

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'Hamed Bougara Boumerdes



Faculté des sciences de l'ingénieur
Département : Génie des procédés



Mémoire de Master

Présentée par :
Melle. ASSABAT Anissa

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :
Filière : Génie alimentaire

THEME

**Contribution à la préparation d'un fromage fondu
diététique à base de lait de soja et de la farine d'avoine**

Soutenue publiquement le : 14 / 07 / 2019

Devant le jury :

Présidente : Mme. Annou S.	MAA	UMBB
Promotrice : Mme. Talantikite S.	MCB	UMBB
Examineur : Mr. Zidani S.	MCB	UMBB

Année universitaire : 2018-2019

Remerciement

*Je tiens tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et
miséricordieux,
qui m'a donnée la force et la patience d'accomplir ce modeste
travail.*

*En second lieu, je tiens à remercier ma promotrice :
Mme. TALANTIKIT, pour son encadrement, ses conseils et son
aide précieux et constant qu'elle m'a apportée tout au long de ce
travail.*

*Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour
l'intérêt qu'ils ont portés à ma recherche en acceptant d'examiner
mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Sans oublier **Mr. ZERIFI Abdelkader**, directeur de la fromagerie
ZERIFI qui m'a ouvert les portes de sa société et m'a toujours
réservé le meilleur accueil, et un grand merci au responsable du
laboratoire **Mme. ZERIFI Saousen**.*

*Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont
participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire

A mes parents

A mes sœurs : Zahra, Imene et Rania

A mes frères : Yacine et Anis

A tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui aiment la science



Anissa

Résumé

Lors du développement de nouveaux aliments, il est très important de comprendre les attitudes et les préférences sensorielles des consommateurs.

La farine d'avoine ne contient pas de gluten et constitue une bonne source de vitamines, de minéraux, d'antioxydants et de fibres solubles "bêta-glucane" dont les avantages sont la diminution du taux de cholestérol total dans le sang et l'amélioration du contrôle de la glycémie chez les personnes en surpoids et les diabétiques.

Le lait de soja ne contient ni de cholestérol ni de lactose, il contient des protéines, du potassium, du manganèse et des fibres. Il est conseillé aux personnes allergiques au lait de vache ou intolérants au lactose, et peut aider à réduire : le taux de cholestérol, l'hypertension artérielle, le risque de maladies cardio-vasculaires, l'ostéoporose, et réduit le risque de cancer du sein, du côlon et de la prostate.

Pour ces raisons, nous avons pensé à incorporer le lait de soja et la farine d'avoine dans un fromage fondu à différentes proportions. Et à partir des résultats des analyses physico chimiques, nous avons constaté que l'ajout de lait de soja et la farine d'avoine dans notre fromage fondu augmente sa qualité nutritionnelle.

Les tests de dégustation ont montré que le fromage fondu diététique qui contient moins de 45% de lait de soja et 2% de la farine d'avoine avait reçu une bonne appréciation.

Mots clés : fromage fondu, diététique, lait de soja, farine d'avoine.

Summary

When developing new foods, it is very important to understand the attitudes and sensory preferences of consumers.

Oatmeal does not contain gluten and it's a good source of vitamins, minerals, antioxidants and soluble fibers "beta-glucan" which their benefits are the reduction of total cholesterol levels in the blood and the improvement of blood sugar levels control of overweight people and diabetics.

Soymilk doesn't contain cholesterol and lactose; it contains protein, potassium, manganese and fiber. It is advisable to allergic people for cow's milk or lactose intolerant, and can help to reduce: cholesterol levels, high blood pressure, risk of heart disease, osteoporosis. And reduces the risk of breast, colon and prostate cancer.

For these reasons, we have thought of incorporating soymilk and oatmeal into a molten cheese with different proportions. And from the physicochemical analyzes we found that these two products have increased the nutritional quality of molten cheeses. And the tasting tests showed that dietetic processed cheese that contains less than 45% soymilk and 2% oatmeal had a good rating.

Key words: molten cheese, dietetic, soy milk, oatmeal.

ملخص

عند تطوير أطعمة جديدة ، من المهم للغاية راي وذوق المستهلكين. الشوفان لا يحتوي على الغلوتين وهو مصدر جيد للفيتامينات والمعادن ومضادات الأكسدة وألياف "بيتا غلوكان" القابلة للذوبان ، وتتمثل فوائدها في تقليل مستويات الكوليسترول الكلي الضارة في الدم وتحسين السيطرة على مستويات السكر في الدم عند الناس الذين يعانون من زيادة الوزن ومرضى السكري.

