait sec en pourcentage.

➤ **Dosage de la matière grasse dans le lait :**

○ Méthode Acido-butyronétrique :

D'après la norme **NFV04-210 (septembre 2000)** pour les laits.

La méthode acido-butyrométrique de Gerber est une technique conventionnelle qui est appliquée à lait de soja, donne une teneur en matière grasse, exprimée en gramme pour 100g de lait de soja.

Après dissolution des protéines par addition d'acide sulfurique concentré ($d=1.83$) ; la séparation de la matière grasse du lait de soja par centrifugation, dans un butyromètre, la séparation étant favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool isoamylique.

Obtention de la teneur en matière grasse (en gramme pour 100 gramme ou 100ml de lait de soja) par lecture directe sur l'échelle du butyromètre, (**AFNOR, 1986**).

➤ **Détermination de l'extrait sec dégraissé :**

Calculé par la différence entre l'extrait sec du lait de soja et sa matière grasse.

$$\text{ESD}(\%) = \text{EST} - \text{MG} \times 100$$

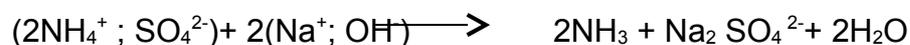
➤ **Dosage de la matière azotée totale :**• **Principe :**

-Minéralisation de l'échantillon par chauffage au moyen d'un appareil de minéralisation en bloc avec un mélange d'acide sulfurique concentré et de sulfate de potassium, en utilisant du sulfate de cuivre comme catalyseur pour convertir l'azote organique présent en sulfate d'ammonium.

Le sulfate de potassium permet d'élever le point d'ébullition de l'acide sulfurique et d'obtenir un mélange oxydant plus fort pour la minéralisation.

-Alcalinisation des produits de la réaction par addition de soude et distillation de l'ammoniac libéré qui est titré par une solution d'acide chlorhydrique, en présence d'acide borique.

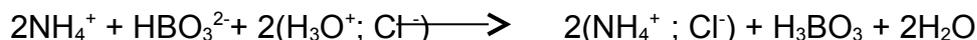
- Minéralisation + soude:



- Réaction avec l'acide borique:



-Titration par l'acide chlorhydrique:



• **Mode opératoire :**

A- Préparation de l'échantillon:

-peser la prise d'essai qui est de 1g pour le fromage fondu et 5g pour le lait de soja dans des sabots de pesée ou de papier sans azote.

B- Minéralisation:

- Ajouter dans le tube de minéralisation (Matra de KJELDHAL) ,12g de sulfate de potassium et 1ml de solution de sulfate de cuivre à 5%.

- Ajouter 20ml d'acide sulfurique. Utiliser l'acide sulfurique pour entraîner tout résidu de sulfate de cuivre, de sulfate de potassium ou de la prise d'essai restant sur les parois supérieures du tube de minéralisation.

- Mélanger doucement, puis placer le tube sur le bloc de minéralisation

- Poursuivre la minéralisation pendant 2h30, le minéralisât doit être liquide, transparent et exempt de matières non digérées.

- Laisser refroidir le minéralisât à température ambiante (≈25mn)

- Diluer le contenu du tube refroidi avec environ 85ml d'eau distillée en rinçant bien les parois, agité par rotation, laisser à nouveau refroidir à température ambiante.

C- Distillation:

-Relier le tube de minéralisation à l'appareil à distiller

-Placer sous le tube d'écoulement du distillat un bécher de 250ml contenant 50ml d'acide borique.

-Alcaliniser le contenu du tube en introduisant 65ml de solution de soude

-Distiller de façon à récupérer environ 150ml de distillat. L'indicateur vire au vert

D-Titration:

-Titrer le contenu de du bécher avec l'acide chlorhydrique. Le point final est atteint à la première trace de rose dans le contenu

-Noter le volume d'acide délivré

• **Expression des résultats:**

La teneur en azote total exprimé en g/100ml est égale à:

$$NT=C1+ (V1-Vb) \times 1.4007/Pe$$

Pe: Masse de la prise d'essai.

V1:Volume en ml de la solution d'acide chlorhydrique versé pour titrer l'échantillon.

Vb: Volume en ml de la solution chlorhydrique versé pour titrer le blanc exprimé au moins.

C1:Normalité de la solution chlorhydrique exprimée à quatre décimales

VI.2 Analyses physico-chimique de la poudre de lait (26%MG) :

Le prélèvement de la poudre de lait a été effectué à partir d'un sac de 25Kg, choisi aléatoirement de la palette de stockage et cela à l'aide d'une louche préalablement stérilisée. Le prélèvement se fait à partir du fond du sac et cela dans une atmosphère stérile en présence toujours de la flamme bleue qu'on dispose à proximité de l'ouverture du sac de poudre. La poudre prélevée est disposée dans un bécher stérile, bien fermé.

➤ **Détermination du pH :**

Le principe de cette méthode est la dispersion du lait sec dans l'eau distillée avec mesure directe du pH à l'aide d'un pH mètre.

Dans un bécher, on va peser 3g de l'échantillon, on ajoute 30ml d'eau distillé fraîchement bouillie et refroidie, on mélange à l'aide d'une baquette en verre, jusqu'à complète dispersion de la prise d'essai, on le place pendant 3-4heures dans le réfrigérateur et on effectue la mesure électrique à 20°C tout en agitant le contenu du bécher.

La valeur du pH est lue directement sur le pH-mètre (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

- **Norme :** 6,5 < pH <6,80

➤ **L'acidité titrable :**

L'acidité est obtenue par le dosage titrimétrique de l'acide lactique à l'aide d'hydroxyde de sodium, et en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré. Dans un bécher de 250ml, on introduit 10g de poudre de lait (26%MG) avec 100 ml d'eau distillée qu'on mélange à l'aide d'un agitateur et on laisse reposer pendant 1heure et dans un autre bécher , on prélève à l'aide d'une pipette 10ml de lait reconstituée précédemment, ajouter 4 à 5 gouttes de phénolphtaléine, titrer par la solution d'hydroxyde de sodium (N/9), jusqu'à coloration rose pale .

Le pourcentage d'acidité titrable (exprimé en gramme d'acide lactique) du lait reconstitué est donné par la formule suivante :

Où :

$$\text{A\% (acide lactique)} = V / 10$$

- A : représente l'acidité titrable
- V : représente le volume de NaOH versée
- les résultats sont exprimés en degré Dornic (°D)

➤ La teneur en matière grasse :

Le dosage de la teneur en matière grasse de la poudre du lait est effectué par la méthode acidobutyromètre à l'aide d'un butyromètre « GERBER » gradué. Le principe de cette méthode est d'attaquer par l'acide sulfurique les matières non grasses qui sont dissoutes libérant ainsi les lipides, et ceci grâce à l'alcool isoamylique et une centrifugation (1200tr/min) pendant 5 minutes.

Dans un butyromètre, on introduit respectivement :

- 10 ml d'acide sulfurique.
- 2,5 g de la poudre du lait.
- 8,5 ml d'eau distillée.
- 1 ml d'alcool iso amylique.

Après avoir fermé le butyromètre, on tourne 5 à 10 fois jusqu'à la dissolution complète de la poudre du lait.

Le butyromètre est ensuite déposé dans un bain marie à température de 65°C pendant 5min, après cette période, il est déposé dans la centrifugeuse à 1200 tr/mn pendant 5 minutes.

Les résultats sont obtenus selon la formule suivante :

$$\text{MG\%} = \text{N1} - \text{N2}$$

N1 : la valeur atteinte par le niveau supérieur du butyromètre.

N2 : la valeur atteinte par le niveau inférieur du butyromètre.

MG : la teneur en matière grasse (exprimée en pourcentage).

VI.3. Analyses physicochimiques de Cheddar :

On prélève le cheddar à partir d'un bloc de cheddar de 25Kg. Ce bloc a été choisi aléatoirement de la palette de stockage, l'ouverture de l'emballage est réalisée par un couteau stérilisé ainsi que le découpage des morceaux du cheddar qui sont introduits aseptiquement dans un bécher stérilisé et bien fermé. Tout cela doit être réalisé dans une atmosphère stérile.

➤ Détermination du pH :

Cette méthode décrit la mesure de l'acidité ionique du fromage. Elle consiste à introduire délicatement l'électrode du pH-mètre dans le fromage en réglant le correcteur de la température (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

• **Mode opératoire :**

- Prélever 10g du fromage ;
- Placer les deux électrodes à l'intérieur du fromage.

• **Expression des résultats :**

Lit directement la valeur du pH du fromage sur l'appareil.

- **Normes :** cheddar $5,3 < \text{pH} < 5,5$

➤ **Détermination de l'extrait sec total :**

Le principe de cette méthode repose sur la dessiccation par évaporation d'une quantité déterminée de la prise d'essai.

L'extrait sec total est exprimé en pourcentage. Le mode opératoire se fait comme suit :

Dans une capsule séchée et tarée, on va étaler de façon homogène 3g de l'échantillon, on place la capsule dans le four à une température 300°C pendant 5 minutes et déclencher le processus de séchage.

La détermination de la matière sèche est donnée quand l'appareil s'arrête automatiquement et lorsqu'aucune perte de poids n'est détectée. Après le séchage de l'échantillon peser la capsule contenant l'échantillon.

$$\text{EST} = (X * 100) / E$$

X : le poids de la capsule avec la prise d'essai après le séchage.

E : la masse de la prise d'essai en g (3g).

➤ **Détermination de la matière grasse :**

Méthode acido Butyrométrique de VAN GULIK D'après la norme **NF VO4 -287**
Février 2002

Son principe est basé sur la dissolution des éléments du fromage par addition d'acide sulfurique et la séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de VAN GULIK, la séparation étant favorisée par l'addition d'une quantité d'alcool iso amylique. On va peser 3g de l'échantillon dans le godet, on le place dans le butyromètre, on ferme le col du butyromètre et on ajoute de l'acide sulfurique jusqu'à l'immersion totale de la prise d'essai. On va palier l'ensemble

dans un bain marie à +65°C pendant 5 minutes, on retire et on agite énergiquement pendant 10 secondes. Par la suite, on va ajouter 1ml d'alcool iso amylique, puis de l'acide sulfurique jusqu'à ce que le niveau atteigne le trait repère (35%) de l'échelle du butyromètre.

On ferme et on retourne 2 à 3 fois le butyromètre et enfin on va le placer immédiatement dans la centrifugeuse (1200 tr/mn) pendant 10 minutes (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

La teneur en matière grasse de l'échantillon est exprimée en pourcentage.

$$\text{MG}\% = \text{B} - \text{A}$$

A : la lecture faite à l'extrémité inférieure de la colonne grasse.

B : la lecture faite à l'extrémité supérieure de la colonne grasse.

- Normes : cheddar MG=30,5% min

VI.4. Analyses physicochimiques de l'eau de processus :

Le prélèvement de l'eau s'effectue après avoir laissé couler l'eau quelques instants, on flambe le robinet et à côté de la flamme, on remplit l'eau à analyser dans un flacon de 225ml déjà stérilisé et bien fermé.

➤ **Détermination du pH :**

C'est la même opération qui était utilisée pour la détermination de pH.

-la valeur du pH est lue directement sur l'écran du pH-mètre.

- **Normes** : $6,5 < \text{pH} < 8,5$

➤ **Détermination de la dureté de l'eau ou le titre hydrotimétrique :**

- **Définition :**

La dureté de l'eau est proportionnelle au nombre total d'atome de Ca et Mg elle est exprimée en degré Français.

- **principe :**

Le principe est la détermination de la concentration des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau. Le titrage se fait à l'aide d'une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine titra acétique (EDTA) à pH=10, on utilise comme indicateur le noir eriochrome T qui donne en présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} une couleur rouge foncé ou violette.

- **Mode opératoire :**

Dans une fiole contenant 50ml d'eau à analyser, on ajoute 2,5 ml de sodium tampon K10 et quelques gouttes d'indicateur coloré(NET) puis on titre avec l'EDTA à N/10 jusqu'au le virage de la couleur au bleu.

- **Expression des résultats :**

La dureté totale (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} . cette dureté est donnée par la formule suivante :

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

- **Normes :** $0 < \text{TH} < 15^\circ\text{F}$

➤ **Détermination les titres alcalimétriques TA, TAC selon la norme AFNOR(1986)**

- **principe :**

La mesure du TA permet la détermination de la quantité d'hydrates alcalins et seulement la moitié des carbonates, elle est basée sur la neutralisation volume d'eau par acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

- **Mode opératoire :**

Dans une fiole conique de 250ml, on introduit 100ml d'eau à analyser, on ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine, puis on titre avec la solution acide sulfurique H_2SO_4 N /10 jusqu' à la disparition de la couleur rose.

- **Expression des résultats :**

Le TA est exprimé en degré français, il est donné par la formule suivante :

$$\text{TA} = V_1 \times 10$$

V_1 : représente le volume de la solution H_2SO utilisés pour le titrage.

- **Normes :** $\text{TA} = 0^\circ\text{F}$

➤ **Mesure du TAC :**

- **principe :**

La mesure de TAC permet de la détermination de la teneur de l'eau en alcalis libres en carbonate et bicarbonate, elle est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré, et se traduit par le virage du jaune à l'orange.

- **Mode opératoire :**

À 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 2 gouttes de méthylorange, puis on passe au titrage avec l'acide sulfurique H_2SO_4 jusqu'au virage de la couleur du jaune à l'orange

- **Expression des résultats :**

Le TAC est exprimé en degré français et donné par la formule suivante :

$$\text{TAC} = V_2 \times 10$$

- V_2 : le volume de la solution de H_2SO_4 N/10

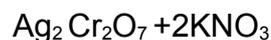
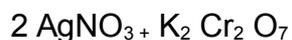
- **Normes** : TAC= 50°F Max.

➤ **Dosage des ions chlorures :**

- **principe :**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$ N/10), en présence de bicarbonate de potassium ($K_2Cr_2O_7$ à 5%).

la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge brique caractéristique du chromate d'argent.



L'excès de chromate d'argent donne une couleur rouge brique.

- **Mode opératoire :**

Dans une fiole, on introduit 100ml d'eau à analyser et 5ml de bichromate de potassium, sont titrés avec une solution nitrates d'argent ($AgNO_3$) N/10 jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge brique.

- **Expression des résultats :**

La teneur en chlorure est exprimée en mg/l comme le démontre l'équation suivante :

Avec :

$$[Cr] = 35,5(n-b)$$

n : volume d' $AgNO_3$ qu

b : volume d' $AgNO_3$ pour obtenir la même teinte rouge dans l'essai à blanc

35,5 : est la masse atomique du chlore.

VI.5. Analyse physico-chimique des sels de fonte :

➤ **Mesure de p H :**

- **principe :**

Le principe de cette méthode est basé sur la mesure de p H qui détermine l'acidité et la basicité d'une solution renfermant 1g de sel de fonte entièrement dissout dans 100ml d'eau distillée.

- **Mode opératoire :**

on prend 1g de sel de fonte qu'on introduit dans une fiole de 100ml. celle-ci est remplie de 100ml d'eau distillé en, une fois le sel dissout et après agitation de la solution, on procède à étalonnage du p pH-mètre avec les deux solution tampons de références

La mesure du p H s'effectue en introduisant l'électrode de ce dernier dans la solution.

La valeur du p H est lue directement sur le p pH-mètre.

VI.6. les analyses physicochimiques de fromage (Produit fini) :

Les échantillons ont été prélevés à chaud dans des TPS stériles pour le fromage témoin et pour les deux fromages obtenus à partir des différentes proportions de lait de soja.

➤ **Détermination de pH :**

Elle est identique à celle du cheddar (**Tebbal et Tounsi, 2010**).

➤ **Détermination de la matière grasse :**

Cette méthode est la même que celle décrite pour le cheddar.

➤ **Détermination de l'extrait sec total:**

Nous avons utilisée deux méthodes

Balances de Dessiccation dosage de la matière sèche.

• **Principe**

Séchage de l'échantillon par exposition à un rayonnement infrarouge ou halogène. Ce rayonnement pénètre dans la matière et l'échauffe de l'intérieur. Ce sont surtout les molécules d'eau qui présentent une absorption élevée à ces longueurs d'ondes, de sorte qu'elles s'échappent et se vaporisent.

• **Préparation de la coupelle**

- répartition uniforme et homogène de l'échantillon sur toute la surface de la coupelle.

Dans le cas contraire : séchage trainant et parfois incomplet.

- ne jamais laver des coupelles à usage unique car elles se déforment et n'assurent plus la même réflexion.

- possibilité de protéger les coupelles par une feuille d'aluminium repliée sur le bord de la coupelle et changer à chaque analyse (limitation de la consommation des coupelles).

Par la méthode officielle :

D'après la norme **AFNOR, 2004**

• **Principe :**

- Evaporation de l'eau d'une prise d'essai, en présence de sable dans une étuve à la température de $102 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à poids constant ;
- Déposer environ 20g de sable dans une capsule muni d'une baguette d'agitation ;
- Chauffer dans l'étuve à 102°C pendant au moins 2 heures ; Laisser refroidir dans le dessiccateur jusqu'à la température de la salle de pesée ;
- Peser la capsule à 1mg près et enregistrer la masse avec 4 décimales ;
- Ajouter environ 5 ml d'eau, mélanger ;
- Chauffer dans l'étuve pendant au moins 4 heures ;
- Laisser refroidir au dessiccateur jusqu'à la température de la salle de pesée ;
- Peser la capsule à 1mg près et enregistrer la masse avec 4 décimales.

L'écart entre les deux pesées ne doit pas dépasser 1,0 mg

Si l'écart est supérieur, on peut supposer que le sable retient l'eau

Si cette exigence n'est pas satisfaite, traiter le sable

• **Mode opératoire :**

- **Essai à blanc :**

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

Cet essai à blanc a pour but de tenir compte des éventuelles variations de la température au cours de la manipulation et pouvant influencer sur la masse pesée.

- **Préparation de la capsule :**

- Placer la capsule contenant environ 20g de sable, la baguette et le couvercle à l'étuve pendant au moins 1heure lorsque l'étuve a atteint la température requise ;
- Mettre le couvercle, laisser refroidir la capsule fermée dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante et peser l'ensemble à 1mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales.

- **Prise d'essai :**

- Faire glisser le sable sur un coté en inclinant de la capsule préparée ;
- Mettre environ 3g de l'échantillon sur une surface de la capsule exempte de sable ;
- Remettre le couvercle, y disposer la baguette et peser à 1mg près, enregistré la masse avec 4 décimales.
- **Détermination :**
- Mélanger soigneusement ensemble la prise d'essai et étaler régulièrement le mélange sur le fond de la capsule ;
- Laisser l'extrémité aplatie de la baguette dans le mélange ;
- Placer à l'étuve la capsule avec le couvercle dessous pendant 3h (une fois que la température requise atteinte) ;
- Mettre le couvercle, laisser refroidir la capsule fermée dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante et peser à 1mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales ;
- Mettre de nouveau à l'étuve pendant 1h (une fois que la température requise est atteinte) ;

Mettre le couvercle et laisser refroidir au dessiccateur comme précédemment ;

- Peser à 1mg près, enregistrer la masse avec 4 décimales ;
- Répéter la mise à l'étuve pendant 1h jusqu'à observer entre deux pesées successives, une diminution de la masse ≤ 2 mg ou une augmentation de la masse, noter la masse la plus faible.

• **Expression des résultats :**

La matière sèche exprimer en pourcentage en masse, est égale à :

$$\frac{(m_2 - m_0) - (m_3 - m_4)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad \square$$

Où :

m₀ : est la masse, en gramme de la capsule (y compris le sable), du couvercle et de la baguette.

m₁ : est la masse, en gramme de la capsule (y compris le sable), du couvercle et de la baguette et de la prise d'essai.

m2 : est la masse, en gramme de la capsule (y compris le sable), du couvercle et de la baguette et de la prise d'essai sèche.

m3 : est la masse, en gramme de la capsule utilisée pour l'essai à blanc le même temps de dessiccation que m2.

m4 : est la masse, en gramme de la capsule préparée utilisée à blanc pour l'essai
Exprimer les résultats en g/100g avec 2 décimales.

➤ **Détermination de l'extrait sec dégraissé :**

Calculé par la différence entre l'extrait sec du fromage et sa matière grasse

$$\text{ESD}(\%) = \text{EST} - \text{MG} \cdot 100$$

VII. Méthodes d'analyses microbiologiques :

VII.1. Echantillonnage :

➤ **Poudre du lait (26%MG), cheddar, eau, lait de soja, produit fini :**

L'échantillon est préparé à partir de la quantité du produit à analyser qu'on a prélevé auparavant, on pèse 25g dans un récipient stérile pour la préparation de la solution mère.

VII.2. Préparation des solutions mères et des dilutions décimales :

• **Cas des produits solides :**

Après avoir effectué notre échantillonnage, on prépare les solutions mères et les dilutions de chaque produit (poudre du lait, cheddar) dont le but de faciliter la lecture en diminuant la charge microbienne dans une boîte de pétri contenant un milieu de culture.

Dans un flacon de 225 ml de solution de TSE (Tryptone Sel Eau), 25g du produit à analyser ont été introduit aseptiquement.

Homogénéisation de la solution par le stomasher. Cette solution mère correspond à une dilution de 10^{-1} .

A partir de cette solution mère, les dilutions décimales ont été préparées comme suit :

- Dans un tube à essai contenant 9 ml de diluant TSE, on a introduit aseptiquement 1ml de la solution mère précédente afin de réaliser une solution de 1/100 (10^{-2}).
 - A l'aide d'une nouvelle pipette stérile, on a prélevé ensuite 1ml de la dilution 10^{-2} et on l'a introduit dans un tube contenant 9ml de TSE, ce qui donnera la dilution 1/1000 (10^{-3}).
- **Cas du produit fini :**
- **La solution mère :**
 - Peser 10g de fromage dans un sac stomasher stérile.
 - Ajouter 20 ml du TSE pour avoir une dilution de 1/3.
 - Homogénéisation de la dilution à l'aide d'un stomasher.

- **Cas des produits liquides :**

On met notre lait de soja dans un erlenmeyer stérile, ce qui constitue donc la solution mère (SM).

Pour réaliser les solutions décimales on procède de même manière que dans le cas des produits solides.

VII.3. Recherche et dénombrement des germes totaux:

➤ **Principe:** La recherche et dénombrement de ces microorganismes sont réalisés sur la gélose PCA en double couche, qui après 72h à 30°C donne naissance à des colonies blanchâtres (**Iso 4833**).