لا يحتوي حليب الصويا على الكوليسترول أو اللاكتوز ، ويحتوي على البروتين والبوتاسيوم والمنغنيز والألياف. يُنصح الأشخاص الذين يعانون من الحساسية تجاه حليب البقر أو عدم تحمل اللاكتوز ، ويمكن أن يساعد في تقليل مستويات الكوليسترول في الدم وارتفاع ضغط الدم وخطر الإصابة بأمراض القلب وهشاشة العظام. ويقلل من خطر الإصابة بسرطان الثدي والقولون والبروستاتا. لهذه الأسباب ، فكرنا في دمج حليب الصويا والشوفان في جبن طري بنسب مختلفة. ومن خلال التحليلات الفيزيائية والكيميائية ، وجدنا أن هذين المنتجين قد زادا من الجودة الغذائية للأجبان المصنعة. وأظهرت اختبارات التذوق أن الجبن الذي يحتوي على أقل من 45% من حليب الصويا و 2% من دقيق الشوفان كان له تقييم جيد.

الكلمات المفتاحية: الجبن الطري ، الحمية ، حليب الصويا ، دقيق الشوفان.

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

AFNOR : Association Française de Normalisation

D° : degré dornic

EST : Extrait Sec Total

ESD : Extrait Sec dégraissé

FF : fromage fondu

FS : Fromage fondu à base de lait de soja

FS15 : fromage fondu à 15% de lait de soja

FSA : fromage fondu à base de lait de soja et l'avoine en farine.

H : humidité

Kg : kilo gramme

Max : maximum

Min : minimum

MG : matière grasse

mg : milli gramme

ml : milli litre

pH : potentiel d'hydrogène

PPS : Préparations à base de Protéines de Soja dites

T° : température

VB : valeur biologique

Liste des tableaux

Tableaux	Titres des tableaux	Pages
Tableau 1	Composition de quelques fromages	3
Tableau 2	Valeur énergétique de deux types de fromages	4
Tableau 3	Les différents types des fromages	8
Tableau 4	Classification des fromages fondus selon la teneur en Matière grasse	9
Tableau 5	Principales propriétés des sels de fonte	14
Tableau 6	Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager	19
Tableau 7	Principaux pays producteurs de soja	21
Tableau 8	Composition de graine de soja	22
Tableau 9	composition de lait de soja comparé au lait de vache	27
Tableau 10	Comparaison entre l'avoine et d'autres céréales	34
Tableau 11	Tableau récapitulatif des recettes de fromages fondus à base de lait de soja	42
Tableau 12	Résultats des analyses organoleptiques de lait de soja	53
Tableau 13	Résultats des analyses physico chimiques du lait de soja	53
Tableau 14	Résultats des analyses physico chimiques de fromage cheddar	54
Tableau 15	Résultats des analyses physico chimiques des poudres de lait	54
Tableau 16	Résultats des analyses physico chimiques de l'eau de procès	55
Tableau 17	Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de procès	55
Tableau 18	Résultats des analyses des sels de fontes	56
Tableau 19	Résultats des analyses de la farine d'avoine	56
Tableau 20	Résultats des analyses physico-chimiques des fromages fondus à base de lait de soja	57
Tableau 21	Résultats des analyses organoleptiques des fromages à base de lait de soja	60
Tableau 22	Résultats de classement du critère gout	60
Tableau 23	Résultats de classement du critère couleur	61
Tableau 24	Résultats de classement du critère texture	61
Tableau 25	Résultats des analyses physico-chimiques des fromages fondus diététiques	66
Tableau 26	Résultats des analyses organoleptiques des fromages fondus diététiques	68
Tableau 27	Résultats de classement du critère couleur	69
Tableau 28	Résultats de classement du critère Texture	69
Tableau 29	Résultats de classement du critère Gout	70
Tableau 30	Les prix d'achats des ingrédients d'un fromage fondu	74
Tableau 31	Les prix de revient des fromages fondus fabriqués	74

Liste des Figures

Figures	Titres des figures	Pages
Figure 1	Principales voies de fabrication du fromage fondu	17
Figure 2	Le soja, légumineuse herbacée	20
Figure 3	Description de la graine de soja	21
Figure 4	Diagramme de Produits dérivés et transformation des graines de soja	23
Figure 5	Diagramme des valeurs moyennes de protéines de quelques laits végétaux	24
Figure 6	Diagramme de production du lait de soja	30
Figure 7	Plante d'avoine	31
Figure 8	Diagramme des étapes expérimentales	38
Figure 9	photo de graines de soja	39
Figure 10	Diagramme de formulation de fromage fondu à base de lait de soja au niveau de laboratoire	41
Figure 11	diagramme de formulation de fromage fondu à base de lait de soja et de la farine d'avoine au niveau de laboratoire	43
Figure 12	Variation de pH en fonction du taux d'incorporation de lait de soja	57
Figure 13	Variation de la teneur en matière grasse MG (%) en fonction du taux d'incorporation de lait de soja	58
Figure 14	Variation de la teneur en extrait sec total (EST) en fonction de taux d'incorporation de lait de soja	58
Figure 15	Variation de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS)	59
Figure 16	Variation de la teneur en protéines en fonction de taux d'incorporation de lait de soja	59
Figure 17	Variation de la teneur en matière grasse (MG) en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine	66
Figure 18	Variation de la teneur en extrait sec total en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine	67
Figure 19	Variation de la teneur de la MG dans EST en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine	67
Figure 20	Variation de la teneur en protéine en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine	68



Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Partie Bibliographique

Chapitre I: Fromage Fondu

I- Généralités sur le Fromage	3
I-1- Définition	3
I-2- Composition et valeur nutritive du fromage	3
I-3- Transformation du lait en fromage	4
I-4- Les différents types de fromages	7
II- Fromage fondu	9
II-1- Aperçu historique	9
II-2- Définition	9
II-3- Classification du fromage fondu	9
II-3-1- Classification selon la teneur en matière grasse	9
II-3-2- Classification selon la forme	10
II-4. Ingrédients utilisés dans la fabrication de fromage fondu	11
II-5. Les étapes de fabrication du fromage fondu	15
II-6. Contrôle de la qualité	18
II-7. Les défauts de fabrication	19

Chapitre II: Le lait de soja

I- Graine de Soja	20
I-1- Les caractéristiques botaniques	20
I-2- Production mondiale de soja	21
I-3- Composition biochimique de graine de soja	21
I-4- Les sous-produits de graines de soja	22
II- Lait de Soja (TONYU)	23
II-1. Généralité sur le lait végétal	23
II-1-1. Composition et Qualité nutritionnelle des laits végétaux	23
II-1-2- Quelques variétés de laits végétaux	25
II-2. Définition du lait de soja	26

II-3. Composition et valeur nutritionnelle du lait de soja	27
II-4. Comparaison entre le lait de soja et le lait de vache	27
II-5. Impact du soja sur la santé	28
II-6- Processus de production du lait de soja	29

Chapitre III: La farine d'avoine

I- La plante d'avoine	31
I-1. Importance de la culture des céréales en Algérie	31
I-2. Description de la plante	31
I-3. Types d'avoines cultivées.....	32
I-4. Cycle de vie de l'avoine :	32
I-5. Classification	33
I-6. Intérêts de la production de l'avoine.....	33
II- La graine d'avoine.....	34
II-1. Composition du grain d'avoine	34
II-2. Effets de l'avoine sur le corps humain.....	34
II-2. Utilisation de la graine d'avoine.....	35
II-3. Transformation du grain d'avoine en farine.....	36

Partie Expérimentale

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

Objectif de la recherche.....	37
I- Matériel.....	39
I-1. Matériel biologique	39
I-2. Matériel non biologique	39
II- Extraction du lait de soja	39
III- Incorporation de lait de soja dans un fromage fondu.....	41
III-1. Objectif	41
III-2. Taux d'incorporation de lait de soja dans le fromage fondu	41
IV- Formulation d'un fromage fondu à base de lait de soja incorporé de l'avoine en farine	43
IV-1. Objectif.....	43
IV-2. Taux d'incorporation de l'avoine dans le fromage fondu	43
V- Méthodes d'analyses	44
V-1. Méthodes d'analyses des matières premières	44