➤ **Mode opératoire:**

A l'aide d'une pipette stérile porter aseptiquement 1ml de chaque dilution, dans chacune des boîtes Pétri ;

- Couler dans chaque boîte 20 ml de milieu PCA ;
- Faire des mouvements circulaires sous forme de "8" pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose ;
- Après solidification couler une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses ;

➤ **Incubation:**

Incuber les boîtes de Pétri couvercle en bas pendant 72h à 30°C.

➤ **Lecture:**

La lecture se fait à l'œil nue par énumération des colonies blanchâtres.



Figure 16 : Recherche et dénombrement des germes totaux(original)

VII.4. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux :

Les coliformes ont défini des Entérobactéries, considérés comme un bon indice de contamination fécale. Les coliformes sont des bacilles gram(-), non sporulés, capable de se multiplier en présence de sels biliaires, fermentant le lactose avec production de gaz à 37°C.

Les coliformes fécaux sont des entérobactéries produisant du gaz à partir du lactose à 44°C (**Iso 4832**).

- **Principe:** Dénombrement des coliformes qui forment des colonies caractéristique sur milieu gélosé VRBL à 37°C (coliformes totaux) et à 44°C (coliformes fécaux).
- **Mode opératoire:**
 - Porter aseptiquement à l'aide d'une pipette stérile 1ml de chaque dilution dans des boîtes de Pétri.
 - Couler 20ml de la gélose VRBL, homogénéiser et laisser se solidifier.
 - Couler une deuxième couche de la gélose VRBL, laisser se solidifier.
- **Incubation:**
 - Coliformes totaux:** l'incubation se fait à 37°C pendant 24h.
 - Coliformes fécaux:** l'incubation se fait à 44°C pendant 24h.

➤ **Lecture:**

Dénombrement des colonies violacées d'un diamètre supérieur à 0.5mm et parfois entourée d'une zone rougeâtre due à la production de gaz. Le nombre trouvé est multiplié par l'inverse de la dilution.

Les boîtes sont incubées couvercle en bas pendant 24h. Les résultats sont lus sur deux séries.



**Figure 17 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux
(Originale)**

VII.5. Recherche et dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG) :

Cette analyse est faite pour la matière première (cheddar, poudre de lait) et produit fini (fromage fondu) pour des raisons technologiques. SAG sont responsables de gonflement des boites par dégagement des gaz.

Spores thermorésistants de Bacillus et de clostridium thermorésistants qui après une épreuve de sélection thermique peuvent donner naissance à des formes végétatives de Bacillus et de clostridium se développent à 55 °C lorsque l'essai est effectué selon la méthode spécifiée dans la présente norme **(V08-407 AFNOR)**.

➤ **Préparation des dilutions:**

Le travail se fait dans la zone stérile

- Peser 10g de fromage fondu et le porter dans un sac stomacher
- Ajouter 20ml de diluant TSE
- Homogénéiser à l'aide d'un Stomacher.
- Ces deux dernières constituent la dilution mère(DM)
- Chauffer pendant 10min à 80°C.

- Effectuer un choc thermique par refroidissement sous l'eau de robinet. Afin d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.
- **Mode opératoire:**
 - Répartir le milieu RCM dans trois tubes stériles.
 - Introduire 3ml de la dilution mère dans chaque tube
 - Laisser se solidifier à la température ambiante
 - Après solidification, rajouter 2ml de gélose blanche qui représente un bouchon qui a pour but d'éviter l'échappement des gaz.
- **L'incubation:**
 - L'incubation se fait à 37°C pendant 3 à 5 jours.
- **Lecture:**
 - Déplacement ou éclatement de bouchon indique le dégagement de gaz par les spores gazogènes accompagné par le dégagement de mauvaises odeurs.



Figure 18 : Recherche des SAG (originale)

VII.6. Recherche des levures et moisissures :

Levure sont des eucaryotes hétérotrophe, aérobie, mésophile, faisant partie des champignons unicellulaires alors que les moisissures sont des mésophiles, aérobie, appartient au groupe des champignons filamenteux unis ou multicellulaires.

- **Principe:**
 - Le dénombrement est réalisé sur milieu O.G.A (Oxytetracycline Glucose Agar) qui permet la croissance de toutes les levures et moisissures rencontrées dans les produits alimentaires tout en inhibant totalement le développement des bactéries.
- **Mode opératoire:**
 - Porter 1ml de la dilution 10^{-1} à 10^{-3} de chaque préparation dans des boîtes de Pétris.
 - Faire couler 20ml de milieu OGA.
 - Faire ensuite des mouvements circulaires de forme de 8. On laisse se solidifier sur paillasse, puis laisser se solidifier à la température ambiante.

➤ **Incubation:**

L'incubation se fait à 25°C pendant 3à5 jours.

➤ **Lecture:**

Levures: le dénombrement se fait par comptage des colonies blanches et régulières.

Moisissures: le dénombrement se fait par comptage des colonies qui sont épiasses, grandes, filamenteuses, pigmentées ou non à aspect velouté.



Figure 19 : Recherche des levures et moisissures (originale)

VII.7. Recherche des Streptocoques fécaux:

Les streptocoques fécaux ou streptocoques de groupe " D "de la classification de Lancefield sont des hôtes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud (**Guiraud, 1998**). Ces streptocoques sont généralement pris globalement en compte comme témoins de contamination fécale, car tous ont un habitat fécal.

➤ **Ensemencement :**

L'ensemencement se fait sur milieu gélosé BEA.

➤ **Incubation:**

Les boîtes sont incubées à 37°C pendant 24h à 48h.

➤ **Lecture:**

Dénombrement des colonies noires.

VII.8. Recherche des Staphylocoques:

Les staphylocoques appartiennent au genre "Staphylococcus" des cocci catalase(+), parmi lesquels Staphylococcus aureus. Il est le plus régulièrement pathogène, en particulier fréquemment capable de produire une ou des "entérotoxines", très répandus dans la nature.

La bactérie est considérée comme témoin d'hygiène (contamination intrinsèque des aliments d'origine animale, ou contamination d'origine humaine lors des manipulations) (**Larpent, 1997**).

➤ **Principe:** Le dénombrement des staphylocoques se fait par comptage des colonies obtenues sur milieu sélectif solide (milieu de Baird- Parker) après incubation à 37°C (**Afnor V08-057**).

➤ **Mode opératoire:**

Prendre des boîtes de milieu de Baird- Parker

- A l'aide d'une pipette stérile, déposer 0.5ml soit de l'échantillon (pour le lait de soja), soit de la suspension mère (pour le fromage). Répéter avec les dilutions suivantes en utilisant une nouvelle pipette stérile à chaque dilution.
- Étaler avec étaleur, l'échantillon ou les dilutions déposés à la surface du milieu de culture, ne pas toucher les parois avec étaleur, utiliser un étaleur stérile pour chaque boîte.
- Laisser les boîtes sur la pailasse, couvercle fermé, pendant environ 15 minutes, afin que l'excès d'humidité disparaisse.

➤ **Incubation:**

Mettre les boîtes en incubation à 37°C pendant 24 à 48h.

➤ **Lecture:**

Seront considérés comme positive, les boîtes contenant des colonies noires, brillantes, convexes entourées d'une zone de transparence.

VII.9. Recherche des CSR:

Sont des hôtes normaux des intestins, mais ils peuvent se rencontrer dans le sol et dans les matières organiques en voie de putréfaction. Ce sont des bacilles gram+, sporulés, catalase et oxydase -, anaérobies strictes, ont la capacité de réduire les sulfites. Certains peuvent être pathogènes: *Clostridium botulinum* peut être l'origine d'une intoxication grave, le botulisme; *Clostridium perfringens* d'une intoxication bénigne (toxi-infections alimentaire).

➤ **Principe:**

Le dénombrement des anaérobies sulfite-réducteurs est réalisé en tubes de gélose profonde en utilisant le milieu VF (NF08-019), avec une quantité déterminée de l'échantillon (lait de soja), ou avec une quantité déterminée de la suspension mère (pour le fromage fondu) qui après incubation à 37°C donne des colonies noires caractéristique.

➤ **Mode opératoire:**

Faire fondre la gélose VF dans un bain marie, le refroidire à 45°C puis ajouter 5ml de sulfite de sodium et 2ml d'Alun de fer, mélangé soigneusement et aseptiquement.

- Introduire dans des tubes stériles 1ml des solutions mères de lait de soja et des trois essais de fromage fondu.
- Porter les tubes au bain marie chauffer à 80°C pendant 8à10 minutes, puis à un refroidissement sous l'eau de robinet, dont le but d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées.
- Couler environ 5ml de la gélose VF prête à l'emploi.
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes.

➤ **Incubation:**

Ces tubes seront incubés à 37°C pendant 72 heures.

➤ **Lecture:**

Retenir pour le dénombrement les tubes contenant des colonies entourées d'un précipité noir de sulfure de fer.

VII.10. Recherche de Salmonelle:

Le genre Salmonella fait partie de la famille des Entérobactériaceae, sont des bacilles gram-, catalase+, oxydase-, non sporulés, anaérobie facultatif, réduit les nitrites en nitrate, mobile grâce à une ciliature péritriche, très largement répandue dans l'environnement (Guiraud, 1998).Elles peuvent causer des toxi-infections très graves.

➤ **Principe:**

La recherche de salmonelle se réfère à **la norme Iso 6579**, elle nécessite quatre phases successives:

- Pré- enrichissement en milieu non sélectif liquide
- Enrichissement en milieux sélectifs liquide
- Isolement
- Confirmation

➤ **Mode opératoire:**

- ✓ Jour 1:pré-enrichissement :

Ensemencer la prise d'essai de 25g dans 225ml d'eau péptonée tomponée, après homogénéisation, incubé à 37°C pendant 16 à 20 h.

- ✓ Jour 2:enrichissement:

Repiquer 0.1ml de la culture obtenue dans 10ml de milieu Rappaport-Vassiliadis et 10ml de cette même culture dans 100ml de milieu Sélinité-cystine. Incuber le premier milieu 24h à 42°C et le second à 37 °C pendant 24h.

✓ Jour 3: isolement:

À partir de chaque une des enrichissements précédents effectuer des isolements sur deux milieux:

- Le milieu gélosé au rouge de phénol et au vert brillant
- Le milieu gélosé Hektoen
- Les boîtes ainsiensemencées seront incubées à 37°C pendant 24h.

✓ Jour 4: lecture et identification:

Les salmonelles se présentent de la façon suivante:

- Colonies roses entourées d'une zone rouge sur gélose au rouge de phénol et au vert brillant.
- Colonies bleues verdâtres sur milieu Hektoen.

VIII. Essai de fabrication du fromage fondu incorporé du lait de soja :

Les premiers essais (30% et 35% de lait de soja) ont été fabriqués au sein de laboratoire LFB :

Les matières premières

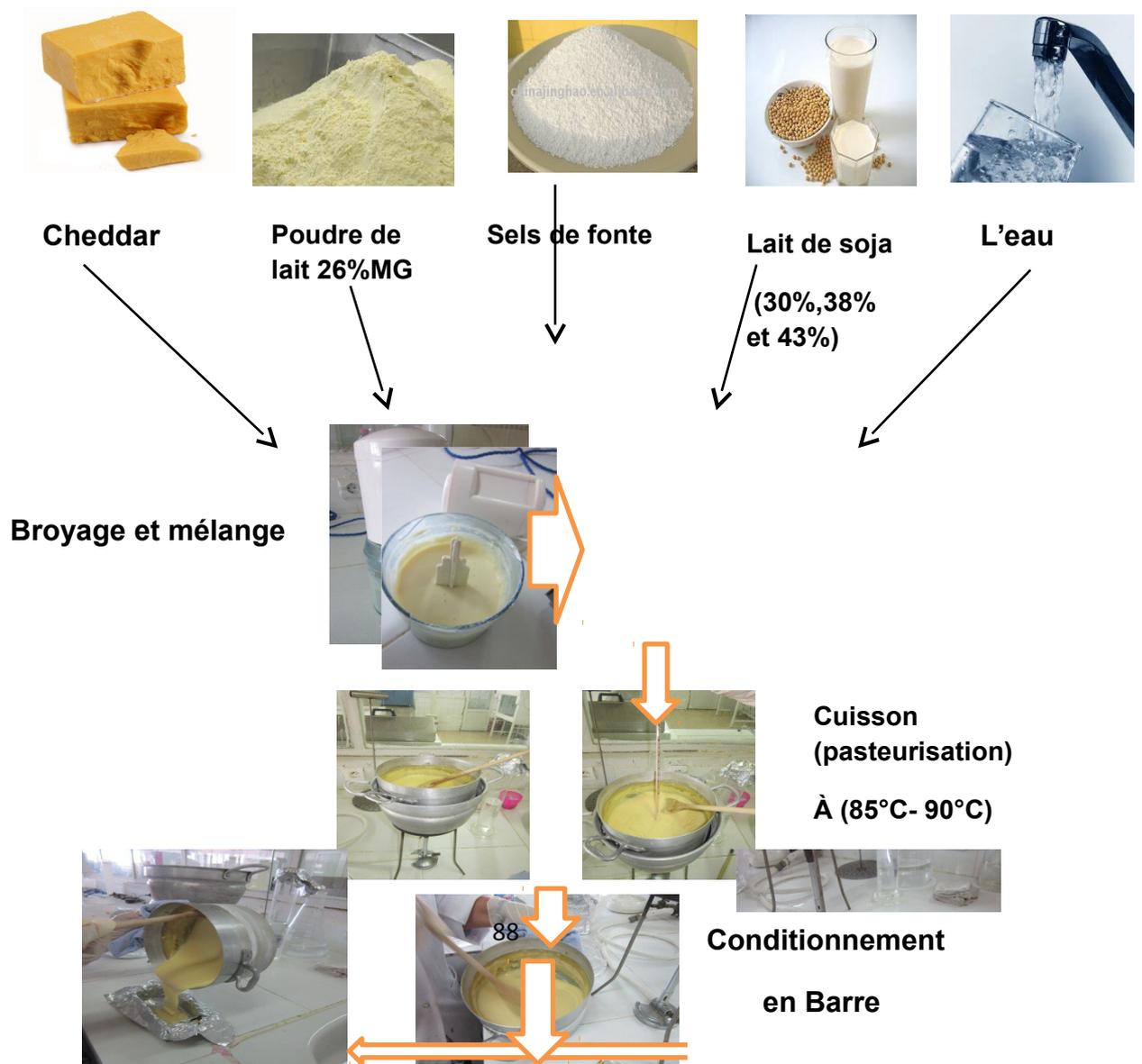




Figure 20 : Diagramme de fabrication du fromage incorporé du lait de soja

IX. Analyse sensorielle :

L'appréciation des caractéristiques sensorielles d'un produit est variable d'un individu à l'autre. Elle dépend de la perception et des préférences de chacun.

Les recherches basées sur l'analyse sensorielle visent à mieux comprendre l'ensemble des mécanismes qui interviennent dans l'élaboration des notions de plaisir ou de rejet vis-à-vis d'un aliment.

Protocole de dégustation :

Notre analyse a été effectuée sur vingt personnes afin d'évaluer la qualité sensorielle des quatre types de fromages, grâce à une fiche de dégustation établit pour cet effet.

- Les trois échantillons sont représentés aux dégustateurs d'une façon anonyme de E₁, E₂ et E₃ (Essais de fromage)
- Les dégustateurs choisissent représentés par les deux sexes.
- Les échantillons sont jugés en fonction des paramètres suivants :
La texture-le goût-la couleur et l'odeur.
- **Les odeurs** sont des molécules extrêmement volatiles perceptibles par le nez (Le bulbe olfactif),
- **Les arômes** sont des molécules volatiles perceptibles par la voie rétro nasale (Le bulbe olfactif),
- **Les saveurs** sont perçues par les bourgeons du goût répartis sur la langue : sucré, acide, salé, amer.

o Principe du test :(voir l'Annexe 2)

Le test sensoriel est réalisé notés sur fiche de dégustation proposée au jury.

Pour cela nous avons présenté au jury de dégustation qui comprend vingt dégustateurs pluridisciplinaires (assurance qualité, production et marketing) les trois échantillons en anonyme plus le témoin avec 0% de lait de soja.

Pour neutraliser les impressions gustatives, il est nécessaire de se rincer la bouche avec de l'eau à chaque dégustation. La salle où laquelle s'effectue la dégustation doit être éclairée et bien aérée. Les membres de jury ne doivent pas fumer avant et pendant la dégustation, ils ne doivent surtout pas avoir faim, ni soif, ni être malade, ni consommer des aliments à parfum fort (café).

A la fin du test, les résultats sont rassemblés, comparés et discutés.

A

AFNOR. 1983. Recueil des normes Françaises, lait et produits laitiers

AFNOR. 1986. Contrôle de la qualité des produits laitiers. Ed. AFNOR. Paris : p (222-321).

Anonyme_{a1}, 2012: Produit Naturel soja
(<http://www.familiprix.com/savoirsante/ficheProduitNaturel.aspx?lien=soja>)

Anonyme_{b1}, 2003:Graine entière de soja
(<http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/Kiosque/PDF>)

Anonyme_d, 2009: Table CIQUAL (<http://www.ansespro.fr/TableCIQUAL/index.htm>)

Anonyme_f, 2009: Le conseil canadien des normes
(<http://www.grainscanada.gc.ca/soybeans-soja/ssm-mss-fra.htm>)

Anonyme_x, 2010: TU Viêt Phu. « Effet de la culture sur les croyances, attitudes et préférence vis-à-vis des produits à base de soja » thèse de doctorat.

Anonyme_{x1}, 2012: FAOSTAT FAO (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Soja>).

Anonyme_v, 2003: FAO/OMS. 2003. Les qualités nutritionnelles des soy foods.
www.sojaxa.com. Site visité le 01 avril 2003. Faure E., Chantre P

Anonyme_y, 2006 :

Anonyme_z, 2005 : AFSSA ; AFSSAPS. Sécurité et bénéfices des phyto-estrogènes apportés par l'alimentation - Recommandations, AFSSA, pp. 370.

Anonyme_o, 2005 :

Anonyme₁, 2011 : « Des recherches sur les protéines végétales pour l'environnement »
(<http://www.consoglobe.com/improve-proteines-vegetales-animales-cg>)

Anonyme₂, 2001. « Commission canadienne du lait, novembre 2001 »
(<http://www.cdc-ccl.gc.ca/CDC/userfiles/file/FR2001.pdf>)

Anonyme₃,1995 : FAO « Le soja dans les tropiques: amélioration et production ».

Anonyme₄,2007 : Soja conséquence d'une information manipulée
(<http://www.lesensdenosvies.org/lesite/article/alimentation/soja/soja9.html>).

Anonyme₅,2003 : le soja (<http://www.doctissimo.fr>)

Anonyme₆, 1990 : FAO « Gestion des programmes d'alimentation des collectivites »

Anonyme₇, 2003 : CETIOM « graines entières soja - Cours en Ligne – AgroParisTech »

Anonyme₈, 1999: FDA. Food labelling: Health claims; soy proteins and coronary heart disease. 21 CFR Parts 101. Federal Register, 64: 57700-57733.
(https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/.../so_graines.pdf).

Alain Branger, Marie-Madeleine Richer, Sébastien Roustel – 2007 : Alimentation et processus technologiques.

B

- Bounie D.2002.**Le fromage de beaufort .Lille, Ed .Ecole polytechnique de Lille : p (1-53).
- Boutonnier J.L.2000.** Fabrication de fromage fondu. Technique d'ingénieur.
- Boutonnier J.L., 2002.** Fabrication du fromage fondu. Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, F 6 310-1, 14 p.
- Berger W ., Klostermeyer H., Merkenich K ., Uhlmann G., 1993.** Processed Cheese manufacture. Ladenburg: BK Ladenburg GmbH.
- Bunka F., Stetina J., Hrabe J., 2008.** The effect of storage temperature and time on the consistency and color of sterilized processed cheese. European Food Research of Technology, vol. 228, p. (223–229).
- Boyte F., 2001.**le tofu international : délicieuses recettes des quatre coins du monde.Ed,Stanké :p 246.
- Brink M. et Belay G., 2006.** Céréale et légumes secs. Vol 1 de ressources végétales de l'Afrique tropicale.Ed.PROTA.327p
- Bourgeois C.M et Larpent, 1996 :** Microbiologie alimentaire : Aliments fermentés et fermentation alimentaire.2eme édition, Tome 2, Ed. Technique et documentation Lavoisier, Paris : 521p
- Bhardwaj, H., Hamama, A. A., Rangappa, M., Joshi, J. M., & Sapra, V. T. (2003).**Effects of soybean genotype and growing location on oil and fatty acids in tofu. *Plant Foods for Human Nutr*, 58, (197-205).
- Berk Z. 1993.** Technologie de production de farine alimentaire et de produits protéique issues du soja. Rome : 7-105p

C

- Carole V et Al .2002.** Science et technologie du lait. Edition. Ecole polytechnique de Montréal : p 100
- Carole Garnier. 2010.** Mes petites recettes magiques sans gluten (et sans lactose) : p 80.
- Christensen J., Povlsen V.T., Sørensen J., 2003.** Application of fluorescence Spectroscopy and chemometrics in the evaluation of processed cheese during storage. J. Dairy Sci. Vol. 86, p. 1101–1107.
- Chambre M., Daurelles J., 1997.** Le fromage fondu. In: **ECK A. et GILLIS.** Le fromage. Ed. Lavoisier, p. 691-708.
- Colot H et Louis H. 1998.** Les protéines de soja et leurs utilisations en agro alimentaire.
- Cheftel H. et al, 1977.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 801p.

D

Dillon J.C et Berthier A.M., 1997. Caractéristiques nutritionnelles des fromages, In : Le fromage des sciences à l'assurance qualité. Eck A.1997, Technique et documentation-Lavoisier, 3^{ème} édition : 713-720 p.

Debry G., 2001 : Nutrition et santé .Paris

Debruyne I. 2001. SOJA : transformation et aspect industrielles. Technique de l'ingénieur. Trait agro-alimentaire.Doc F6030 :2-11p.

Demaison L. et Moreau D. 2002. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and coronary heart disease-related mortality: a possible mechanism of action. Cell Mol Life Sci, 5:463-477.