V-1-1. Lait de soja	44
V-1-1-1. Analyses organoleptiques	44
V-1-1-2. Analyses physico-chimiques	44
V-1-2. Analyses physico-chimiques de fromage cheddar	46
V-1-2-1. Détermination du pH (AFNOR, 1986)	46
V-1-2-2. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre	46
V-1-2-3. Détermination de l'extrait sec total (EST)	47
V-1-2-4. Détermination de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS)	47
V-1-3. Analyses physico-chimiques des poudres de lait (0%, 26%)	47
V-1-3-1. Mesure de PH (AFNOR, 1986).....	47
V-1-3-2. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode Acido-butyromètre	48
V-1-3-3. Détermination du l'extrait sec total	48
V-1-3-4. Détermination de l'acidité titrable	48
V-1-4. L'eau de procès	48
V-1-4-1. Détermination du pH (AFNOR, 1986)	48
V-1-4-2. Détermination des titres alcalimétriques TA et TAC (AFNOR 1986).....	48
V-1-4-3. Détermination du titre Hydrométrique TH (AFNOR, 1986)	49
V-1-4-4. Dosage des ions chlore (chlorure)	50
V-1-4-5. Analyses microbiologique de l'eau de procès.....	50
V-1-5. Détermination du pH des sels de fonte	50
V-1-6. Détermination de l'humidité de la farine d'avoine	50
V-2. Méthodes d'analyses de produit fini.....	50
V-2-1. Les analyses physico chimiques.....	50
V-2-1-1. Détermination de pH.....	50
V-2-1-2. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre	50
V-2-1-3. Détermination de l'extrait sec total (EST)	50
V-2-1-4. Détermination de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS)	50
V-2-1-5. Détermination de la teneur en protéines par la méthode de kjeldahl.....	51
V-2-2. Les analyses sensorielles	52
V-2-2-1. Analyse sensorielle de fromage fondu à base de lait de soja	52

V-2-2-2. Analyse sensorielle de fromage fondu à base de lait de soja et farine d'avoine	52
---	----

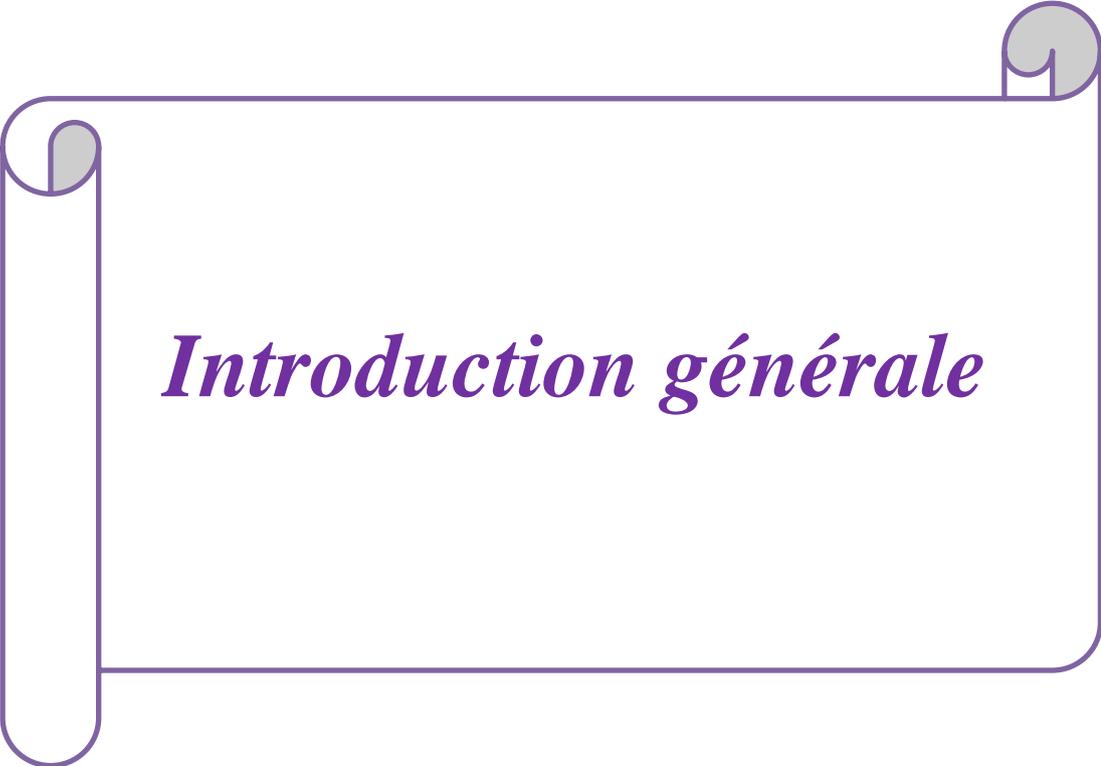
Chapitre V: Résultats et discussion

I- Résultats des analyses des matières premières	53
I-1. Résultats des analyses de lait de soja	53
I-2. Résultats des analyses physico chimiques du cheddar	54
I-3. Résultats des analyses physico chimiques des poudres de lait	54
I-4. Résultats des analyses de l'eau de procès	55
I-5. Résultats des analyses des sels de fonte	56
I-6. Résultats des analyses de la farine d'avoine	56
II- Résultats des analyses des fromages fondus à base de lait de soja	57
II-1. Résultats des analyses physico chimiques des fromages fondus à base de lait de soja	57
II-2. Résultats de l'analyse sensorielle des fromages fondus à base de lait de soja	60
III- Résultats des analyses des fromages fondus à base de lait de soja et la farine d'avoine	66
III-1. Résultats des analyses physico chimiques des fromages fondus à base de lait de soja et la farine d'avoine	66
III-2. Résultats des analyses sensorielles des fromages fondus à base de lait de soja et la farine d'avoine	68
IV- Etude économique	74

Conclusion et perspectives

Références Bibliographiques

Annexes



Introduction générale

Introduction générale

« Le meilleur médecin est la nature : elle guérit les trois quarts des maladies et ne dit jamais de mal de ses confrères ». De plus en plus de personnes sont convaincus de l'existence d'un lien étroit entre santé et alimentation « naturelle ». (Commission européenne, 2013)

Actuellement, en Europe, parmi les sept grands facteurs de risque de décès prématurés, six sont directement liés à ce que nous mangeons ou buvons: hypertension artérielle, hypercholestérolémie, indice de masse corporelle élevé. (Commission européenne, 2013)

Dans ce cas deux questions restent posées : De quelle manière une alimentation mal conçue conduit-elle à certaines maladies ? Et Quelle est la diététique idéale ?

D'après Docteur Jean Seignalet (médecine interne), la polyarthrite rhumatoïde, le diabète sucré, le cancer, l'asthme, augmentent avec la nourriture moderne responsable du passage dans la circulation sanguine de macromolécules bactériennes et alimentaires nocives.

La notion classique d'une diététique quantitative, basée sur le nombre de calories et l'équilibre entre glucides, lipides et protides, est remplacée par un nouveau concept, celui d'une diététique quantitative, fondée sur la structure des molécules, il faut écarter celles que l'organisme ne peut pas métaboliser et conserver celles accessibles à l'action de nos enzymes.

Actuellement, L'aliment qui prend une place importante dans notre alimentation est le fromage est en particulier le fromage fondu qui est fabriqué à partir de lait animal. Mais le lait animal et en particulier le lait de vache a des effets nocifs sur notre santé ; Certaines personnes développent une intolérance au lait de vache, marquée par des troubles digestifs aigus à chaque ingestion du produit. Et si l'on explore la littérature, on constate que le lait de vache et ses dérivés ont été incriminés dans diverses maladies :

- Dans la polyarthrite rhumatoïde, l'arrêt des produits laitiers provoque une rémission des arthrites, leur réintroduction est suivie d'une reprise des arthrites. (Darlington 1986)
- Dans le diabète sucré juvénile d'installation récente, Karjalainen et al, (1992) observent constamment un titre élevé d'anticorps anti-albumine bovine et attribuent à ces anticorps un rôle dans la genèse des lésions du pancréas endocrine.
- Dans la sclérose en plaques, Kousmine (1980) et Swank (1991) ont obtenu de remarquables blocages de l'évolution en demandant à ses malades de supprimer de leur alimentation les graisses saturées d'origine animale, parmi lesquelles lait et dérivés, et de les remplacer par des graisses insaturées d'origine végétale.
- Certaines migraines sont clairement provoquées par la prise de produits laitiers et cessent lorsque ceux-ci sont exclus (Monro et al. 1984)
- Davis (2001), observe que l'allaitement maternel diminue certaines maladies chroniques : diabète sucré de type 1, maladie cœliaque, maladies inflammatoires de l'intestin, cancer.