Denise, J. 1998. Raffinage des corps gras. In Manuel des corps gras. Volume 2. Ed. Tec et doc Lavoisier. pp: 789-881.

E

Eck A et Gillis J.C, 1997. Le fromage : de la science à l'assurance qualité. Ed. Lavoisier, Paris : p(691-720) ; p(601-607).

Elia .2003.Touts sur les phytoestrogènes de soja. Ed. Edd groupe communication santé : 94p.

F

Fox P.F., McSweeney P.L.H., 1998. Dairy Chemistry and Biochemistry. Ed. Thomson Science, Germany : p 396.

Fox P.F., Guinee T.P., COGAN T.M., Mcsweeney P.L.H., 2000. Fundamentals of cheese science. Maryland: Aspen Publisher Inc. (429-451)

Faure, E., Chantre, P., & Mares, P. (2002). Effects of a standardized soy extract on hot flushes: a multicenter, doubleblind, randomized, placebo-controlled study. Menopause, 9, 329-334.

G

Gaucheron F. 2004. Minéraux et produits laitiers. Ed Tec et Doc-Lavoisier, Paris : P (567-569).

Gupta S.K., Karahadian C., Lindsay R.C., 1984. Effect of emulsifier salts on textural and flavour properties of processed cheeses. J Dairy Sci. vol. 67: p (764–778).

Guinee T.P., Carić M., Kaláb M., 2004. Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products.

Guillaume .J.1999.Nutrition et alimentation des crustacés. Du labo au terrain. Ed.Quae :489p.

Godon B et Willm C. 1998. Les industries de première transformations des céréales. Paris : Lavoisier. : 601-607p.

Guiraud J-P.,1998. Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, 651p.

K

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

H

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

Hubert, J. 2006. Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja - Etude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse: 13-52.

Hymowitz. T. et Collins. F. L. 1974. Variability of sugar content in seed of *G. max* and *G. soja*. *Agronomy Journal*, 66: 239-240p.

I

Imram, N., Gomez, I., & Soh, V. 2003. Soya Handbook: Tetra Pak - Centre of Expertise Soya.

I. T. Johnson, Gary Williamson 2003. Nutrition and Health - Current topics - 3 - Page 93

ISO 4833, 2003. Microbiochimie et alimentation: p 129

J

Jeantet R., Brule G et Al, 2007. Sciences des aliments. Te et Doc Lavoisier, Paris : p (40-55).

Jemaïel, Martine et Tozanli., 2006. Lait et produits laitiers en Méditerranée: des filières en pleine restructuration : p 185

John E. Eck. 1987. National Institute of Justice (U.S.)

JORF (JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE), 2007. Décret n. 2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères, p10.

Jacquot et Al., 1981. Les aliments dans «les carences nutritionnelles dans les pays en voie de développement» coordonné par Lemonnier D. et al, 1989. Karatala, 613p.

Jacques B.Boisleve 2010. (www.santé-vivante.fr).

JOHA industry., 1995. Système de produits par l'industrie du fromage fondu et l'industrie laitière : Sels de fonte. 2éd. Bk Lande bourg de Ludwigshafen, Allemagne, 22p.

Jane Hubert, (2006) Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja : étude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines.

Juvenal, 2010 : Profil de Projet Unité de fabrication du Lait de Soja et du Tofu

K

Kernoug O., Benmohamed B., 2008. Suivi de la qualité du fromage fondu incorporé de « Roquefort ». Mémoire de technicien supérieur en industrie agroalimentaire, Blida, INFPIAA. 74p.

Kasomel. 1990. Du fromage au fromage fondu. Ed. Rhône-Poulenc

Kobayashi. M. 2005. Immunological functions of soy sauce: hypoallergenicity and antiallergic activity of soy sauce. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(2)144-51p

L

Luquet F.M., 1995. Lait et produits laitiers : vache, brebis, chevre.t2. Paris, Lavoisier, 637p.

Luquet F.M., 1986. Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine : p 65

Liu .k.1999. Soybeans, Chymesterie, technologie and utilization.Ed.Springer :532p.

Liu, K., & Brown, E. A. (1996). Compositions en acides gras dans les tissus nouvellement différenciés des plants de soja, *Journal de chimie agricole et alimentaire* :p 44

Laisney, J. 1992. Obtention des corps gras. In *Manuel des corps gras. Volume 1.* Ed. Tec et doc. Lavoisier. pp: 695-768.

Larpent J. P. 1997. Microbiologie alimentaire techniques de laboratoire. Ed. Technique et documentation, lavoisier. Paris11p

M

Mahaut M. et AL., 2003. Initiation à la technologie fromagère. Tec et Doc Lavoisier, Paris, p 180.

Mahaut M, et Jeantel R., 2003. Les produits industrielles laitiers édition Tec et Lavoisier 2000.

Meyer A., 1973. Processed Cheese Manufacture, Food Trade Press Ltd., London: p 201

Marshall R.J., 1990. Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *Journal of Science and Food Agriculture*, vol. 50, p. 237–252.

Mustapha et Stauffer, 2002. Les matières grasses destinées aux produits de boulangerie

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

Messina M. J. 1999. Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3 Suppl): 439-450.

N

Noronha N., Cronin D., O’riordan D., O’sullivan M., 2008a. Flavouring reduced fat high fibre cheese products with enzyme modified cheeses (EMCs). *Food Chemistry*, vol. 110, p. (973–978).

P

Paquet D., 1988. Processed cheeses: physico-chemical aspects. In: **Lorient D., Colas B., le mestre M.** Functional properties of food macromolecules. Ed. Les cahiers de l’ENSBANA. Paris: Technique & Documentation Lavoisier, p. 227–241.

R

Ramet J.P. 1993. Les agents de transformation du lait. In : le fromage. Paris, Lavoisier:165p.

Roussel M.2006. Les miracles de soja : manager un peu de soja tous les jours éloigne les maladies pour toujours. Ed .Alpen éditions s.a.m :95p.

Rickard S.E. et Thompson L.U. 1997. Interactions and biological effects of phytic acid. Antinutrients and Phytochemicals in Food, 662:294-312.

Raymond Trévoux., 2007. L'endometre Present Et Avenir

Rauger V., 1979. Technologie du lait. www.Technique d'ingénieur.fr

S

Sukhinina S.Y., Selyatitskaya V.G., Palchikova N.A., Shorin Y.P., Poznyakovskii V.M. and bondarev G.I., 1997. Efficiency of processed cheese enriched by iodine in prevention of goitre. Voprosy-Pitaniya, vol. 1, p. 21–23.

Sinclair A., Attar bashi N.M. et LI D. 2000. What is the role of a-linolenic acid for mammals? Lipids 37:1113-1123.

Snyder H. E. et Kwon T. W. 1987. Morphology and composition. In soybean utilization. Ed. van Nostrand Reinhold Company New York. p 19-70.

Setchell, K. D. R., Brown, N. M., Zimmer-Nechemias, L., Brashear, W. T., Wolfe, B. E., Kirschner, A. S., & Heubi, J. E. (2002). Evidence for lack of absorption of soy isoflavone glycosides in humans, supporting the crucial role of intestinal metabolism for bioavailability. Am J Clin Nutr, 76, 447-453.

T

Taggart P., Mitchell J.R., 2009. Starch. In: PHILLIPS G.O., WILLIAMS P.A. Handbook of Hydrocolloids. Second edition, Woodhead Publishing Limited, p. 108-141.

Tatsumi K., Nishiya T., Yamamota H., IDO K., Hanawa N., ITOH K. and tamaki K., 1989. Functional properties of cheese cooked without emulsifying salts in a twin screw extruder. Reports of Research Laboratory, Snow Brand Milk Products Co., n. 88, p. (73–90).

TU Viêt Phu, 2010 : Effet de la culture sur les croyances, attitudes et préférence vis-à-vis des produits à base de soja.

(http://tel.archives_ouvertes.fr/docs/00/75/08/51/PDF/these_A_TU_Viet_Phu_2010.pdf)

U

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

V

Vierling E., 2003. Alimentation et boisson : technologie et aspects réglementaires. 2^{ème} édition.DOIN

Vignola C Et Caro L., 2002. Science et technique de lait. Transformation du lait. Ed presse international polytechnique : p 545.

Van wazer J.R., 1971. Chemistry of the phosphates and condensed phosphates.

Vessby B. 1994. Implication of long-chain fatty acid studies. Inform 5:182-185.

Virginie COLLOMB et Mélanie MAYOR, 2007: « Le soja, la reine des légumineuses ? » : p3 (<http://www.heds-ge.ch/diet/encyclopedie/soja05.pdf>).

W

Wang, X. L. (1997). Chinese soybean food products (Zhong Guo Dao Dai Zhi Ping). Beijing,China: China's Light Industry Publisher.

Y

Yoshida H., Hirakawa Y., Murakami C., Mizushina Y., et Yamade T. 2003. Variation in the content of tocopherols and distribution of fatty acids within soya bean seeds (Glycine max L.). J Food Comp Anal, 16:429-440.

Yamka R. M., Harmon D. L., Schoenherr W. D., Khoo C., Gross K. L.,Davidson S. J. et Joshi D. K. 2006. In vivo measurement of flatulence and nutrient.

Z

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

Zehren V.L. and Nusbaum D.D., 1992. The Sensory Evaluation of Dairy Products:P 401.

Zeeman, S. C.; Kossmann, J.; Smith, A. M. 2010. Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. Annu Rev Plant Biol, 61, 209-234.

I. Résultats des analyses physicochimiques :

I.1 Matières premières :

I.1.1. Poudre de lait :

Les analyses physico-chimiques de la poudre de lait utilisées sont mentionnées dans le tableau N°19.

Tableau N°19 : Résultats physico-chimiques de la poudre de lait comparativement aux normes AFNOR

Paramètres	Poudre de lait	
	Echantillon	Norme AFNOR (1986)
pH	6,7±0,02	6,5-6,75
MG%	26±0	26
EST%	97,48±0,07	96% Min
Acidité (D°)	15	14-16
H%	3,37±0,07	4% Max

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de lait révélant que le pH (6,7) répond parfaitement à la norme AFNOR (1986) qui le situe entre 6,5 et 6,75.

La poudre de lait utilisée au niveau de l'unité LFB a un taux de 26% de matière grasse, il en ressort que la teneur en eau de la poudre de lait évolue dans le sens inverse de l'extrait sec sa valeur reste dans la conformité (3,37 < 4%), sachant qu'une humidité élevée mène à l'oxydation de la poudre de lait.

Il en ressort que l'extrait sec total, il est de 97,48% sachant que la norme exige un pourcentage de 96% minimum sachant qu'un EST élevé, donne aux fromages un goût agréable (Alain et Marie, 2007).

I.1.2. Cheddar :

Les analyses physico-chimiques de la poudre de lait utilisées sont mentionnées dans le tableau N°20.

Tableau N°20 : Résultats physico-chimiques de Cheddar comparativement aux normes AFNOR

Paramètres	Cheddar	
	Echantillon	Norme AFNOR (1986)
pH	5,12±0,07	5,1-5,5
MG%	33±0,05	30%-38%
EST%	64,5±0,03	61% Min
Acidité (D°)	/	/
H%	35,5±0,03	33%-44%

Les résultats des analyses physico-chimiques effectués sur le cheddar montrent que la valeur de pH est de 5,12, et est en accord avec la norme AFNOR (5,1-5,5).

La teneur en matière grasse (33%) est conforme à la norme (30%-38%), donc Le cheddar est très riche en M.G.

La norme AFNOR fixe l'extrait sec total à 61% au minimum ; nous remarquons que notre résultat est de 64,5 ce qui est en accord avec cette norme.

On résulte alors que le fromage Cheddar est de bonne qualité physico-chimique suite à la conformité des résultats aux normes AFNOR, ce qui résume les bonnes conditions de stockage « Température, humidité ».

Les analyses physico-chimiques de l'eau utilisées sont mentionnées dans le tableau N°21 :

Tableau N°21 : Résultats physico-chimiques de l'eau et le sel de fonte comparativement aux normes AFNOR

Paramètres	L'eau de process		Sel de fonte	
	Echantillon	Normes AFNOR (1986)	Echantillon	Normes AFNOR (1986)
pH	7,01±0.07	6,5-8,5	9,2	9,2
TA (°F)	0	0°F	/	/
TAC (°F)	47,5±0.05	50°F Max	/	/
TH (°F)	74,12±0.03	60°F Max	/	/
Chlorure (mg/l)	261,81±0.6	200mg /l Max	/	/

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau résumés dans le tableau N°20 nous montrent que l'eau utilisée dans la fabrication du fromage fondu présente au niveau de

LFB le pH neutre est de (7,01) conforme à la norme qui exige un pH compris entre 6,5 et 8,5, concernant la valeur de TA est de (0°F) et le TAC est de (47°F) ils sont respectivement conformes à la norme qui préconise un TA de (0°F) et un TAC de 50°F Max.

Alors que le TH est de (74,12°F) qui est le taux d'ions de Ca^{++} et Mg^{++} dans l'eau sont largement supérieurs à la norme (60°F Max) dont cette eau est classée comme étant très dure. la conséquence de cette dureté serait le dépôt de calcaire au niveau des tuyaux et des chaudières. la teneur en chlorure est de (261,81mg/l) est relativement supérieure à la norme (200mg/l Max).

Le résultat obtenu d'analyses physico-chimique de sel de fonte montrent que la valeur de pH est de (9,2) et est en accord avec la norme AFNOR. Le pH constitue une caractéristique essentielle de tous les sels de fonte vu son influence sur l'équilibre de goût.

I.1.3. Lait de soja :

Les résultats des analyses physico-chimiques du lait de soja effectuées sont présentés sur le tableau N°22:

Tableau N° 22: Résultats physico-chimiques du lait de soja comparativement aux valeurs trouvées par Zaoui (2011) et aux normes AFNOR

Analyses	Paramètres	Lait de soja		Norme AFNOR(1986)
MG%		2,25	(1,84*)	1,5 à 2,3
EST%		7,28	(8*)	7
ESD%		5,03	(6,16*)	4,7 à 5,5
Protéine %		3,85	(4,2*)	>3,6
Lactose%		0	(0*)	0
Acidité (°D)		11	(11*)	/
Densité (Kg/m ³)		1013	(1013*)	/
pH _{Lait}		6,53	6,53	/

(*) Lait utilisé lors de la préparation des essais par 30%, 38% et 43% d'incorporation. D'après les résultats, on constate que le pH du lait de soja est proche de la neutralité.

Le taux de l'extrait total est de (8%) et l'extrait sec dégraissé est de (6,16%) sont supérieurs à ceux qui sont préconisés par les normes AFNOR(1986), et ce qui concerne le taux de protéine qui est de 4,2% est conforme aussi à la norme AFNOR(1986).

Alors que le taux de la matière grasse qui est de (1,84%) est conforme à la norme AFNOR qui varie entre (1,5% et 2,3 %).

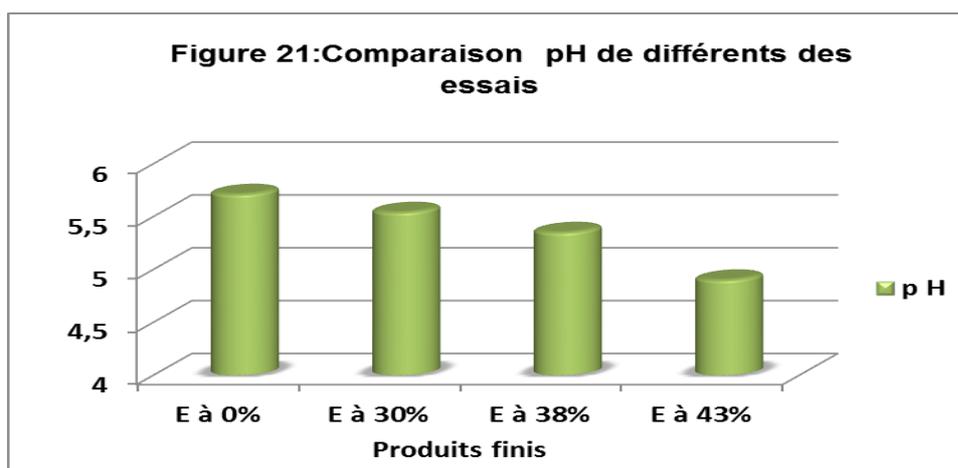
Selon les analyses physico-chimique, nous remarquons que le lait de soja utilisé pour la préparation de fromage par 20% et 25.12% d'incorporation a des caractéristiques identiques à celui utilisé pour la préparation du fromage pour 30%, 38% et 43% d'incorporation

I.2. Produits finis :

Les résultats des analyses physicochimiques des fromages fondus incorporés du lait de soja à différents pourcentages sont mentionnés dans le tableau N°23.

Tableau6 N°23: Analyses physico-chimiques des fromages fondus incorporés du lait de soja à différents pourcentages.

Normes AFNOR 1986	pH	EST(%)	MG(%)	MG/ES(%)	ESD(%)	MAT(%)
	5,60 - 5,85	Min 45	22,5 ±1	Min 40	22 ±1	Min 10
E à 0 % (E₁)	5,71±0,01	46,13±0,01	22,34±0,01	48,50±0,01	23,79±0,01	15,22±0,21
E à 30% (E₂)	5,54±0,01	45,70±0,01	19,2±0,14	42,01±0,01	26,5±0,14	21,66±0,01
E à 38% (E₃)	5,35±0,01	45,14±0,01	18,6±0,14	41,21±0,01	26,54±0,69	21,78±0,01
E à 43% (E₄)	4,90±0,13	44,22±0,01	17,2±0,14	38,90±0,01	27,02±0,01	21,92±0,01



Les résultats c
d'incorporation

Figure21 : Comparaison pH de différents des essais

centage
fourchette

préconisé par la norme AFNOR (1986) qui varie entre (5,60-5,85).

Comparativement à l'essai témoin (E₁), où le pH est de (5,71), le pH de cet essai (E₂) est inférieur ce qui pourrait être dû au pH du lait de soja qui est de (6,53). Le pH est cependant

comparable à celui trouvé par ZAOUI (2011) ayant incorporé le lait de soja avec (15 et 25,12%).

On remarque que le pH de l'essai (E_3) correspondant à un pourcentage d'incorporation du lait de soja à 38%, sa valeur de pH est de (5,35), se situe aussi dans la fourchette préconisée par la norme AFNOR(1986) cependant le pH de l'essai (E_4) a un pourcentage d'incorporation à 43, le pH est de (4,90), cette valeur est non conforme à la norme AFNOR (1986).

Cependant l'analyse statistique a révélé un effet significatif ($P=0,01$) de la variation du pourcentage d'incorporation du lait de soja sur le p H du fromage fondu.

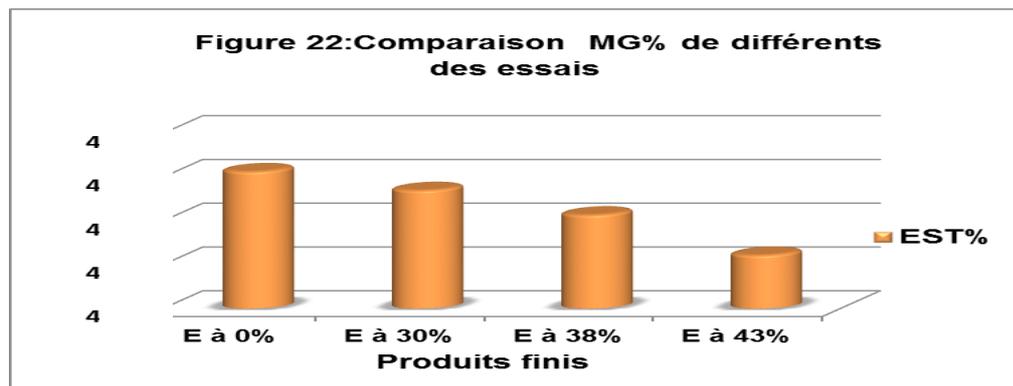


Figure 22 : Comparaison EST% de différents des essais

Concernant l'EST, il est de (45,70) pour l'essai (E_2), ce qui correspond à la valeur minimale exigée par la norme AFNOR(1986) avec 45% comparativement au témoin où l'EST est de (46,13%), on note que pour l'essai (E_2) la substitution de la poudre de lait par le lait de soja a engendré une diminution de l'EST. Cette teneur est de (45,70) est inférieure à la valeur trouvée par ZAOUI (2011) où les % étaient plus faibles.

Les résultats obtenus nous enseignent aussi que pour l'essai (E_3) correspondant à un pourcentage d'incorporation du lait de soja à 38, l'EST est de (45,14) est conforme à la norme AFNOR(1986) et cette teneur de l'EST est inférieure à la valeur de l'essai (E_1) et aux valeurs trouvées par ZAOUI (2011) par contre la valeur de l'EST de l'essai (E_4) est de 44,22 cette valeurs ne correspond pas à la valeur préconisée par la norme AFNOR(1986) avec 45 au minimum et comparativement aux valeurs trouvées pour (E_1) et ZAOUI (2011), l'EST de (E_4) est très faible.

L'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif ($P=0,001$) de la variation du pourcentage d'incorporation du lait de soja sur l'extrait sec total.

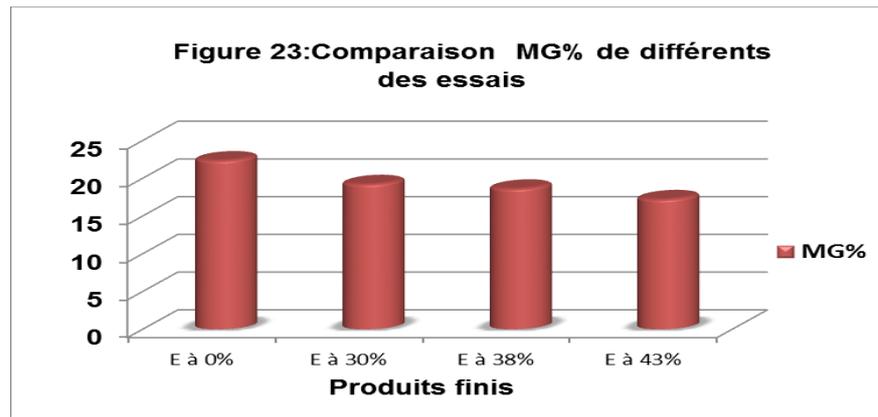


Figure 23 : Comparaison MG% de différents des essais

Les résultats obtenus de la matière grasse (MG) nous montrent que pour (E_2), la MG est de (19,2), cette valeur répond à la norme AFNOR(1986) qui est de (22 ± 1) et comparativement aux valeurs de (E_1) et de ZAOUI (2011) cette valeur est faible.