Les laits végétaux sont issus de céréales ou pseudo céréales (avoine, riz, épeautre, orge..), d'oléagineux (noisette, amande, noix) ou de légumineuses (soja, pois chiches), auxquels on ajoute de l'eau. Et ont l'avantage de ne pas renfermer de lactose et sont moins riche en gras. Et ne contient pas de cholestérol. Et ces valeurs nutritionnelles sont différentes en fonction des laits.

Le lait de soja ou soya c'est le lait végétal le plus ancien, et d'un point de vue nutritif, c'est le plus proche du lait de vache. Il est aussi riche en protéines que le lait de vache et est composé de tous

les acides aminés essentiels ce qui n'est pas le cas des autres laits végétaux. Il contient aussi des acides gras essentiels. Il peut être enrichi en calcium car naturellement il n'en contient pas.

De nombreuses études ont montré que les asiatiques qui consomment régulièrement des produits à base de soja présentent moins de risques de développer des maladies cardiovasculaires ou certains cancers hormono-dépendants. (Setchell et Cassidy, 1999)

A côté de lait de soja, un autre produit de terroir de grande importance, « la farine d'avoine ».

L'avoine est riche en protéines et en fibres alimentaires qui sont favorables pour la santé (Liukkonen et al, 1992. Wieser et al. (1980) ont démontré que la farine d'avoine est beaucoup plus riche en protéines que celle du blé, du seigle, de l'orge, du riz, du maïs et du sorgho, son grain contient beaucoup de lipides avec un contenu significatif en acides gras insaturés et contient aussi des tocophérols et des tocotriénols, des composés ayant une activité anti-cancer qui empêchent les maladies cardio-vasculaires. (Czubaszek, 2005)

Et ce qui a plus contribué à l'augmentation de l'intérêt de l'avoine, est la présence d'une fibre alimentaire contenant environ 50% de fraction soluble, qui est le β -glucanes (Hampshire, 2004). Et parmi ces composés présents dans les fibres d'avoine, certains absorbent les substances nocives pour la santé comme le cholestérol, les métaux lourds, les résidus d'agents de protection des plantes présents dans les nourritures, et les empêchent d'être absorbés par le corps. (Anderson J.W. 1993)

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude réalisée au sein de la fromagerie ZERIFI, dont le principe consiste à substituer partiellement le lait de vache par le lait de soja avec incorporation de la farine d'avoine dans un fromage fondu diététique.

L'étude réalisée est divisée en deux parties : Une synthèse bibliographique englobant des généralités sur le lait de soja et le fromage fondu ainsi qu'un rappel sur la farine d'avoine, et une partie expérimentale qui est subdivisée en trois parties : dans un premier lieu nous allons préparer le lait de soja et contrôler la qualité des matières premières, en suite, nous effectuons une série de préparations afin de fixer le taux d'incorporation de lait de soja dans un fromage fondu, et enfin pour améliorer la qualité organoleptique et nutritionnelle la farine d'avoine est incorporée dans notre fromage fondu.



Partie
Bibliographique

Chapitre I : Fromage Fondu



I- Généralités sur le Fromage

I-1- Définition

Dans la réglementation française, la dénomination "fromage" désigne un produit fermenté ou non, obtenu à partir des matières d'origine exclusivement laitières suivantes : lait qui peut être partiellement ou totalement écrémé, crème, matière grasse, babeurre, utilisées seules ou en mélange et coagulées en tout ou en partie avant égouttage ou après élimination partielle de la partie aqueuse. La teneur en matière sèche du produit doit être au minimum de 23 g pour 100 g de fromage, à l'exception de certains fromages frais (**Décret N88-1206**).

I-2- Composition et valeur nutritive du fromage

Elle est à peu près identique à celle du lait, mais la transformation peut engendrer une modification.