Pour l'essai (E_3) sa valeur en MG est de (18,7) donc cette valeur est faible par rapport aux valeurs de (E_1) et de ZAOUI (2011) puisque le pourcentage d'incorporation du lait de soja a 38 est important car le lait de soja est pauvre en matière grasse. La teneur en matière grasse de (E_4) est de (17,2) ce taux est très faible et ne correspond pas à la norme AFNOR(1986) ce qui confirme que le lait de soja contient moins de matières grasses saturées que le lait de vache et l'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif ($P=0,002$) de la variation du pourcentage d'incorporation du lait de soja sur la matière grasse

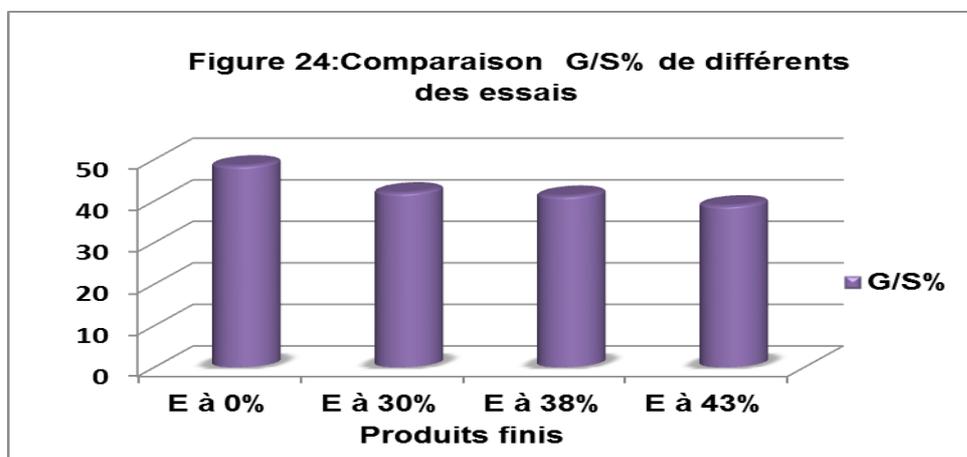


Figure 24 : Comparaison G/S% de différents des essais

Le rapport MG / EST des trois essais (0%,30%,38%) sont conformes à la norme précisée par AFNOR(1986) est de 40% minimum alors que pour l'essai (43%) son taux est de (38,90) est non conforme aux mêmes normes.

L'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif ($P=0,000$) de la variation du pourcentage d'incorporation du lait de soja sur le rapport MG/EST.

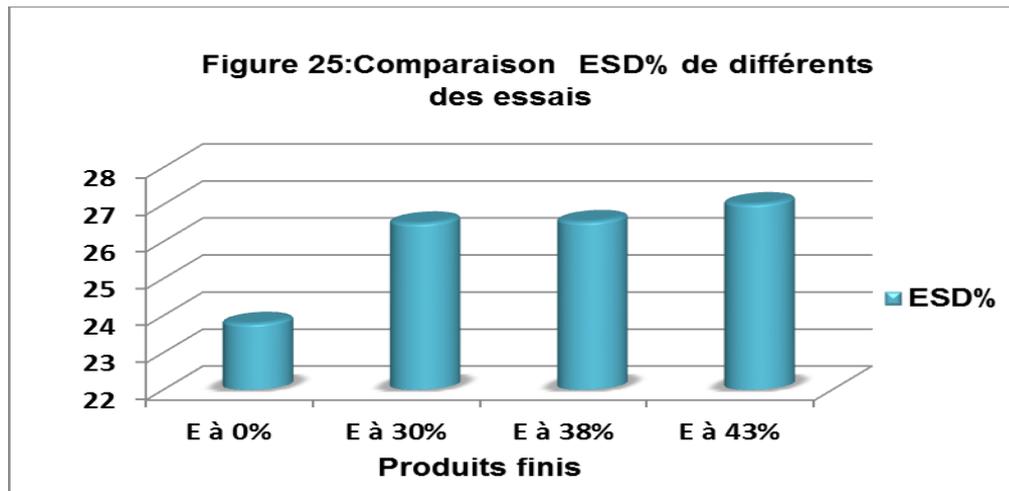


Figure 25 : Comparaison ESD% de différents des essais

Les résultats obtenus de l'ESD nous montrent que pour (E_2), l'ESD est de (26,5%), et pour (E_3), l'ESD est de (26,54%) ces valeurs ne répondent pas à la norme AFNOR(1986) qui est de (22 ± 1) et comparativement aux valeurs de (E_1) et de ZAOUI (2011) ces valeurs sont importantes et l'analyse statistique a révélé un effet très hautement significatif ($P=0,000$) de la variation du pourcentage d'incorporation du lait de soja sur l'extrait sec dégraissé.

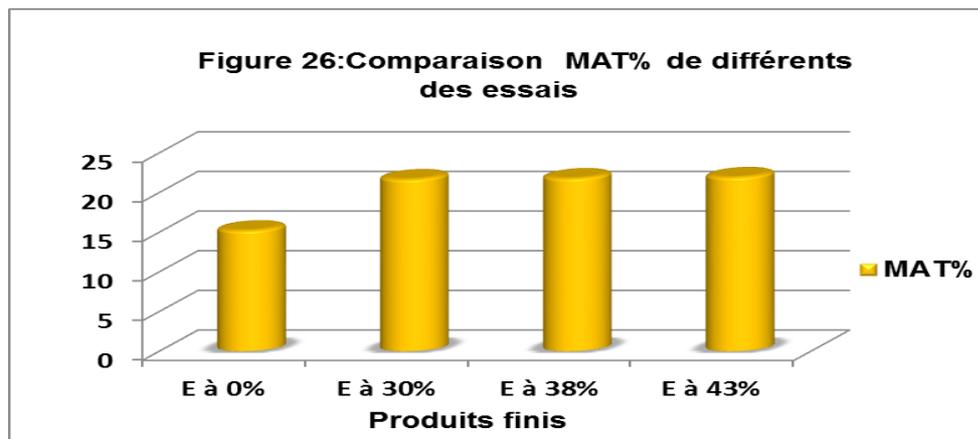


Figure 26 : Comparaison MAT% de différents des essais

Les résultats obtenus montrent que, pour l'essai (E_2), la MAT est de (21,66%), cette valeur est conforme à la norme AFNOR (1986) cette norme est de 10% au minimum.

Comparativement à l'essai témoin (E_1), où la MAT est de (15,2%), la MAT de cet essai (E_2) est supérieure ce qui pourrait être dû aux protéines du lait de soja qui est de (4,2%). La MAT est cependant comparable à celui trouvé par ZAOUI (2011) ayant incorporé le lait de soja avec (15 et 25,12%).

On remarque que la MAT de l'essai (E_3), sa valeur est de (21,78%), cette teneur répond aussi à la valeur préconisée par la norme AFNOR(1986) cependant la MAT de l'essai (E_4) est de (21,92%), cette valeur est conforme à la norme AFNOR (1986) mais elle est très élevée par rapport à (E_1) et aux valeurs de MAT trouvées par ZAOUI(2011) alors que l'analyse

statistique a révélé un effet significatif ($P=0,01$) de la variation du pourcentage d'incorporation du lait de soja sur la matière azoté total.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les produits finis de (0%,30% et 38%) laprésententdes caractéristiques physicochimiques similaires et conformes à la normes AFNOR(1986) comparativement aux essais obtenus par 15 % et 25.12% d'incorporation issus de ZAOUI (2011),alors que les résultats de l'essai a (43%) ne répond pas aux exigence de cette norme d'où ça non pris en considération.

Les résultats obtenus nous enseignent aussi que nous avons respecté lesobjectifs physicochimiques à atteindre, donc les recettes ont été bien faites pour les essais de (0%,30% et 38%).

II. Résultats des analyses microbiologiques:

II.1.Matières premières:

II.1.1.Lait de soja :

Les résultats des analyses microbiologiques du lait de soja sont représentés dans letableau suivant :

Tableau N° 24: Résultats des analyses microbiologiques du lait de soja

Les germes recherchés	Résultats			Normes* Germes/gr	Décision
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³		
Dilution					
Germes totaux (aérobie mésophile)	Abs	Abs	Abs	10 ⁵	Conforme
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	/	Conforme
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	10 ³	Conforme
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	/	/
streptocoque groupe D	Abs	Abs	Abs	Abs	/
Staphylocoque	Abs	Abs	Abs	50	Conforme
CSR	Abs	Abs	Abs	Abs	Conforme
SAG	Abs	Abs	Abs	/	Conforme
Salmonelle	Abs	Abs	Abs	Abs	Conforme

(*) Le conseil canadien des normes. (Anonyme, 2009).

Onremarque une absence totale des germes pathogènes (clostridium sulfito-réducteur,spores anaérobies gazogènes,Salmonelle et streptocoquegroupe D) de contamination (Germes totaux,Coliformes totaux et Coliformes fécaux) etaltération (Levures etmoisissures), cela peut être expliqué par la qualité des graines de soja et le respect

des conditions aseptiques au cours de prélèvement des échantillons et aussi à l'efficacité du traitement thermique lors de la cuisson du lait de soja.

Le contrôle microbiologique suggère une très bonne qualité hygiénique du lait de soja.

II.2 Produits finis :

Les résultats des analyses microbiologiques des produits finaux sont présentés dans le tableau ci-dessous ;

Tableau N°25 : les Résultats des analyses microbiologiques des produits finaux

L	E ₁		E ₂		E ₃		Normes (J.O, 1998) Germes/gr	Décision
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²		
Dilutions	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁻²		
Germes totaux (aérobie mésophile)	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ⁵	Conforme
Coliformes Totaux2	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	/	Conforme
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	10 ³	Conforme
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	/	/
streptocoque groupe D	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	/	/
Staphylocoqu e	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	50	/
CSR	Abs	Conforme						
SAG	Abs	Conforme						
Salmonelle	Abs	Conforme						

D'après les résultats des analyses microbiologiques des produits finis, on observe une absence totale des germes de contamination (Germes totaux, Coliformes totaux et Coliformes fécaux) et d'altération (Levures et moisissures), ainsi que les germes pathogènes (clostridium sulfite-réducteur, spores anaérobies gazogènes, Salmonelle et streptocoque groupe D) cela peut être expliqué par le respect des conditions d'asepsies et d'hygiène au cours de prélèvement des échantillons et à la qualité microbiologique des matières premières utilisées, et aussi à l'efficacité du traitement thermique lors de la cuisson du fromage .

III. l'étude de stabilité des produits finis :

III.1 Résultats des analyses physicochimiques :

Le suivi de stabilité des produits finis stockés pendant 30 jours à températures (6°C, 25°C et 37°C) sont illustrés sur le tableau N°26 :

Tableau N°26 : Résultats des analyses physicochimiques de l'étude de la stabilité des produits finis après 2 semaines.

Paramètres	EST(%)			pH		
	6°C	25°C	37°C	6°C	25°C	37°C
Norme AFNOR (1986)	Min 45 %			5.60-5.80		
E ₁	45,31	45,65	45,87	5,70	5,73	5,68
E ₂	46,89	46,94	46,98	5,67	5,84	5,55
E ₃	46,12	46,36	45,00	5,60	5,54	5,52

Les résultats montrent qu'après 2 semaines aux différentes températures de stockage, la matière sèche l'essai E₂ est de (46,89%) à la température 6°C et à la température 25°C est de (45,94%) ainsi qu'à 37°C il est de (46,98%) et on remarque que ces valeurs sont conformes aux normes AFNOR(1986) avec 45% au minimum et comparativement aux valeurs de l'essai témoin E₁ et les valeurs trouvées par ZAOUI(2011) pour l'essai E à 15% et l'essai E à 25,12% , l'EST de l'essai E₂ aux différentes températures de stockage est inférieur et ce qui concerne à l'essai E₃ son EST répond à la norme AFNOR(1986) à la température 6°C d'une valeur de (46,12%), à la température 25°C avec (46,36%) et à la température 37°C avec (45%) comparativement aux valeurs de l'essai témoin E₁ et les valeurs trouvées par ZAOUI(2011) pour l'essai E à 15% et l'essai E à 25,12% , l'EST de l'essai E₃ aux différentes températures de stockage est faible.

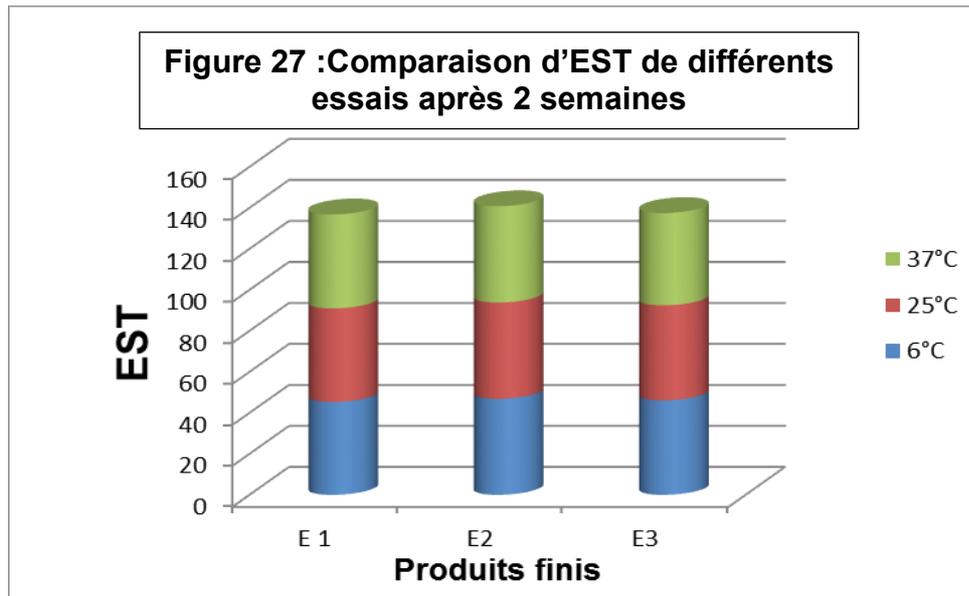


Figure 27 : Comparaison EST% de différents des essais après de semaines

le pH de l'essai témoin (0%) répond aux normes AFNOR(1986) aux différentes températures de stockage, tandis que le deuxième essai E₂, le pH à 6°C est de (5,67) cet pH répond à la norme AFNOR qui varie entre (5,60-5,85), comparativement au témoin et aux valeurs trouvées par ZAOUÏ(2011) ou les valeurs de pH, à 25°C est de (5,84) et à 37°C est de (5,55) sont inférieures.

Le troisième essai E₃, son pH répond à la norme AFNOR(1986) qu'à la température 6°C d'une valeur de (5,60) cependant il est inférieur aux valeurs trouvées par ZAOUÏ (2011) ainsi que pour l'essai E₁.

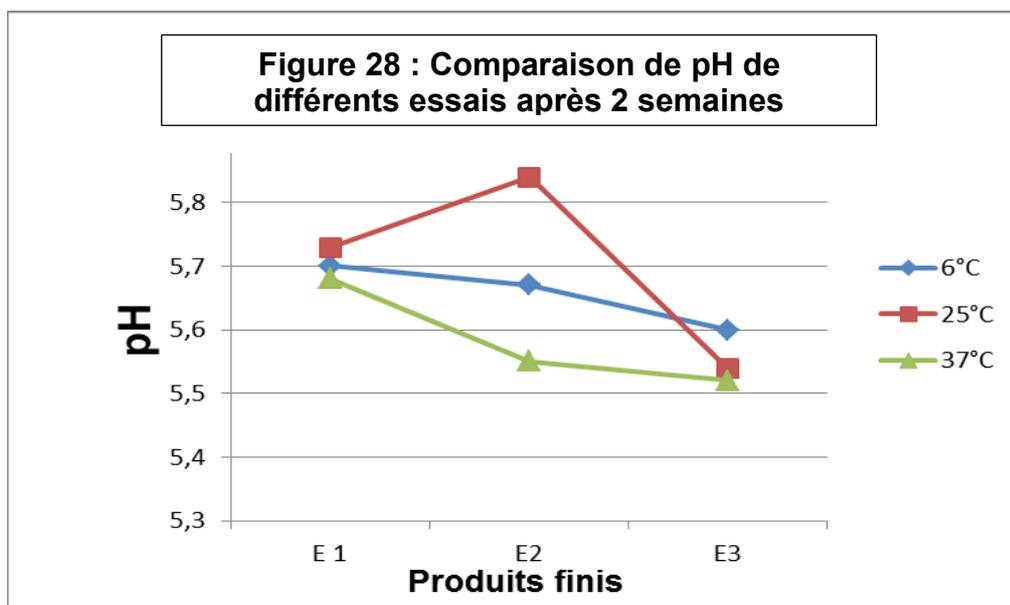


Figure 28 : Comparaison pH% de différents des essais après 2 semaines

Tableau N°27 : Résultats des analyses physicochimiques de l'étude de la stabilité des produits finis après 4 semaines.

Paramètres	EST(%)			pH		
	6°C	25°C	37°C	6°C	25°C	37°C
Norme AFNOR (1986)	Min 45 %			5.60-5.80		
E ₁	46,31	46,65	46,87	5,68	5,70	5,66
E ₂	48,89	48,86	48,55	5,62	5,80	5,52
E ₃	48,30	48,45	48,02	5,58	5,52	5,50

Les résultats montrent qu'après 4 semaines aux différentes températures de stockage, la matière sèche l'essai E₂ est de (48,89) à la température 6°C et à la température 25°C est de (48,86%) ainsi qu'à 37°C il est de (48,55%) et on remarque que ces valeurs sont conforme aux normes AFNOR(1986) avec 45% au minimum et comparativement aux valeurs de l'essai témoin E₁ et les valeurs trouvés par ZAOU(2011) pour l'essai E à 15% et l'essai E à 25,12%, l'EST de l'essai E₂ aux différentes températures de stockage est supérieur et ce qui concerne à l'essai E₃ son EST répond à la norme AFNOR(1986) à la température 6°C d'une valeur de (48,30%), à la température 25°C avec (48,45%) et à la température 37°C avec (48,02%) comparativement aux valeurs de l'essai témoin E₁ et les valeurs trouvés par ZAOU(2011) pour l'essai E à 15% et l'essai E à 25,12% , l'EST de l'essai E₃ aux différentes températures de stockage est supérieure.

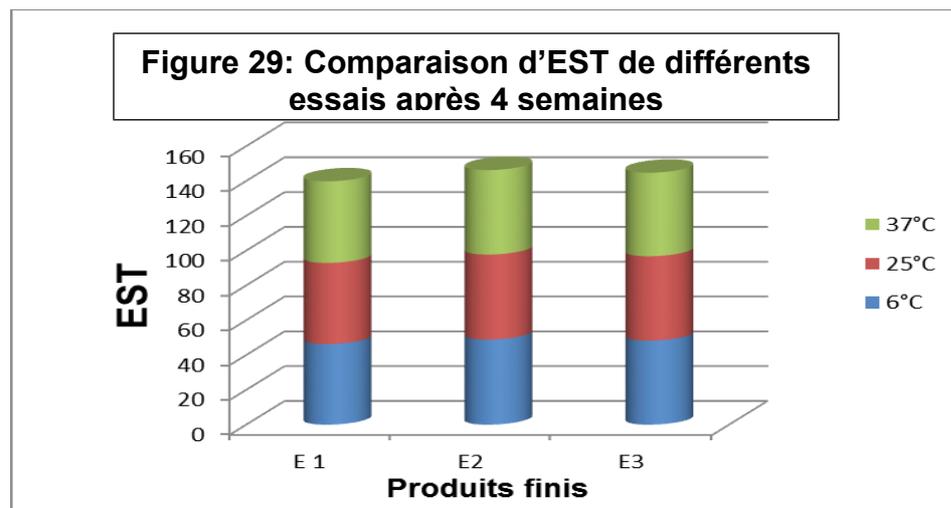


Figure 29 : Comparaison EST% de différents des essais après 4 semaines

Le pH de l'essai témoin (0%) répond aux normes AFNOR(1986) aux différentes températures de stockage, tandis que le deuxième essai E₂, le pH à 6°C est de (5,62) et à 25°C est de(5,80) leur pH répond à la norme AFNOR qui varie entre (5,60-5,85), comparativement au témoin et aux valeurs trouvée par ZAOUI(2011) sont inférieur.

Le troisième essai E₃, le pH ne répond pas à la norme AFNOR(1986) cependant il est inférieur aux valeurs trouvées par ZAOUI (2011) ainsi que pour l'essai E₁. On compare les résultats obtenus d'un travail précédant avec notre travail on remarque qu'il n'y a pas d'écart entre la valeur de l'EST et le pH.

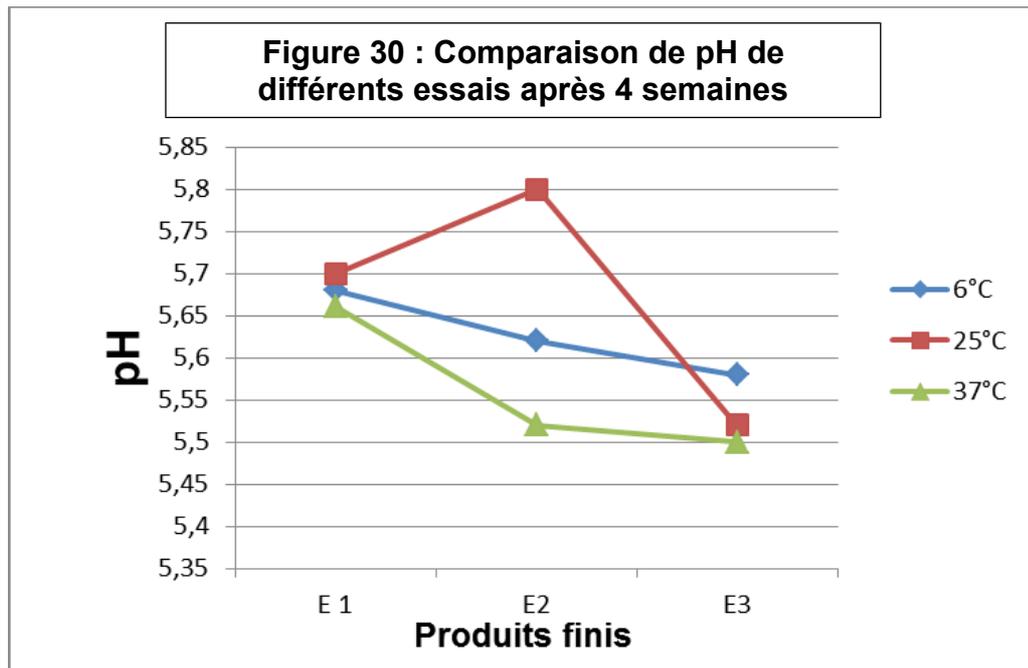


Figure 30 : Comparaison pH% de différents des essais après 4 semaines

III.2.Résultats des analyses microbiologiques :

Le suivi de la stabilité microbiologique des produits finis au cours de leur stockage à 6°C , 25°C et 37°C après 2 semaines sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau N°28: Suivi de la stabilité microbiologique des produits finis.