- **Protéines** : Selon leur mode de fabrication, les fromages contiennent de 10 à 30 % de protéines, ce sont les aliments les plus riches en protéines, en particulier les fromages à pâte pressée dont la teneur en protéines (30 %) dépasse celle de la viande (20 %) (**Renane et al, 2010**).
- **Calcium** : Les fromages sont une très bonne source de calcium, son taux dépend de la teneur en eau et le mode de fabrication.
- **Vitamines** : Il contient des vitamines hydrosolubles telles que la vitamine B, et les vitamines liposolubles A, D, E, K.
- **Lipides** : Leur teneur varie d'un fromage à un autre selon le type du lait et la méthode de fabrication.
- **Eau** : La teneur en eau détermine dans une large mesure la consistance, la conservation, l'aspect et indirectement le goût du fromage (**Eck et Gillis, 1997**).

La composition de certains fromages est donnée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Composition de quelques fromages (par 100g de fromage) (**Scott et al., 1998**)

Fromage Composés	Parmesan	Cheddar	Edam	Cottage	Feta
Eau (g)	18.4	36	43.3	79.9	58
Protéines (g)	39.4	25.2	6.0	14	20
Lipides (g)	32.7	34.4	25.4	4	21
Cholestérol (µg)	100	100	80	13	70
Energie (Kcal)	452	412	33	98	250
Vitamines (µg)					
Vitamine A	345	325	175	-	-

Fromage Composés	Parmesan	Cheddar	Edam	Cottage	Feta
Vitamine D	0.25	0.26	0.19	0.03	0.5
Vitamine E	700	480	480	80	370
Minéraux (mg)					
Sodium	1090	670	1020	380	1440
Potassium	110	77	97	89	95
Calcium	1200	720	770	73	360
Magnésium	45	25	39	9	20
PHosphore	810	490	530	160	280
Zinc	5.3	2.3	2.2	0.6	0.9
Sulfure	250	230	-	-	-
Chlorides	1820	1030	1570	550	2350

Par ailleurs, la teneur calorique des fromages varie d'un type à autre, l'essentiel de ces calories provient des lipides.

Tableau 2 : Valeur énergétique de deux types de fromages (Eck, 1987).

Composition	Fromage fondu	Fromage à pâte pressée non cuite
Eau (g)	48	40
Energie Kcal	280	355
Lipides (g)	22	24
Protéines (g)	18	28
Calcium (mg)	680	700
Glucides (g)	2.5	3
PHosphore (mg)	900	360
Potassium (mg)	95	100

I-3- Transformation du lait en fromage

Le fromage est simplement fabriqué à partir de lait additionné d'un peu de présure, substance contenue dans la caillotte. Elle est constituée d'enzymes qui font coaguler les protéines du lait. En s'agglutinant, ces dernières piègent les matières grasses du lait, mais aussi l'eau et le sucre, donnant du fromage (Luquet F.M., 1990).

La production du fromage comprend une multitude d'étapes comme la coagulation, l'égouttage, le salage et l'affinage. Cette dernière étape ne concerne pas les fromages frais, les autres fromages acquièrent leurs caractères lors de l'affinage (**Evette J., 1975**).

La qualité du lait de fromagerie est mesurée en effet, par son aptitude à donner un bon fromage, dans des conditions de travail normales, avec un rendement satisfaisant. Elle dépend aussi d'un certain nombre de caractéristiques du produit tels que sa composition chimique, sa richesse en caséines, sa charge microbienne et la nature de sa microflore, son aptitude au développement des bactéries lactiques, en plus, de son comportement vis-à-vis de la présure (**Remeuf F. et al, 1991**).

I-3-1- Coagulation du lait

La fabrication du fromage nécessite une phase de coagulation du lait, qui permet l'expulsion plus ou moins, une grande partie d'eau et de matière soluble (le sérum). On obtiendra ainsi un caillé ou fromage non affiné. La coagulation correspond à une modification physico-chimique des micelles de caséine sous l'action d'enzymes protéolytiques et (ou) d'acide lactique.

Les mécanismes proposés dans la formation du coagulum diffèrent totalement suivant que ces modifications sont induites par acidification ou par action d'enzymes coagulantes ou encore par l'action combinée des deux (**ECK A. et Gillis J.C., 1997**).

A- Coagulation par voie acide

La coagulation par voie acide est provoquée par l'acide lactique d'origine bactérienne, qui transforme le lactose en acide lactique. (**Mietton B., 1995**).

Si l'acidification est rapide par addition d'un acide minéral ou organique, il y a floculation des caséines à pH 4,6 sous la forme d'un précipité plus ou moins granulé éparpillé dans le lactosérum. Par contre, une acidification successive, résultante soit par fermentation lactique, soit par hydrolyse de la gluconolactone, amène à la construction d'un gel lisse adéquat qui remplit totalement le volume initial du lait (**Mietton B.M. et al., 1994**).