Formulations	Température	SAG, Levures et moisissures	
		Après 2 semaines	Après 4 semaines
E ₁	6°C	Abs	Abs
	25°C	Abs	Abs
	37°C	Abs	Abs
E ₂	6°C	Abs	Abs
	25°C	Abs	Abs
	37°C	Abs	Abs
E ₃	6°C	Abs	Abs
	25°C	Abs	Abs
	37°C	Abs	Abs

Les résultats de l'analyse microbiologique des trois formulations indiquent l'absence totale des SAG et des levures et moisissures.

IV. Résultats de l'analyse sensorielle:

IV.1. Avant stockage (à la production) des trois essais :

Par cette analyse, la qualité de nos produits alimentaires a été en partie évaluée, tout en sachant que la notion de qualité est à priori subjective puisque le meilleur test d'évaluation est le consommateur.

Pour juger et contrôler la qualité des produits alimentaires, on fait appel à des critères et des méthodes d'évaluation de divers types (**Cheftel et al, 1977**).

Les résultats d'un test de dégustation et visuel à la stabilité de produit fini de chaque formulation après 2 semaines sont rapportés dans le tableau ci-après :

Tableau N°29: Résultats d'un contrôle sensoriel et visuel de l'étude de la stabilité des produits finaux après 2 semaines :

Produits		Aspect	Texture	Gout	Notes/sur 20	Classement
E à 0%	6°C	bon	bonne	bon	14,50	2
	25°C	bon	bonne	bon	14,86	2
	37°C	bon	bonne	bon	14,35	2
E à 30%	6°C	légèrement jaune	très bonne	très bon	16,25	1
	25°C	légèrement jaune	très bonne	très bon	15,47	1
	37°C	jaune	très bonne	bon	15,22	1
E à 38%	6°C	légèrement jaune	légèrement collante	bon	12,75	3
	25°C	jaune	légèrement collante	Légèrement amer	12,66	3
	37°C	jaune	collante	Légèrement amer	11,54	3

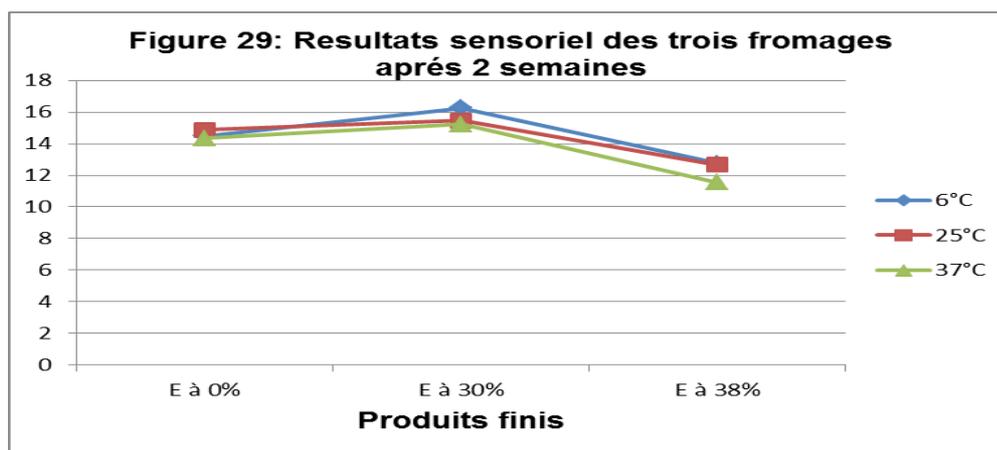


Figure 31 : Résultats sensoriel des trois fromages après 2 semaines

D'après cette figure nous constatons que le fromage le plus apprécié et accepté est celui qui est fait à base de 30% du lait de soja, car il présente les meilleures qualités organoleptiques. La figure 19 montre clairement cette préférence.

Alors que les autres fromages ont connu une appréciation notable. Le fromage à base de 38%, malgré qu'il soit classé avant le dernier, a toutefois montré une certaine acceptabilité par les consommateurs.

IV.2. Après stockage :

Les résultats d'un test de dégustation et visuel à la stabilité de produit fini de chaque formulation après 4 semaines sont rapportés dans le tableau ci-après :

Tableau N°30 : Résultats d'un contrôle sensoriel et visuel de l'étude de la stabilité des produits finaux après 4 semaines :

Produits	Température	Aspect	Texture	Gout	Notes/sur 20	Classement
E à 0%	6°C	bon	bonne	bon	14,30	2
	25°C	bon	bonne	bon	13,66	2
	37°C	bon	bonne	bon	13,35	2
E à 30%	6°C	jaune	très bonne	bon	14,40	1
	25°C	jaune	bonne	bon	14,38	1
	37°C	jaune	bonne	bon	14,35	1
E à 38%	6°C	jaune	molle	acide	10,66	3
	25°C	jaune	molle	acide	10,23	3
	37°C	jaune	Très molle	acide	9,88	3

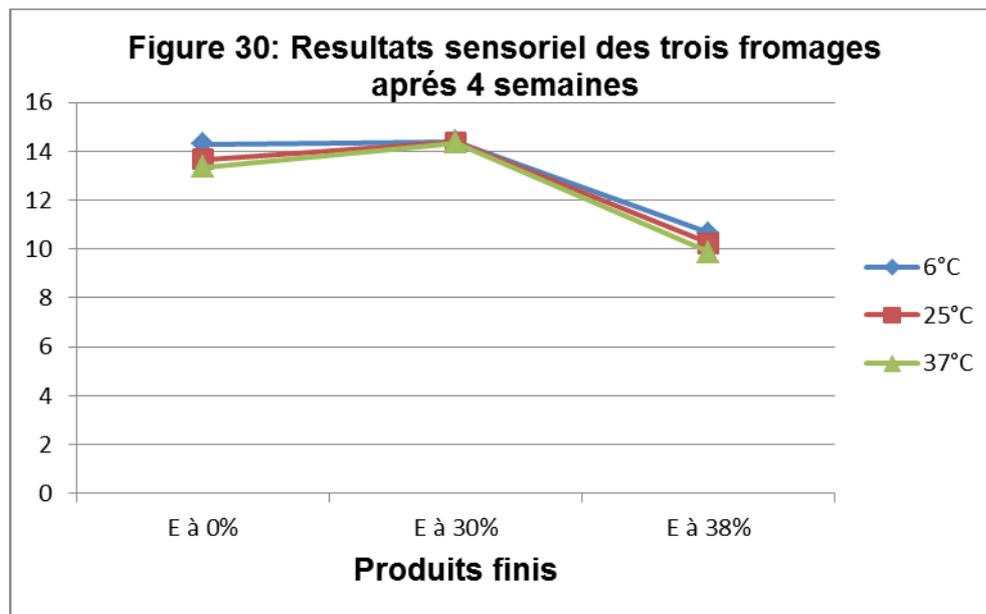


Figure 32 : Résultats sensoriel des trois fromages après 4 semaines

Les résultats montrent qu'il y a une variation des paramètres de dégustation et visuel à la stabilité de produit fini de chaque formulation après 4 semaines, on trouve une bonne qualité pour l'essai E₂ correspondant à un pourcentage d'incorporation du lait de soja à 30 alors que l'essai E₃ correspondant à un pourcentage d'incorporation du lait de soja à 38 sa qualité est assez bonne pour la texture et l'acidité dans la quatrième semaine. Concernant l'essai E₁ à 0% la stabilité de produit et sa qualités ont une acceptation moyenne par les dégustateurs.

IV.3. Résultats du test descriptif :

Chaque critère est noté sur une note allant de 0 à 5, selon l'intensité de ce dernier les moyennes des résultats sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau N°31 : Résultats du test descriptif

Caractère	E à 0% (/5)	E à 30% (/5)	E à 38% (/5)
Gout amer	0,16	0,64	0,76
Gout piquant	0,6	0,36	0,40
Gout sucrée	0,6	0,62	0,50
Gout salé	1,03	0,9	0,80
Gout acide	0,6	0,5	0,70
Couleur	Normal	Normal	Normal
Odeur	Normal	Normal	Normal

Selon le tableau, nous remarquons que l'amertume à augmenter pour les deux essais (30% et 38%) cela peut être expliquée par la présence de lait de soja.

On identifie la cause majeure de ce goût caractéristique du lait de soja par la présence des lipoxygénases dans la graine de soja, ce goût apparait dès le broyage de la graine crue, donc dès la mise en contact des différents composés. (Godon, 1996), mais la moyenne d'amertume (0,66; 0,78)/5 reste très faible et peut être perceptible dans le palais.

Par contre le goût acide était plus marqué dans l'essai à 0% du lait de soja, cela peut être expliqué qu'au cours de la cuisson la pâte a pris plus de temps pour lever donc du fait que le fromage brûle on a ajouté l'acide citrique qui a augmenté l'acidité de cette essai. Le goût salé a été plus marqué dans l'essai à 0% de lait de soja, ce qui est confirmé par l'analyse de taux de sel, puisque l'essai témoin est le plus salé des trois. La couleur et l'odeur ont la même réponse pour l'ensemble des sujets donc pas de mauvaise odeur et la couleur jaune claire qui est la couleur normale du fromage fondu qui provient essentiellement du cheddar.



Figure 33 : Essai E₁ à 0% **Figure 34** : Essai E₂ à 30%



Figure 35 : Essai E₃ à 38%

Conclusion

Notre étude a confirmé la possibilité de produire un fromage fondu par l'incorporation de lait de soja et avec l'ajout de la préfonte.

Au terme de ce travail, il ressort que le lait de soja de « SOY VILLAGE » à l'état frais renferme des quantités appréciables en protéines et il contient moins de matières grasses saturées, donc on peut conclure:

- La très bonne qualité du produit fini de point de vue:

* **Physicochimique:**

Les résultats des analyses physicochimiques (pH, MG, EST,...) de lait de soja et des produits finis répondent aux normes AFNOR.

* **Microbiologique:**

Les résultats des analyses microbiologique de lait de soja et des fromages fondu obtenu montrent une très bonne qualité hygiénique ce qui reflète l'absence des germes pathogènes, les germes d'altération et absence de contamination lors de la préparation de lait de soja, lors de la fabrication des fromages et au moment des prélèvements des échantillons. Ainsi, nous pouvons dire que les bonnes pratiques d'hygiène ont été respectées depuis la préparation jusqu'à l'obtention des produits finis. L'étude de la stabilité qui a porté sur une durée d'une deux semaines a montré que le produit est très bien conservé à la température adéquate de stockage.

* **Aspect :** pâte homogène, bonne texture, couleur conforme.

* **Organoleptique:**

L'incorporation du lait de soja à un taux égale à 30% et à 38% semble être un maximum pour avoir de bonnes caractéristiques organoleptiques et les analyses organoleptiques effectuées montrent aussi que ce nouveau produit est accepté par les dégustateurs ; et le goût idéal correspond à la préparation de 30% et même plus.

* **Stabilité:**

Les conditions de conservation à 6°C influent sur la composition biochimique de fromage. Nous signalons que certains paramètres tels que le pH, l'extrait sec total, matière grasse, protéines présentent une très légère variation résultent du développement des germes totaux, levures et moisissures ce qui témoigne que la réfrigération à 6°C n'inhibe pas la prolifération de certains germes.

Il faut signaler que d'après nos résultats et au bout de 15 jours de conservation, le produit ne montre pas de grandes variations, donc il sera possible d'augmenter sa durée de conservation pour mieux maîtriser ses variations.

Perspectives:

Comme perspectives à notre travail nous pouvons citer les points suivants:

- Réalisation des autres essais de préparation de fromage avec des pourcentages d'incorporation au-delà de 38% avec et sans préfonte.
- Incorporation de tofu dans la fabrication de fromage fondu (comme substitution de cheddar).
- Incorporation du beurre de soja dans la fabrication de fromage et d'autres produits.
- Extraction des protéines à partir de Tempeh
- Utilisé la farine de soja dans la fabrication des biscuits et des produits céréales.
- l'étude économique pour une exploitation à grande échelle de cette incorporation
- Enrichissement de tonyu en calcium.

Annexe N° 1

I. Appareillage et réactifs :

Réactifs :

- Acide sulfurique (d= 1,525)
- Acide sulfurique concentré
- Alcool iso amylique
- Eau distillée
- Phénolphtaléine 1%
- Solution d'hydroxydes de sodium NaOH (N/9)

Appareillage :

- Agitateur
- Balance analytique
- Bain-marie
- Bec-benzène
- Becher de 500 ml, 250 ml et 100ml
- Boite de pétri
- Burette à robinet graduée
- Butyromètre GERBER gradué
- Butyromètre de VAN GULIK
- Capsule en aluminium
- Centrifugeuse
- Distillateur
- Dessiccateur à balance (MA 150)
- Etuves à incubation
- Entonnoir
- Eprovette
- Fiole de 2 l
- Appareil d'analyse Food scan
- Appareil d'analyse FT 120
- Godet
- pH mètre avec électrode de verre
- plaque chauffante
- Réfrigérateur à 6°C
- Sachet stomacher stériles
- Spatules
- Pair de pince
- Pipettes de 10 ml et 1 ml
- Portoir en inox
- Tubes à essai, TPS

Composition des milieux de culture

➤ TSE :

-Molécules organiques azotées	1g
-Nacl.....	8.5g
-Eau distillée	1000ml

➤ Gélose viande-foie (VF) :

-Base viande foie.....	10g
-Glucose.....	0.75g
-Sodium sulfure.....	1.20g
-Fer citrate amoniacal	0.5g
-Agar-agr.....	11 g
-Eau distillée	1000ml

Au moment de l'emploi :

Ajouter 20 ml du milieu de base fondu sans bulles :

- 0.5ml d'une solution de sulfite de sodium à 5%
- 4 gouttes d'alun de fer ammoniacal à 5% autoclave : 5min à 120°C

➤ Désoxycholate de sodium :

-Peptone	10g
-Lactose	10g
-Désoxycholate de sodium	1g
-Citrate de sodium.....	2g
-Agar 12à.....	18g
-Rouge neutre.....	0.03g
-Eau distillée	1000ml

Préparation :

Dissoudre 42.5g de milieu dans l'eau distillée puis porter à l'ébullition et ne pas mettre à l'autoclave.

➤ Milieu Lactose au bromocresol poupre(BCPL) :

-Peptone	5g
-Extrait de viande.....	.3g
-Lactose.....	10g
-Bactro-agar-difco	15g
-Bromocresol poupre	0.5g
-Eau distillée sur verre	1000ml -pH=7
-Autoclave à 115°C/20min.	

➤ **Réactifs d'ERLICH-KOVACS :**

-Paraméthylamine-benzoaldéhyde	3à 5 g
-Alcool iso amylique	75g

➤ **Milieu Rothe :**

-Peptone	20g
-Glucose.....	5g
-Chlorure de sodium.....	5g
-Phosphate dipotassique	2.7g
-Acide de sodium	0.7g
-Eau distillée.....	1000ml
-pH=7	
-Autoclave à 115°C/20min	

➤ **Milieu Eva litsky :**

-Peptone.....	20g
-Glucose.....	5g
-Chlorure de sodium.....	5g
-Phosphate di-potassique	2.7g
-Acide de sodium	0.3g
-Eau distillée	1000ml
-pH=7	
-Autoclave à 120°/20min	

➤ **Gélose lactosée billée et au rouge neutre (VRBL) :**

-Peptone.....	7g
-Extrait de levure	3g
-Lactose.....	10g
-Nacl	5g
-Sel biliaires.....	1.5g
-Rouge neutre.....	0.03g
-Cristal violet	0.002g
-Agar	12à 18g
-Eau distillée	1000ml

➤ **Plate Count Agar (PCA) :**

-Tryptone	5g
-Extrait.....	5g
-Extrait de levures.....	2.5g
-Glucose	4g
-Agar.....	9g
-Eau distillée.....	1000ml

Annexe N° 2

Tableau N°32 : Fiche De Dégustation :

Caractéristiques		E1	E2	E3	E4
Couleur	Blanc				
	Blanc crème				
	Jaune pale				
	Jaune				
Gout	Fade				
	Acide				
	Salé				
	Equilibré				
Odeur	Fromagère				
	Non fromagère				
Texture	Tartinable				
	Liquide				
	Tranchable				
	Sableux				
Jugé :	Pas bon				
	Moyen				
	Bon				

Couleur : Blanc (1), Blanc crème (2), Jaune pale (3), Jaune (4).

Texture : Tartinable (1), liquide (2), Tranchable (3), Sableux (4).

Odeur : Fromagère (1), Non fromagère (2).

Gout : Fade (1), Salé (+) (2), Salé (++) (3), Acide (4), Equilibré (5).

Tableau N°33 : Analyse de variance du pH:

Annexes

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0,26	7	0,04				
VAR.FACT	0,24	3	0,08	18,88	0,0101		
VAR.RESIDUELLE	0,02	4	0,00			0,07	1,2%

Tableau N° 34: Analyse de variance de l'EST :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	2,25	7	0,32				
VAR.FACT	2,25	3	0,75	3752,29	0,0001		
VAR.RESIDUELLE	0,00	2	0,00			0,01	0,0%

Tableau N°35 : Analyse de variance de MG :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	28,17	7	4,02				
VAR.FACT	28,11	3	9,37	624,23	0,0002		
VAR.RESIDUELLE	0,06	4	0,02			0,12	0,6%

Tableau N°36 : Analyse de variance de G/S :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	126,42	7	18,06				
VAR.FACT	126,42	3	42,14	210408,02	0,0000		
VAR.RESIDUELLE	0,00	4	0,00			0,01	0,0%

Tableau N°37 : Analyse de variance de MAT :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	64,21	7	9,17				
VAR.FACT	64,16	3	21,39	1875,98	0,0001		
VAR.RESIDUELLE	0,05	4	0,01			0,11	0,5%

Tableau N° 38: Analyse de variance de l'ESD :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	22,33	7	3,19				
VAR.FACT	21,83	3	7,28	58,15	0,0021		
VAR.RESIDUELLE	0,50	4	0,13			0,35	1,4%

Tableau N°39 : les Groupes homogènes de l'EST :

F1	LIBELLES	MOYENNES	GRUPE HOMOGENES
2	E2	46,93	A
3	E3	45,99	B
1	E1	45,61	C

Tableau N°40: les Groupes homogènes du pH

F1	LIBELLES	MOYENNES	GRUPE HOMOGENES
1	E1	5,70	A
2	E2	5,59	B
3	E3	5,55	C

ANNEXE N°3

Figure N°30: Représentation schématique des phénomènes biochimiques de la fonte

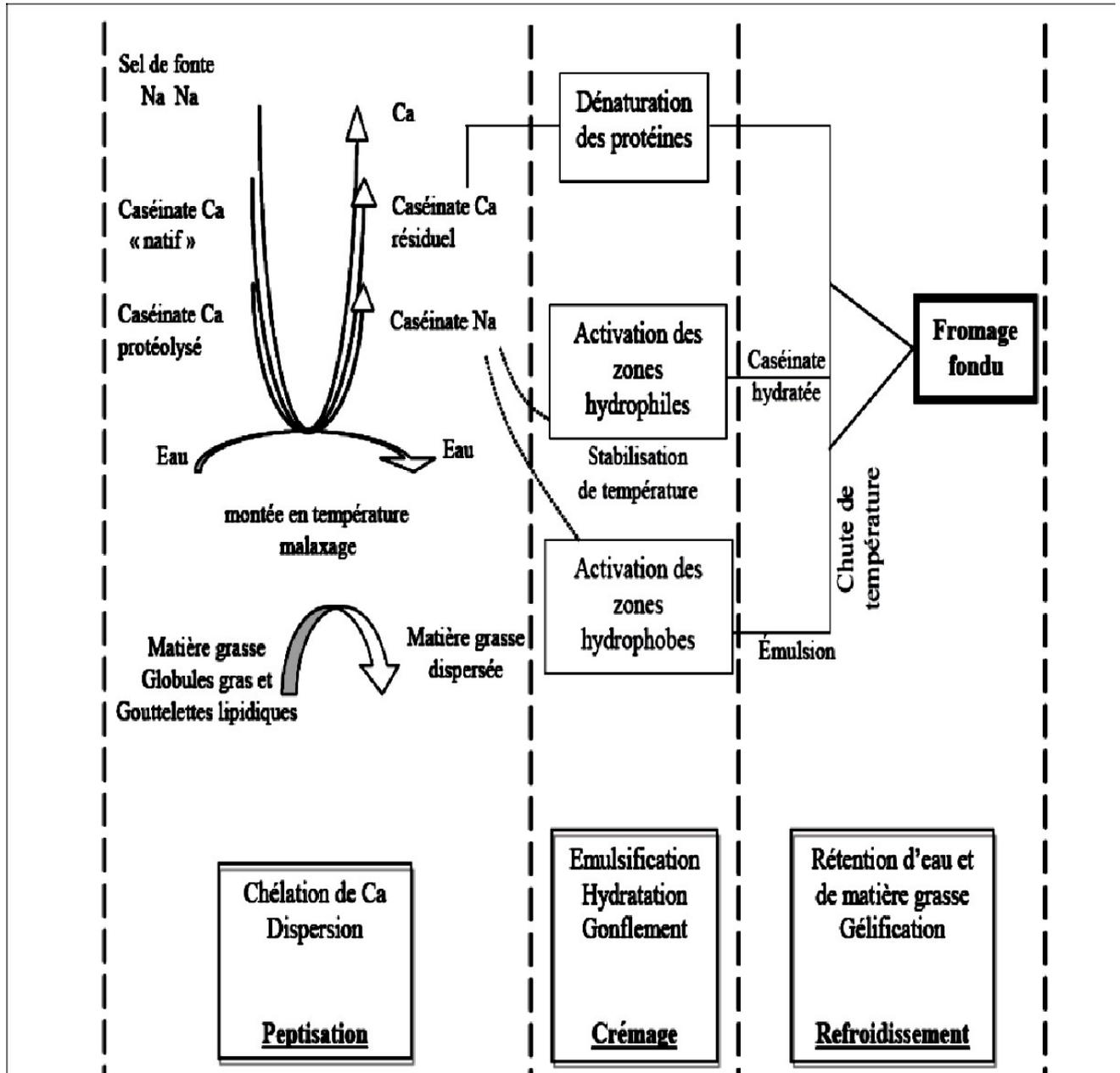


Figure n°30: Représentation schématique des phénomènes biochimiques de la fonte (Boutonnier, 2000).

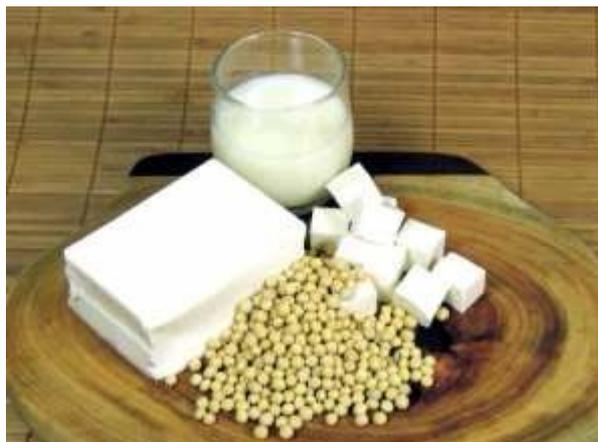
Le lait de soja (tonyu) :



Lait de soja (Source : <http://al.godsdirectcontact.org>)

Le lait de soja qui est connu dans les pays occidentaux sous le nom japonais « tonyu » est une boisson traditionnellement extraite à partir des graines de soja entières. Il peut être également préparé à partir des ingrédients à base de soja comme la farine de soja, les concentrats, les isolats de protéines, etc. C'est une émulsion et/ou une suspension contenant des protéines solubles dans l'eau, des glucides et des huiles. Il ne contient ni lactose ni cholestérol.

La composition du lait de soja extrait à partir des graines de soja entières dépend du ratio entre la quantité de soja et d'eau utilisé et des paramètres du processus de fabrication. La teneur en protéines du lait de soja peut varier de 1 à 4% correspondant aux ratios soja.



Tofu (Source : <http://www.chiropractic-help.com>)

Le tofu :

Tofu est le nom japonais pour un produit riche en protéines à base de soja. Il est préparé à partir du lait de soja par coagulation. Le tofu ferme est le caillé du lait de soja à 5 – 8 %

de matières sèches sous agitation forte à 90 – 95°C. Les carrés de tofu sont obtenus suite au pressage et égouttage. Le tofu mou est préparé à partir de lait de soja à 10 – 13 % de matières sèches par coagulation à 70 – 80°C à faible agitation. Le tofu peut être consommé frais, cuit ou séché.

Les produits fermentés :



Sauce de soja (à gauche) et **pâte de soja** (à droit)
(Source : <http://www.thesoydeception.com>)

La sauce de soja (shoyu) et la pâte de soja (miso) :

Le shoyu et le miso sont des assaisonnements savoureux à base de soja qui sont largement consommés en Chine, au Japon et les pays d'Asie du Sud-Est. La fabrication du shoyu et miso ont en commun la préparation du koji, qui est issu de la fermentation par *Aspergillus oryzae* ou *sojæ* soit du blé pour le shoyu, soit du riz ou de l'orge pour le miso. Le koji, concentré de protéases, de peptidases, d'amylase et de glutaminase, permet l'hydrolyse des protéines et la transformation de glutamine en acide glutamique (saveur umami). Après fabrication du koji, des graines de soja entières sont ajoutées ainsi que du sel, pour arrêter la croissance des moisissures. L'ensemble est fermenté 2 à 6 mois à 25 – 30°C avec *Pediococcus halophilus* et *Saccharomyces rouxii* ou *Candida versatilis*. Le caillé est ensuite égoutté et pasteurisé. Le shoyu contient 18% de sel, 5 à 7% de protéines, 0,1% de lipide et 8,5 % de glucides alors que le miso contient de 8 à 14% de sel, 10 à 19% de protéines, 3 à 9 % de lipides et 13 à 36% de glucides.

Le tempeh :



Tempeh (Source : <http://bushwickfoodcoop.wordpress.com>)

Annexes

Le tempeh est un produit fermenté très populaire en Indonésie et en Nouvelle Guinée. Il est sous forme d'un gâteau qui est complètement recouvert par des mycéliums blancs des moisissures. Il possède une saveur de noisette et une texture croquante.

Les graines de soja trempées, décortiquées et cuites, sont fermentées à 30 – 38°C par *Rhizopus oligosporus* pendant environ 24 h. Le tempeh renferme 20% de protéines, 7,7% de lipides et 17% de glucides.

Le natto :



Le natto est un produit fermenté à base de soja du Japon qui possède une apparence visqueuse, une texture douce et un goût sucré. Les graines de soja entières sont cuites avant d'être fermentées à 38°C par *Bacillus natto* pendant environ 20h. Elles sont ensuite gardées à 5°C pendant environ 24h. Le natto contient environ 18% de protéines, 11% de matière grasse et 14% de glucides.

Des protéines additionnelles inconnues dans le soja "*Roundup Ready*" tolérant au glyphosate ?

Il s'est avéré qu'après l'insertion du **transgène** dans le soja "*Roundup ready*", génétiquement modifié, ce transgène avait fait l'objet d'un réarrangement [génétique] depuis sa caractérisation par Monsanto, et qu'il contenait un long fragment d'ADN d'origine inconnue. Au moins quatre ARN de transfert supplémentaires, capables d'être traduits en de nouvelles protéines inconnues, ont été trouvés par la suite.

Le soja "*Roundup Ready*" a été autorisé pour une mise en culture à des fins commerciales en 1996 mais une caractérisation moléculaire de nature indépendante n'a été effectuée qu'en 2001. Le **transgène** inséré s'est avéré être brouillé [au plan biomoléculaire] depuis sa caractérisation par la société Monsanto. Un autre fragment de 250 paires de bases qui est situé en aval du terminateur **nos**, issu de la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*.

Un terminateur indique normalement à la cellule où doit cesser la **transcription** du message ; mais la cellule semble avoir ignoré ce signal et au moins 150 paires de base de cet ADN sont transcrites au delà du terminateur **nos**. Le produit de la transcription est ensuite arrangé avec, comme résultat, l'apparition de quatre variantes d'ARN, due au fait que la région transcrite du terminateur **nos** est complètement effacée.

Cela signifie que les ARN sont susceptibles d'être traduits en de nouvelles protéines inconnues. Le terminateur **nos** est utilisé dans beaucoup de plantes génétiquement

modifiées, ce qui suggère que de nouvelles protéines pourraient tout aussi bien être présentes dans d'autres plantes génétiquement modifiées.

"Roundup" : nom commercial d'un herbicide dont le principe actif est le glyphosate. Cette molécule est un herbicide à large spectre destiné à tuer toutes les plantes (adventices et plantes cultivées).

"Roundup Ready" : propriété d'une plante cultivée transgénique, provenant d'une modification génétique, qui est capable de résister à une application de l'herbicide glyphosate. Ainsi, un champ de plantes "Roundup Ready" peut être traité avec de l'herbicide "Roundup" sans que la culture ne soit atteinte, alors que les adventices doivent, en principe, être détruites.

Transgène : c'est une suite ou séquence de bases nucléiques, isolées d'un ou de plusieurs gènes, qui est construite et utilisée en vue de son intégration dans une cellule dans le but de modifier ou de transformer génétiquement celle-ci. Le but est de régénérer ensuite un individu fonctionnel ou **OGM = Organisme Génétiquement Modifié**.

Le soja OGM RR est-il propre pour la consommation ?

Depuis que le soja OGM RR a été approuvé pour la commercialisation, des études ont révélé des effets pervers chez les animaux de laboratoire nourris à ce soja, contrairement aux groupes témoins nourris aux aliments non-OGM:

- Les souris nourries au soja OGM RR ont présenté des changements cellulaires dans le foie, le pancréas et les testicules Les souris nourries au soja OGM ont montré des signes plus aigus de vieillissement dans leur foie⁶⁴.
- Les lapins nourris au soja OGM ont présenté des troubles enzymatiques dans les reins et le coeur
- Des changements dans l'utérus et les ovaires ont été observés chez les rates nourries au soja OGM.
- Le glyphosate est toxique pour les rats femelles et cause des malformations du squelette chez leurs foetus
- La baisse de rendement chez le soja a été associée à des problèmes de développement des racines, ainsi que de **nodulation** et de **fixation de l'azote**, en particulier dans des conditions peu fertiles ou en cas de sécheresse, car les **bactéries symbiotiques** qui sont responsables de la fixation de l'azote, sont sensibles à la fois au "Roundup" et à la sécheresse .
- En Grande-Bretagne, les allergies au soja ont augmenté de 50 pour cent entre 1998 et 1999, en raison de l'importation de sojas génétiquement modifiés. Des rats mâles ont manifesté des retards de croissance par le soja génétiquement modifié dans l'étude de Monsanto, parallèlement à une augmentation de 26,7 % d'un **allergène** important, l'**alpha-trypsine-inhibiteur**, qui est également un inhibiteur de croissance. Plus récemment, de nouveaux allergènes possibles ont été identifiés dans le soja génétiquement modifié.

Les laits végétaux :

Les laits d'oléagineux

Outre les éléments nutritifs qu'ils renferment, ces laits sont les plus digestes parce que les oléagineux sont des fruits adaptés à notre métabolisme. Ils sont d'autant plus intéressants qu'ils ne se présentent pas sous forme concentrée mais diluée. Ces laits sont particulièrement recommandés aux bébés et aux enfants. Ils sont tous sans gluten.

- **Le lait d'amande**

On peut le donner dès 4 mois.

Ce lait est nutritif et antiseptique pour les intestins. Il contient des vitamines A, B et E, du calcium, du fer, du magnésium en grande quantité et des fibres.

• Le lait de noisette

La noisette est reminéralisante, vermifuge et très digeste. Plus encore que le lait d'amande. Le lait de noisette est très riche en calcium, fer, magnésium et en acides gras mono-insaturés (protection du système nerveux, protection des maladies cardio-vasculaires).

• Le lait de coco

C'est un des laits végétaux les moins digestes. Il contient néanmoins des minéraux, du fer, magnésium et zinc. Le lait de coco est certainement le meilleur de tous pour parfumer les recettes, notamment salées (curry, poissons, etc...).

Les laits de céréales

• Le lait d'avoine

Recette traditionnelle des campagnes où il remplaçait le lait maternel lorsque l'on en manquait et servait de fortifiant pour les enfants. Aujourd'hui, mieux vaut en donner occasionnellement et plutôt en hiver. Ce lait contient du calcium, du fer et du magnésium, des vitamines E et B. Ce lait contient du gluten.

• Le lait d'épeautre

L'épeautre est une variété ancienne de blé qui a subi moins de croisements et qui est donc plus digeste. Ce lait contient des vitamines B, D, E (antioxydant), du calcium, du fer et du magnésium. Ce lait contient du gluten.

• Le lait de riz

C'est le lait de céréale le plus doux et le plus digeste. Ce lait apporte de la silice, constituant essentiel des os et cartilages, qui permettent la bonne fixation du calcium et du magnésium.

Certains laits de riz sont réalisés à base de riz complets (à privilégier). Il est naturellement exempt de gluten.

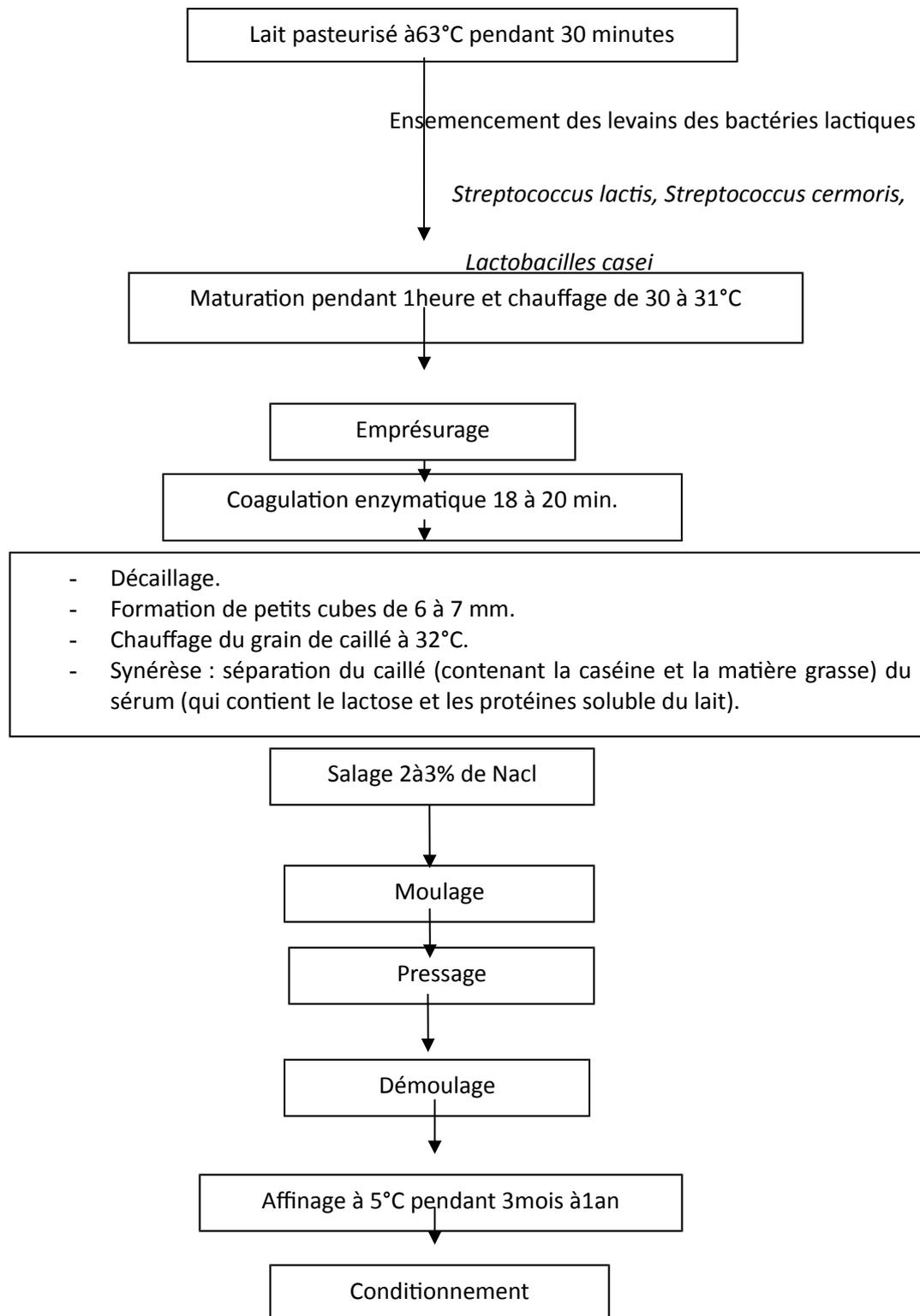
• Le lait de quinoa

Le quinoa n'est pas vraiment une céréale mais on le classe souvent dans cette famille. Cette petite graine originaire de la cordillère des Andes est très riche en minéraux, fer, calcium, magnésium et acides gras essentiels. Le quinoa est sans gluten et très digeste.

• Le lait de châtaigne

Reminéralisant, naturellement riche en sucre, très digeste. La châtaigne a la propriété d'alcaliniser l'organisme. C'est un bon aliment pour les estomacs délabrés, pour les acidités gastriques. Il a en outre un goût délicieux.

ANNEXE N° 4



« Les procédés technologiques de la fabrication du cheddar

(Kannane et Sadoune, 2008) »

Annexes

Tableau : Composition du cheddar (gramme pour un Kg de cheddar)

Constituants	Unité	Moyenne	Constituants	Unité	Moyenne
Energie	Kcal /Kg	4056	Acide gras		
Eau	g/Kg	360	Ac Butyrique	g /Kg	10,60
Matière sèche	g/Kg	640	Ac Caproïque	g/Kg	5,40
Lipide/MS	g/Kg	52,30	Ac Caprylique	g/Kg	2,80
Azote total	g/Kg	40,80	Ac Caprique	g/Kg	6,10
Protéines	g/Kg	260,30	Ac Laurique	g/Kg	5,50
Lipides totaux	g/Kg	335	Ac Myristique	g/Kg	33 ,70
Glucides disponible	g/Kg	Trace	Ac Palmitique	g/Kg	99,10
Minéraux			Ac Palmitique	g/Kg	10,10
Sodium	mg/Kg	7000	Ac Stéarique	g/Kg	40,50
Magnésium	mg/Kg	280	Ac Oléique	g/Kg	79,90
Phosphore	mg/Kg	4700	Ac Linoléique	g/Kg	5,90
Chlore	mg/Kg	14440	Ac Linoléinique	g/Kg	3,60
Potassium	mg/Kg	1000	Ac gras saturés totaux	g/Kg	213,20
Calcium	mg/Kg	7400	Ac gras mono-insaturés totaux	g/Kg	94,90
Fer	Cholestérol	4	Ac poly-insaturés totaux	g/Kg	9,50
Cuivre	mg/Kg	0,30	Stérols		
Zinc	mg/Kg	70	Cholestérol	g/Kg	1
Acide aminés			Vitamines		
Isoleucine	g/Kg	16,20	Rétinol	mg/kg	3100
Leucine	g/Kg	24,90	Béta carotène	mg/Kg	2050
Lysine	g/Kg	21,70	Vitamine D	mg/Kg	2,60
Méthionine	g/Kg	6,80	Vitamine E	mg/Kg	8
Cystine	g/Kg	1,30	Vitamine C	mg/Kg	0
Phénylalanine	g/Kg	13,70	Thiamine	mg/Kg	0,40
Tyrosine	g/Kg	12,60	Riboflavine	mg/Kg	5
Thréonine	g/Kg	9,30	Niacine	mg/Kg	1
Valine	g/Kg	17,40	Ac pantothénique	mg/Kg	3
Arginine	g/Kg	9,80	Vitamine B6	mg/Kg	0,80
Histidine	g/Kg	9,10	Vitamine B12	mg/Kg	15
Alanine	g/Kg	7,30	Folates totaux	mg/Kg	200
Aspartate	g/Kg	16,70	Biotines	mg/Kg	17
Glutamate	g/Kg	63,70		mg/Kg	
Glycocolle	g/Kg	4,50		mg/Kg	
Proline	g/Kg	29 ,30		mg/Kg	
Serine	g/Kg	15,20		mg/Kg	
Tryptophane	g/Kg	3,30		mg/Kg	

ANNEXE 5

Tableau : Analyses microbiologiques effectués sur le fromage et milieux de culture

Microorganisme	Milieu de culture
Germes totaux	PCA (30°C pendant 72 h)
Coliformes totaux	BLBVB (37°C pendant 24 à 48 h)
Coliformes fécaux	BLBVB (44°C pendant 24 h)
Streptocoques fécaux	Milieu de présomption : Roth (37°C pendant 24 h) Milieu de confirmation : Litsky (37°C pendant 24 h)
Staphylococcus aureus	Baird-Parker (37°C pendant 24 à 48 h)

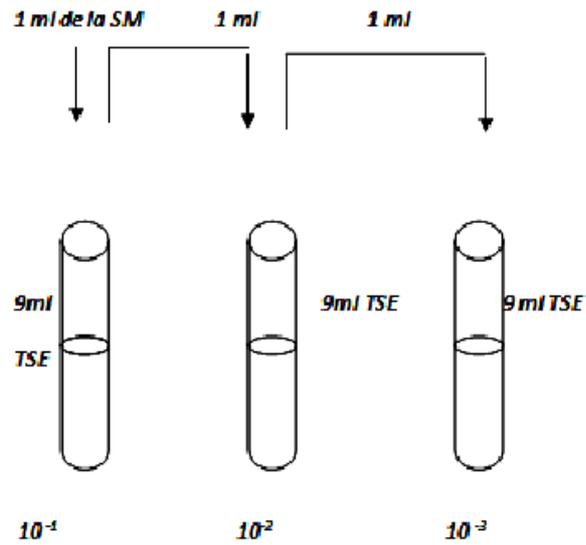


Figure n°31 : Préparation des dilutions pour les produits liquides

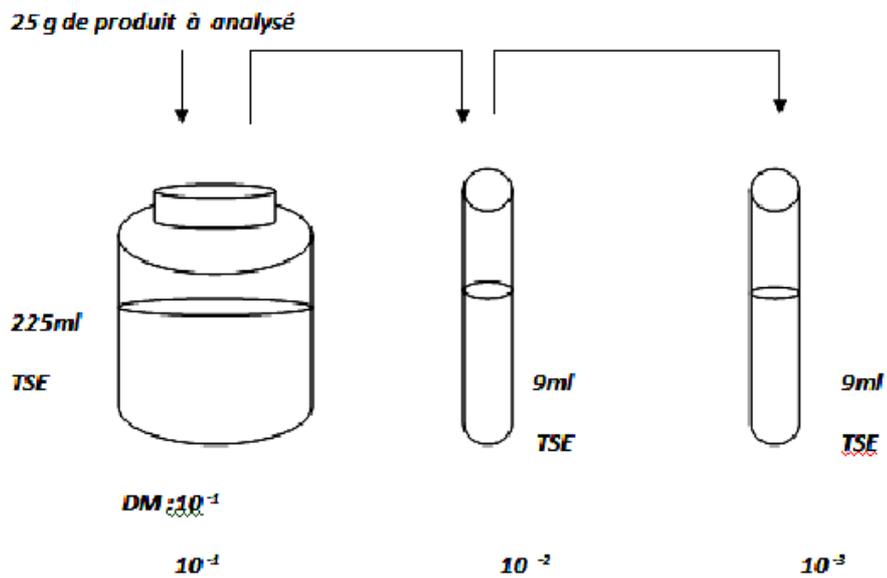
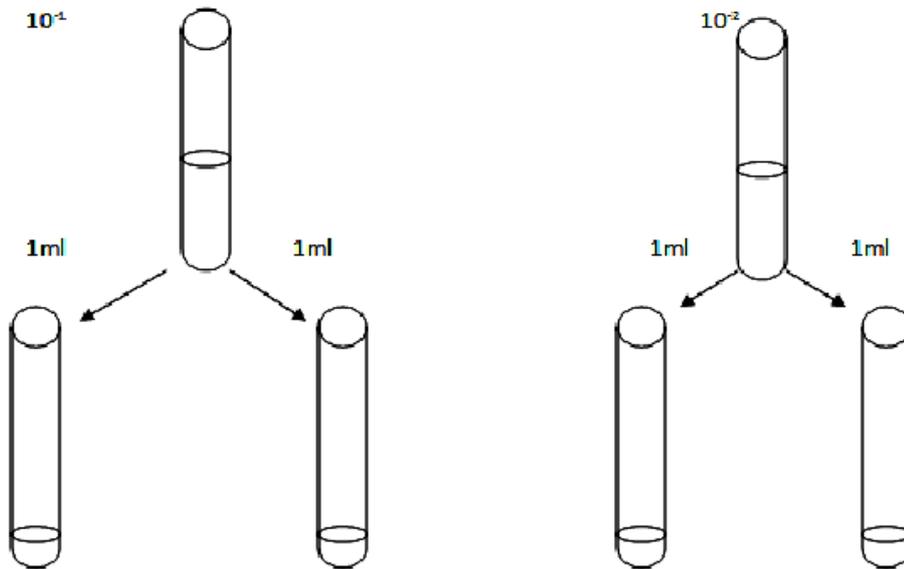


Figure : Préparation de la dilution mère et les dilutions décimales pour le produit solide

A partir des dilutions décimales



Chauffage à 80° C pendant 8 à 10 min

Refroidir brutalement sous l'eau de robinet

Ajouter 15 ml de gélose viande Foix par tube.

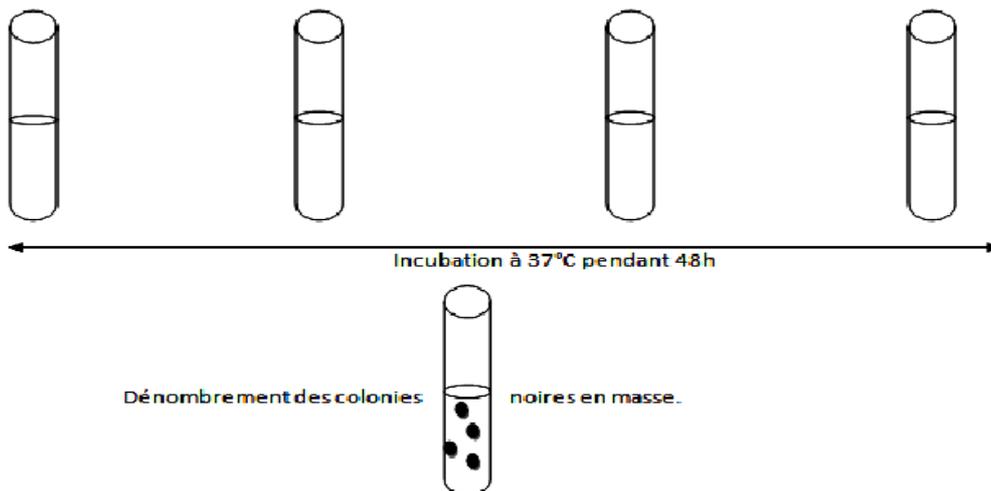
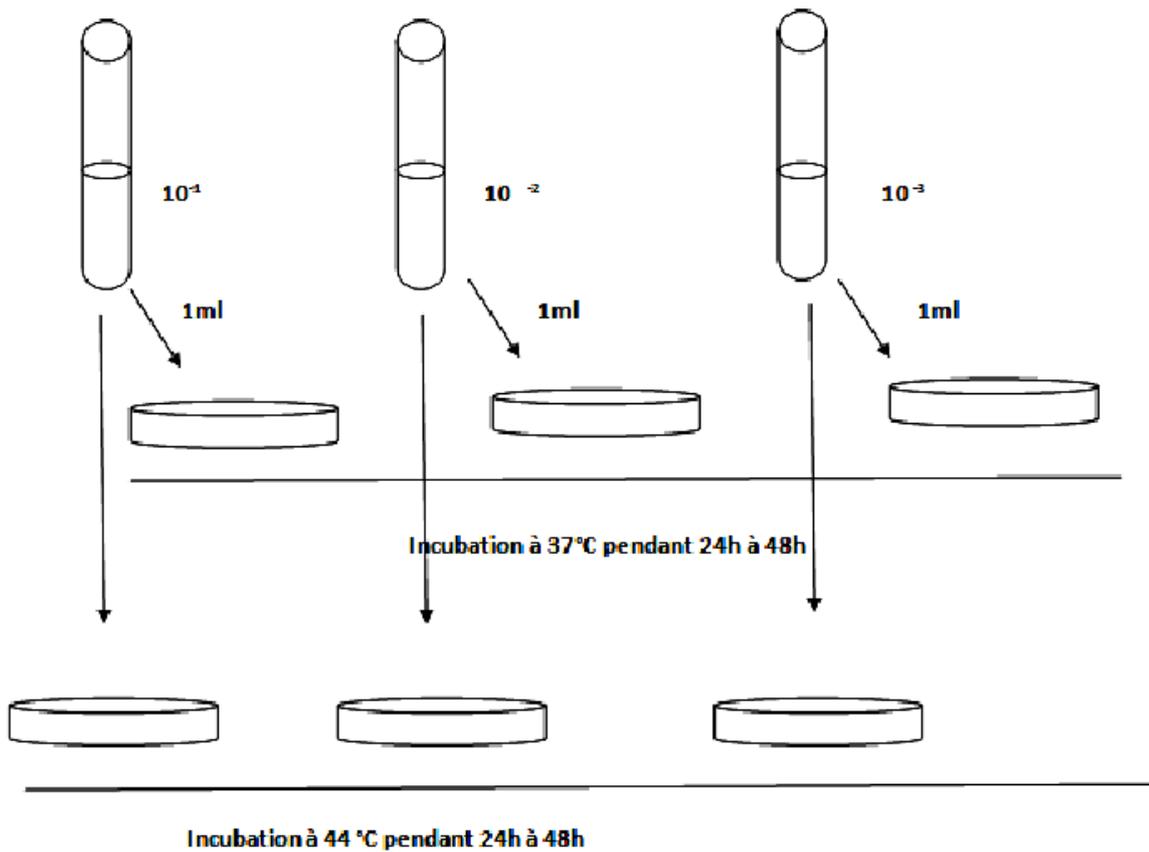


Figure : Recherche et dénombrement des sports de Clostridium sulfito-réducteur.

A partir des dilutions décimales:



*Ajouter auparavant environ 20 ml de VRBL

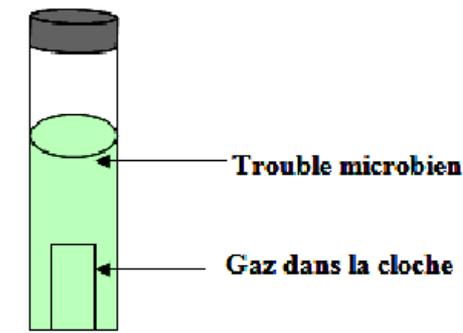
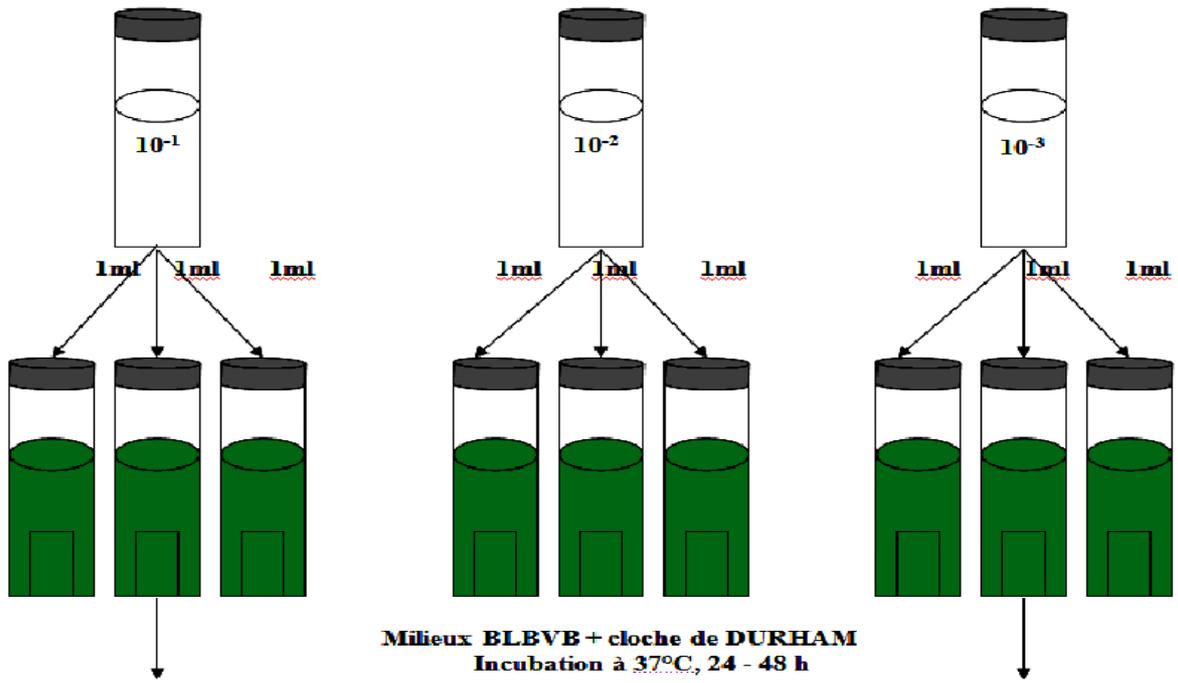
* laisser solidifier sur paillasse.

*Dénombrer les colonies fluorescentes ayant pousse en masse

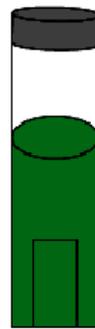


Figure : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu solide

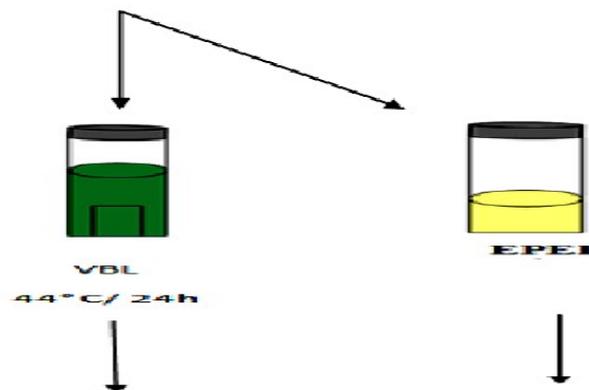
Annexes



Réaction positive



Réaction négative



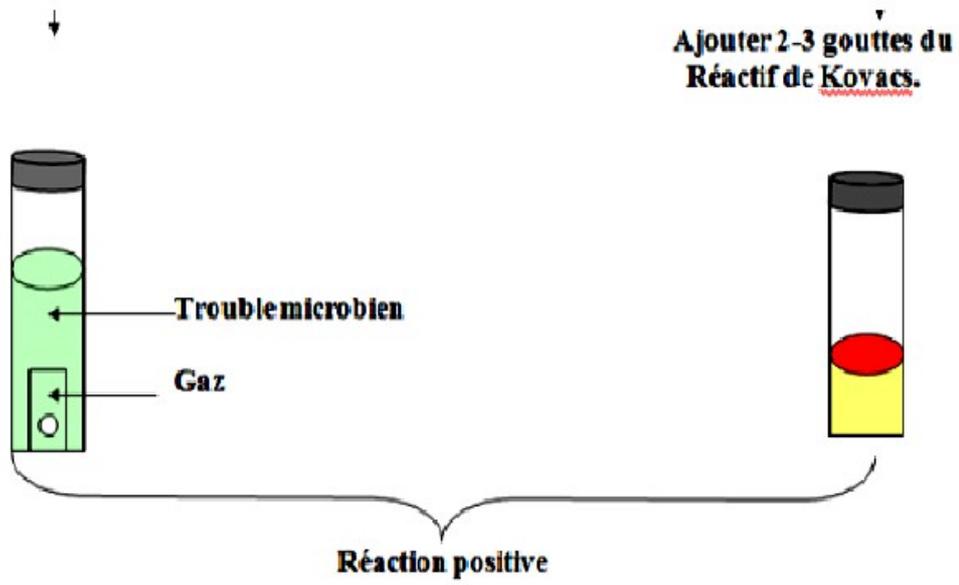


Figure : Recherche et dénombrement des coliformes dans un milieu liquide

A partir des dilutions décimales :

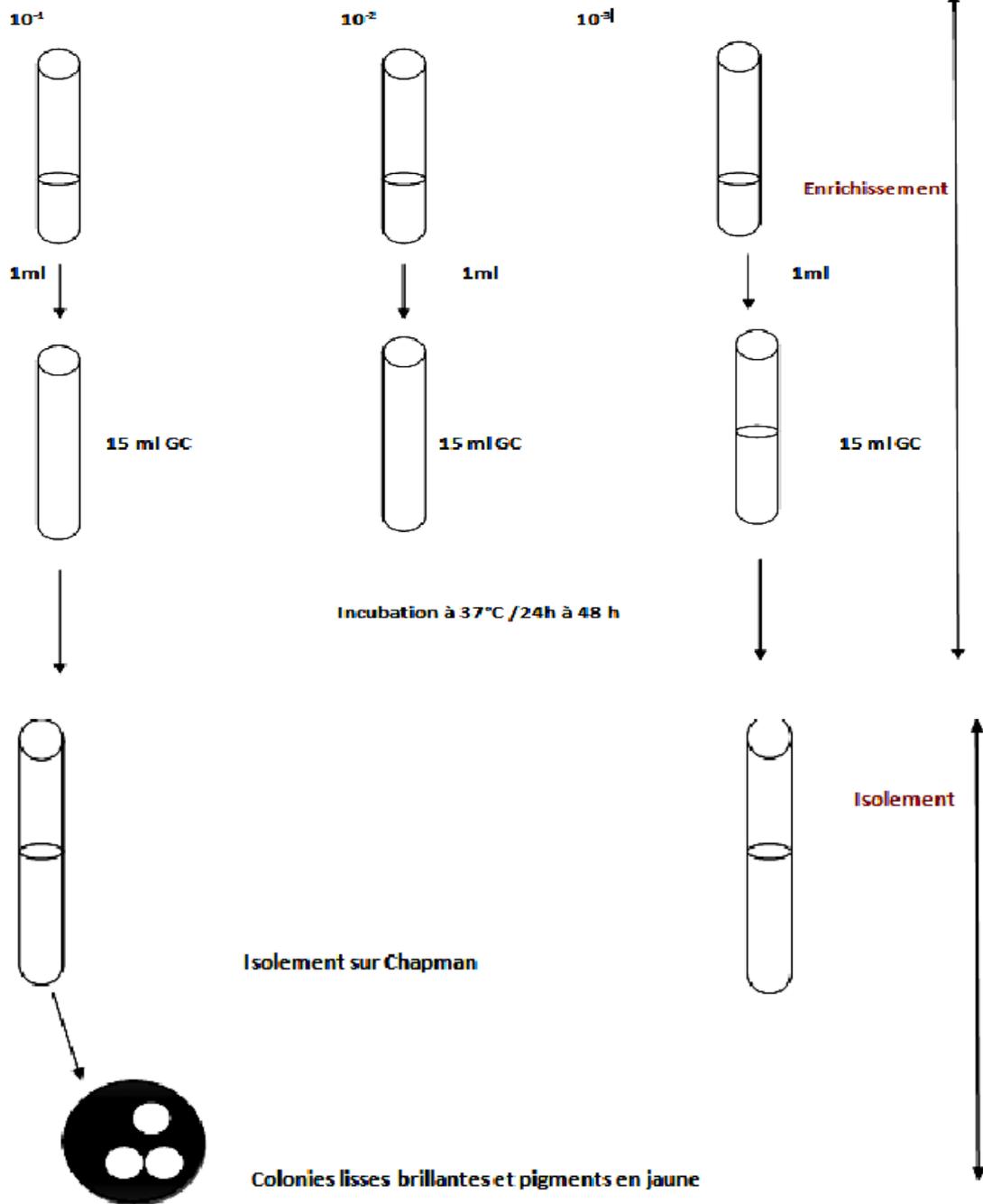
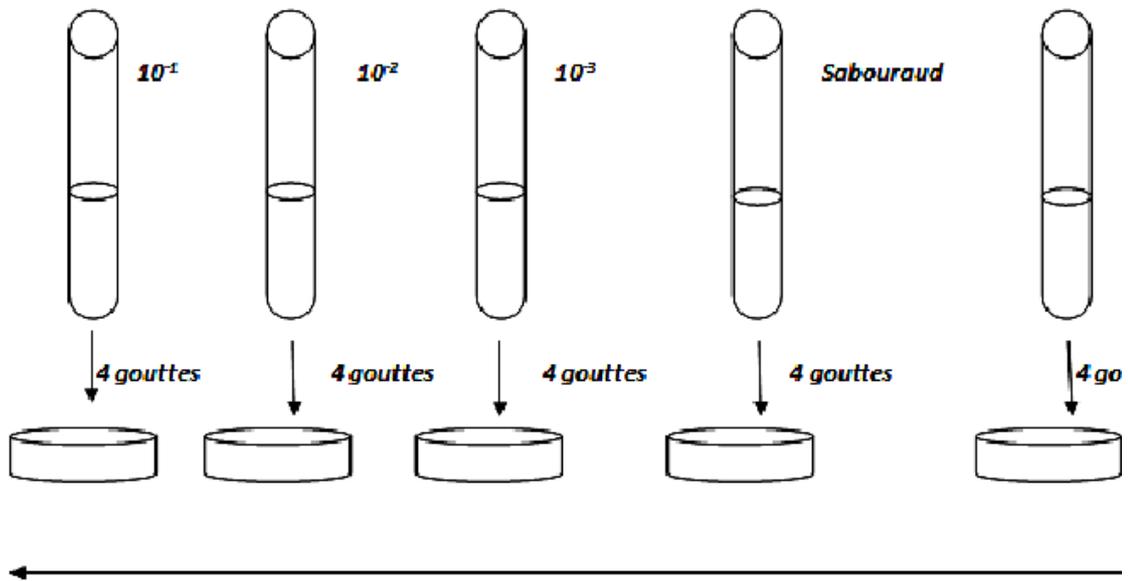


Figure: Recherche et dénombrement de staphylococcus aureus

A partir des dilutions décimales



Ajouter environ 20 ml de gélose sabouraud en suspension à 45 °C



Incubation à 22°C pendant 5 jours avec lecture tous les jours



Levures colonies pigmentées

Moisissures formes filamenteuses

Figure : Recherche et dénombrement des levures et moisissures

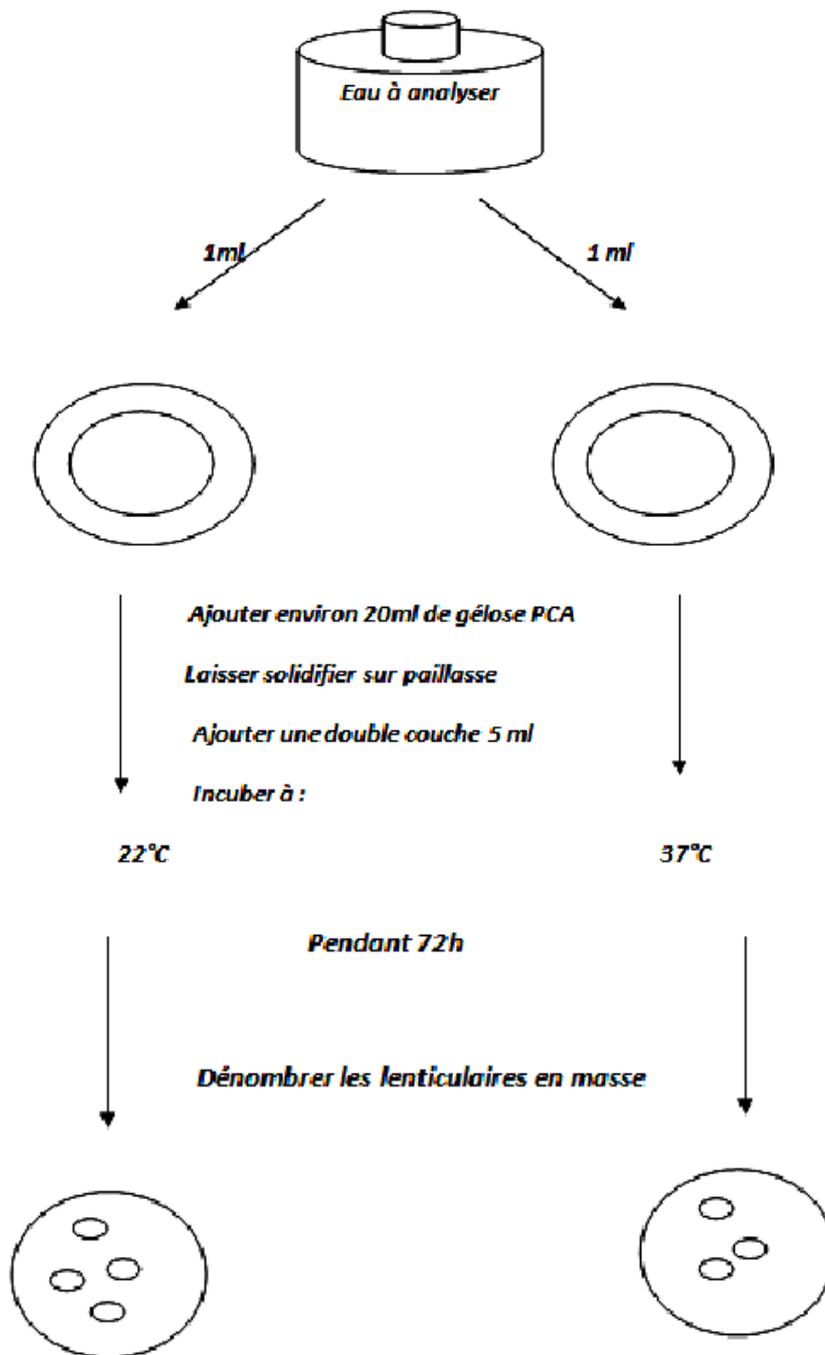


Figure : Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau.

Annexes

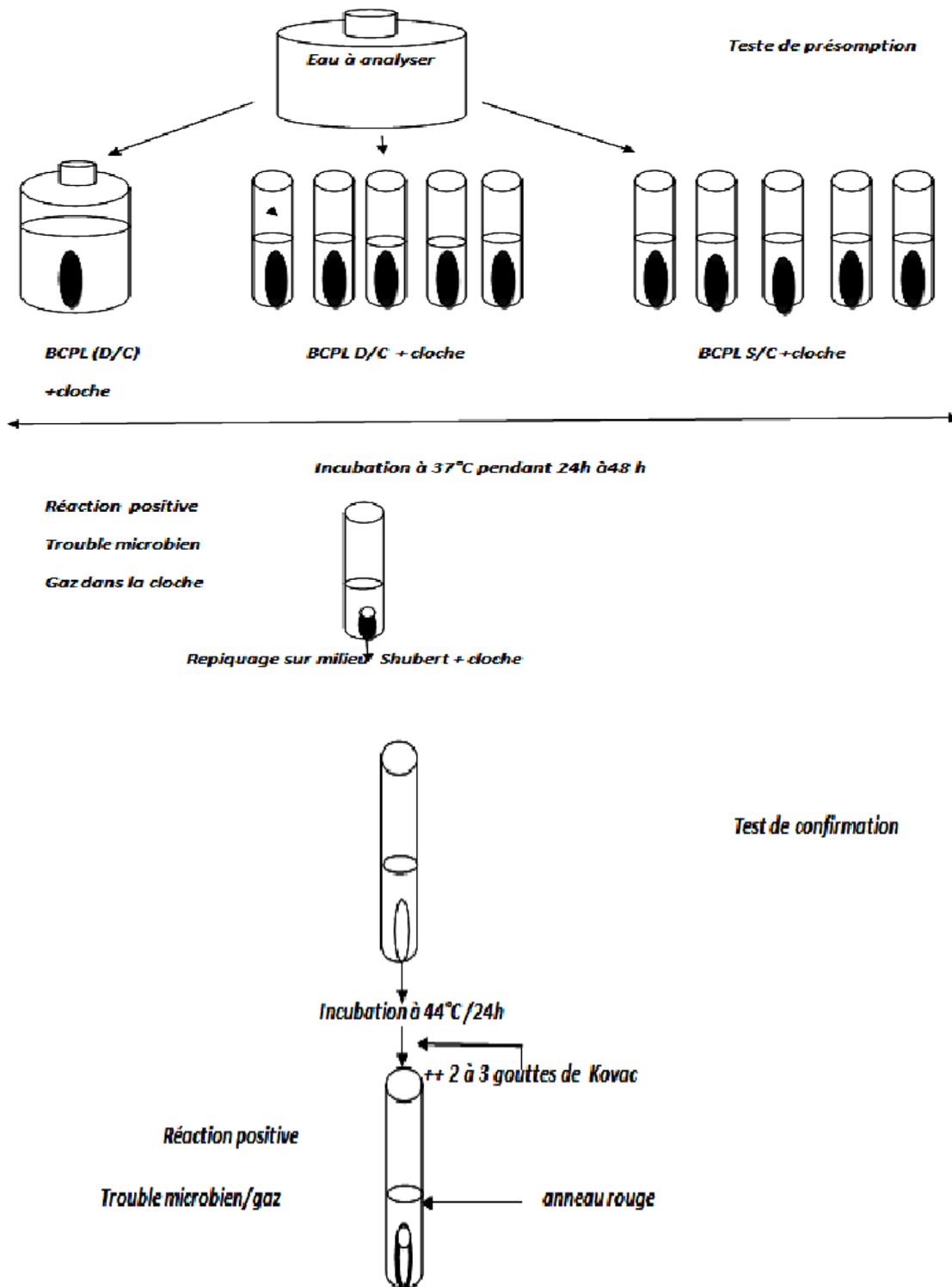


Figure: Recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau de process

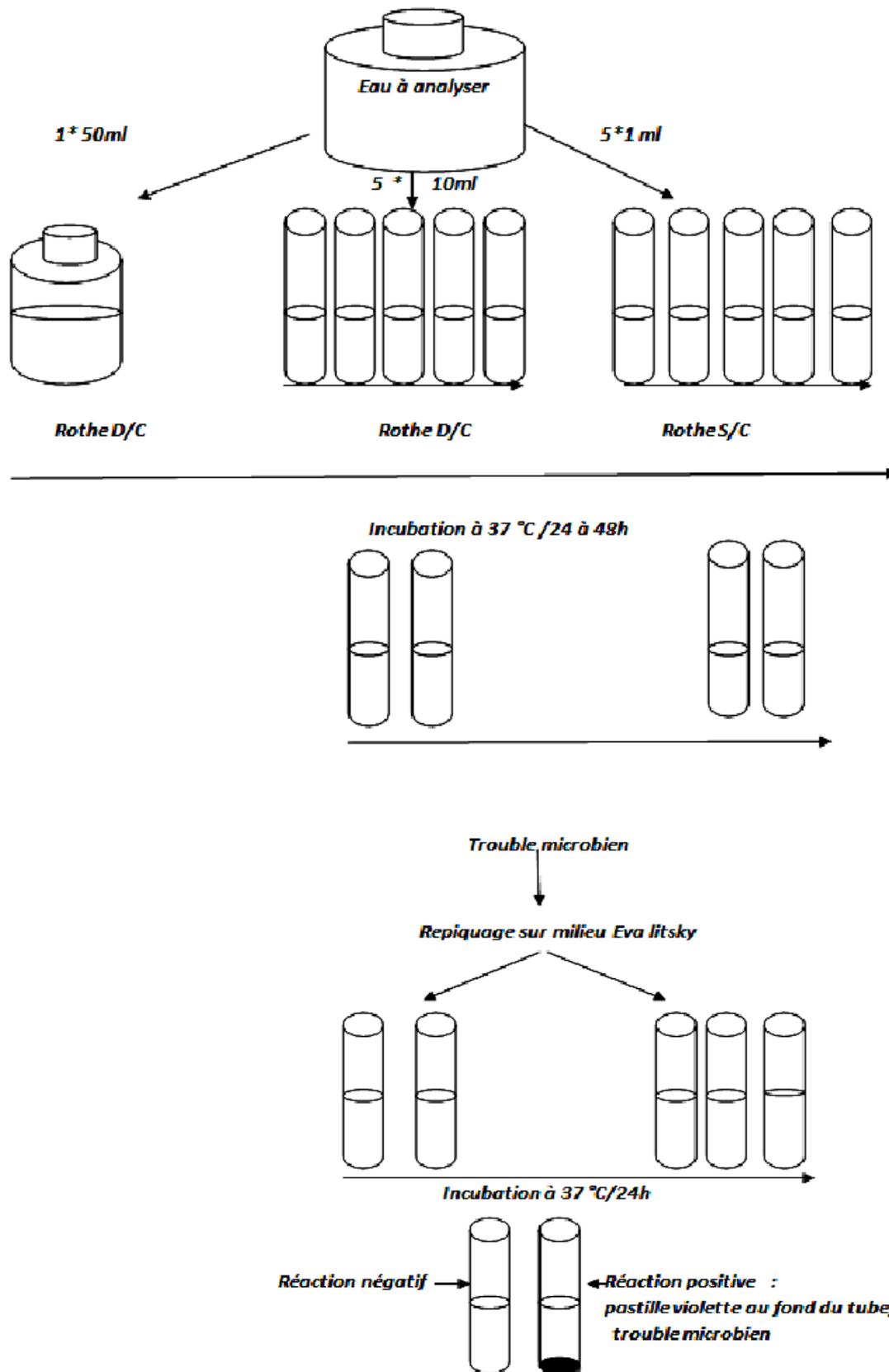


Figure: Recherche des streptocoques fécaux dans l'eau de process.

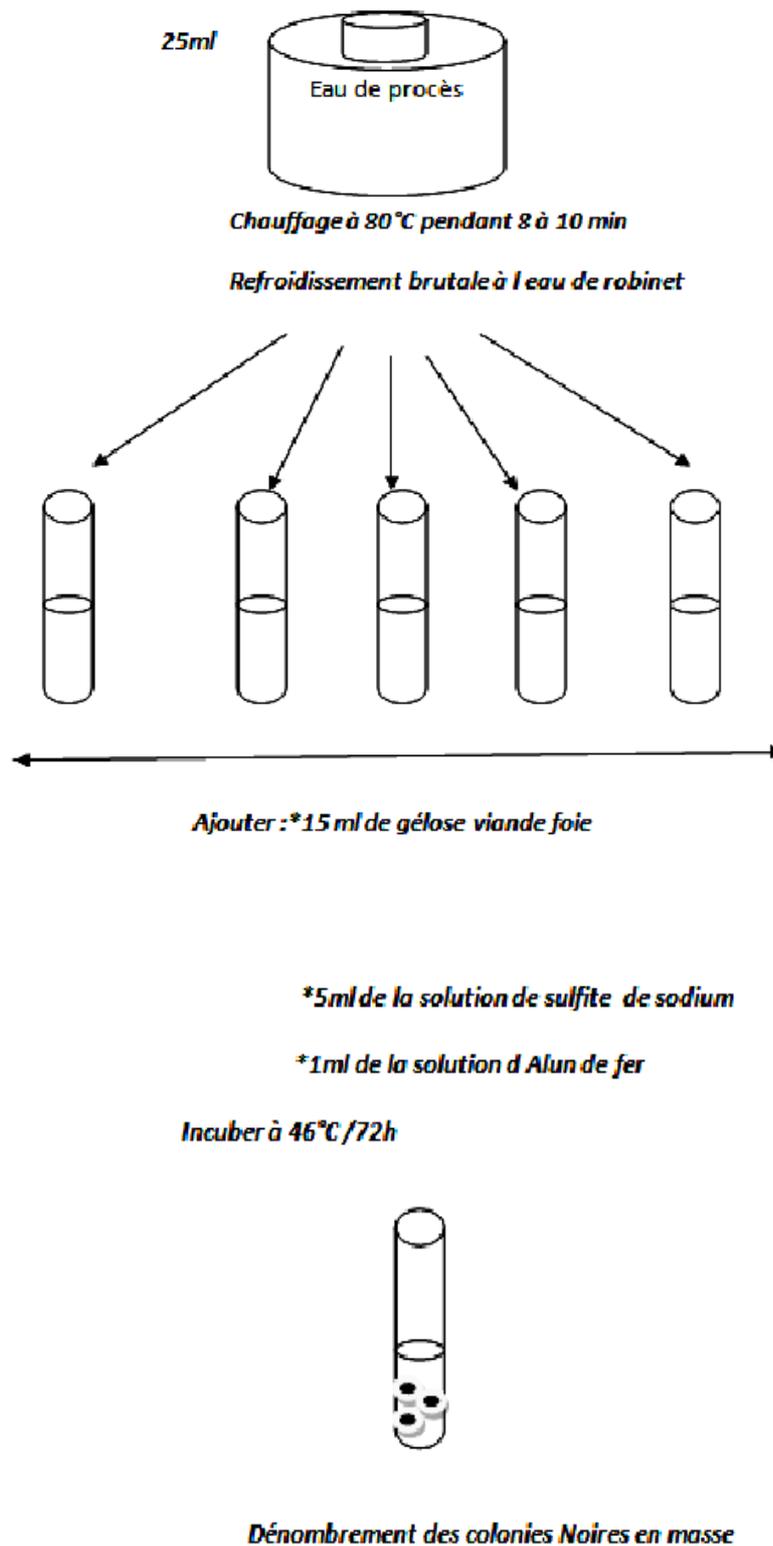


Figure : Recherche et dénombrement des spores de clostridium sulfite-réducteur dans l'eau de process

ANNEXE N°6



Food Scan



Bain-marie



Dessicateur MA150



Agitateur



Centrifugeuse



Butyromètre



Distillateur

Stomacher



Balance



pH

Bain mari

mètre

Balance



Etuves 30°C et 44°C



Etuve 37°C

Annexes



Héktoene



Eau peptone tomponne



Milieu VRBL



Milieu PCA



Laboratoire des analyses microbiologique

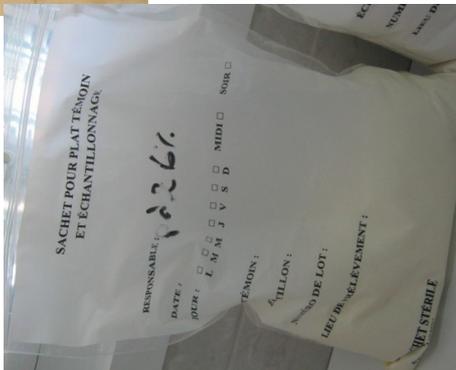
(LFB)



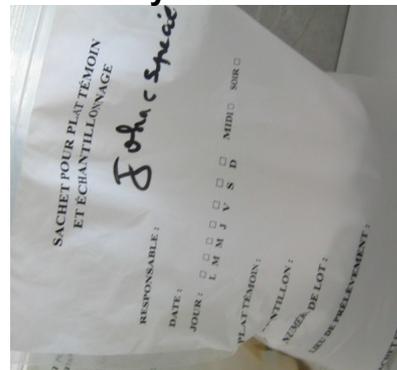
Autoclave



Soy Milk



La poudre de lait 26% MG



Sel de fonte

Table des matières

Introduction	1
PARTIE I : Partie Bibliographique	
CHAPITRE I : Le fromage	
I.1. Généralité sur les fromages.....	3
I.2. Historique.....	3
I.3. Définition réglementaire.....	3
I.4. Production et consommation du fromage.....	3
I.5. La composition du fromage.....	4
I.6. Les étapes fondamentales de la fabrication d'un fromage.....	6
I.6.1. Coagulation ou caillage du lait.....	6
I.6.2. Egouttage.....	6
I.6.3. Le salage	7
I.6.4. L'affinage.....	7
I.7. Classification des fromages.....	7
II. Fromage fondu et la spécialité fromagère.....	
.....	9
II.1. Définition.....	9
II.2. Aperçu historique et économique	9
II.3. Les différents types de fromages fondus.....	10
II.3.1. fromage fondu type « bloc »	10
II.3.2. fromage fondu type coupe.....	10
II.3.3. fromage fondu à tartinable.....	10
II.3.4. fromage fondu toastable (pour refonte) ou type de tranche	10
II.3.5. fromage fondu thermostable.....	10
II.3.6. fromage fondus aux additifs.....	10
II.4. Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus.....	10
II.4.1. Composition.....	10
II.4.2. Valeur nutritionnelles.....	11
II.5. matières premières utilisées.....	12
II.5.1. Autres Matières premières laitières.....	13
II.5.2. Préfonte.....	13
II.5.3. Matières premières non laitières.....	13
II.5.3.1. L'eau.....	13

II.5.3.2.Matières premières végétales.....	14
II.5.3.3.Agents de textures.....	14
II.5.3.4. Sels de fonte.....	15
II.6. Technologie de la fonte.....	17
II.6.1.Processus de fabrication du fromage fondu.....	17
II.6.1.1.la sélection des matières premières et contrôle de qualité.....	17
II.6.1.2. Écroûtage, découpage et broyage des fromages.....	17
II.6.1.3.Préparation de la formule et procédé technologique.....	19
II.6.1.4.Fonte proprement dite.....	19
II.6.1.5.Homogénéisation.....	20
II.6.1.6.Conditionnement	21
II.6.1.7.Refroidissement	21
II.6.1.8.Stockage du produit fini.....	22
II.7. Le contrôle de qualité	22
II.7.1.Les principes	22
II.7.2.Qualité au cours de fabrication.....	23
II.7.3.Qualité du produit fini.....	23

CHAPITRE II : Le Soja

I. Le soja et sa graine.....	25
I.1.Histoire d'une graine millénaire.....	25
I.2.Description générale de la plante.....	25
I.3.Taxonomie végétale de la plante.....	26
I.4.Caractéristiques agronomiques.....	26
I.5.Situation économique du soja dans le monde et en Algérie.....	27
I.6.la composition biochimique de la graine de soja	29
I.6.1. Les protéines.....	30
I.6.2.Les lipides de soja.....	32
I.6.3.Les glucides.....	33
I.6.4.La teneur en eau.....	33
I.6.5.Les éléments minéraux.....	34
I.6.6.Les vitamines.....	35
I.6.7.Les phytoestrogènes.....	36
I.6.8.Les saponines.....	37

II. Les facteurs antinutritionnels de soja.....	37
II.1.Les inhibiteurs tryptiques.....	37
II.2.Les lectines	38
II.3.Les lipoxygénases.....	38
II.4.Les phytates.....	38
II.5.Les goitrigènes.....	38
II.6.Les anti-vitamines et les anti-minéraux.....	38
II.7.Les saponines.....	38
II.8.Les oligosaccharides.....	38
III. Traitements éliminant les facteurs antinutritionnels du soja.....	38
IV. Utilisation des protéines de soja en agroalimentaires.....	40
IV.1.Pour leurs propriétés fonctionnelles.....	40
IV.1.1.Propriété d'hydratation	40
IV.1.2.La viscosité.....	40
IV.1.3.La gélification.....	40
IV.1.4.La texturation.....	41
IV.1.5.Les propriétés émulsifiantes.....	41
IV.1.6.La lécithine.....	41
IV.1.7.Lipoxygénase.....	42
IV.2.Pour leurs propriétés nutritionnelles.....	42
IV.2.1.Composition en acides aminés.....	42
IV.2.2.Intolérance au lactose et allergie aux protéines de lait.....	42
IV.3.Pour leurs effets sur la santé.....	42
IV.3.1.Rôle sur l'hypercholestérolémie.....	42
IV.3.2.Rôle sur la pression artérielle.....	43
IV.3.3.Soja et cancer.....	43
IV.3.4.Soja et affections rénales.....	43
IV.3.5.Bouffées de chaleur dues à la ménopause.....	43
IV.3.6.Prévention de l'ostéoporose.....	44
V. Contre-indications.....	44
VI. Les dérivés de soja.....	46
VI.1.Extraction des lipides.....	47
VI.2.Broyage et filtration.....	50
V. Le lait de soja « tonyu ».....	51

V.1.La production du lait de soja	51
V.2.Stabilité du lait de soja après fabrication.....	53
V.3.Le lait de soja, une source inestimable de protéines végétales.....	54
V.4.Le goût d’haricot du lait de soja et composés responsables.....	54
V.5.Produits dérivées de lait de soja.....	55

PARTIE II : Partie Expérimentale

MATERIEL ET METHODES

I. Présentation de l’unité.....	56
II. Démarche expérimentale	57
II.1.Matiere biologique.....	57
II.2.Matériel de fabrication.....	57
II.3.Matériel physico-chimique.....	57
II.4.Matériel microbiologique.....	57
III. Fabrication du lait de soja.....	58
III.1.Caractérisation de la variété « Lynda ».....	58
III.2.Processus de fabrication du lait de soja.....	58
IV. Processus de fabrication de fromage fondu.....	59
IV.1.Matière premières utilisées.....	60
IV.1.1.Cheddar.....	60
IV.1.2.Poudre de lait 26% de MG.....	60
IV.1.3. Le lait de soja.....	60
IV.1.4.L’acide citrique.....	60
IV.1.5.Le sel.....	60
IV.1.6.Eau.....	60
IV.1.7.Les sels de fonte.....	60
IV.2.Les recettes des trois essais d’incorporation du lait de soja dans le fromage.....	61
V. Méthodes	62
V.1.Processus de fabrication.....	62
V.2. Les différentes étapes de la fabrication du fromage fondu pasteurisé en barre utilisé par LFB	63
V.2.1. Préparation des matières premières.....	63
V.2.1.1.Découpage, broyage du fromage de la fonte (Cheddar) :.....	63

V.2.1.2.Pesage.....	64
V.2.1.3.Mélange des ingrédients :.....	64
V.2.1.4.Traitement thermique du mélange	64
V.2.1.5.conditionnement du fromage fondu.....	65
V.2.1.6.Refroidissement	65
V.2.1.7.l'étiquetage	66
V.2.1.8.Conservations	66

Analyses physico-chimiques

VI. Méthodes de prélèvement physicochimique de la matière première	67
VI.1.Analyses physicochimiques du lait de soja	67
VI.2 Analyses physico-chimique de la poudre de lait (26%MG)	71
VI.3.Analyses physicochimiques de Cheddar	73
VI.4.Analyses physicochimiques de l'eau de processus	74
VI.5. Analyse physico-chimique des sels de fonte	77
VI.6. les analyses physicochimiques de fromage (Produit fini).....	77

Analyses microbiologiques

VII. Méthodes d'analyses microbiologiques.....	81
VII.1. Echantillonnage	81
VII.2. Préparation des solutions mères et des dilutions décimales.....	81
VII.3. Recherche et dénombrement des germes totaux	82
VII.4. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux	82
VII.5. Recherche et dénombrement des spores anaérobies gazogènes (SAG)	84
VII.6. Recherche des levures et moisissures	85
VII.7. Recherche des Streptocoques fécaux.....	86
VII.8. Recherche des Staphylocoques	86
VII.9.Recherche des CSR	87
VII.10. Recherche de Salmonelle.....	88
VIII. Essai de fabrication du fromage fondu incorporé du lait de soja.....	89
IX. Analyse sensorielle.....	90

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats des analyses physicochimiques	92
I.1.Matières premières.....	92
I.1.1.poudre de lait, cheddar, l'eau de process, sel de fonte et le lait de soja.....	94

I.2.Produit fini.....	95
III. Résultats des analyses microbiologiques	97
III.1.Lait de soja	97
III.2.Produits finis.....	98
IV. Etude de stabilité des produits finis.....	98
IV.1.Résultats des analyses physico-chimiques.....	98
IV.2.Résultats des analyses microbiologiques	99
V. Résultats de l'analyse sensorielle.....	101
V.1.Résultats avant le stockage.....	101
V.2. Résultats près le stockage	102
CONCLUSION.....	6
Références bibliographiques.....	9
Annexes.....	15