B- Coagulation par voie enzymatique

La coagulation par voie enzymatique est attestée par divers type d'enzyme : protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, ayant l'adéquation de coaguler le lait. Il faut aussi tenir compte de leur grande action protéolytique non spécifique complémentaire lui permettant d'hydrolyser les caséines α et β avec libération de peptides (**Mietton B., 1995**).

Plusieurs facteurs peuvent les influencer. Le temps de prise est inversement proportionnel à la concentration d'enzyme utilisée. Par contre, si on ajoute plus de présure au lait de fromagerie, le taux de raffermissement et la fermeté du gel augmentent. La température influe aussi sur la coagulation. En effet, au-dessous de 10°C, la gélification ne se produit pas ; entre 10 et 20°C, la coagulation est lente ; entre 30 et 42°C, elle est progressive et au-dessus de 42°C elle diminue, pour disparaître à 55°C (**Daviau C. et al., 2000**).

I-3-2- L'égouttage

L'égouttage est l'étape la plus essentielle de la fabrication du fromage, car c'est elle qui détermine la dureté et l'onctuosité du fromage à venir. Cette dernière permet la séparation d'une partie de lactosérum, après rupture mécanique du coagulum, par moulage et dans certains cas par pression. Ce qui conduit à l'obtention du caillé. Son but est non seulement de régler la teneur en eau du caillé mais aussi la minéralisation de ce dernier et son délactosage. (**Ramet J.P., 1985**).

I-3-3- Le salage

Le salage désigne en fromagerie une phase indispensable de la fabrication des produits affinés. La teneur en sel des fromages varie selon le type de fromage, en moyenne elle est de 0,5-2 g/100 g dans la plupart des fromages, dans certains cas (les fromages bleus et quelques fromages de chèvres), elle peut s'élever à 3-4 g/100g. Par contre, certains fromages orientaux conservés en saumure ont des teneurs assez élevées (8-15 g/100 g).

Les modalités de salage sont par saumurages (Emmental, et Camembert), salage à sec et salage en masse (**Alais C. et Linden G., 1997**).

Le salage en masse est utilisé dans les fabrications traditionnelles de quelques fromages typiques du bassin méditerrané. Il permet la préservation du lait, prolonge les phases de coagulation et d'égouttage du fromage (**Ramet J.P., 1987**).

Dans Le fromage le sel permet d'atteindre l'humidité appropriée du fromage. Il exerce, selon sa concentration, une action microbienne sélective et un effet inhibiteur sur l'activité des enzymes. A titre d'exemple, la croissance des bactéries lactiques des levains est inhibée à une teneur en sel supérieure à 2,5 g/100 g, est pratiquement nulle au-dessus de 5 g/100 g. L'effet du sel sur le développement de la flore microbienne des fromages ne peut toutefois être apprécié pleinement qu'en tenant compte de la tolérance des microorganismes au sel dans le milieu fromage et de la teneur en sel de la pâte fromagère (**Choisy C. et all., 1997**).

I-3-4- L'affinage

C'est un processus biochimique complexe et long qui correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants du caillé par les différents agents. Le fromage devient donc le siège de différentes dégradations qui s'effectuent simultanément ou successivement aboutissant à la libération de substances sapides et odorantes en même temps que la modification de la texture (**Choisy C. et all., 1997 (b)**).

Le fromage est ainsi comparé à un bioréacteur complexe dont le praticien devra maîtriser l'évolution pour la porter vers les caractéristiques optimales recherchées. La durée d'affinage varie selon le fromage, elle dure quelques semaines à deux ans ou plus à des températures spécifiques pour les différents types de fromages. (**Ramet J.P., 1997**).

➤ Agents d'affinage des fromages

Les agents responsables de l'affinage des fromages sont les enzymes. Selon (**Fox P.F. et all., 1993**)

Quatre ou éventuellement cinq agents sont impliqués dans la maturation des fromages :

- 1- la présure ou substitut de présure (la pepsine ou protéases microbiennes).
 - 2- les enzymes indigènes du lait, très importants dans les fromages au lait cru.
 - 3- les ferments lactiques et leurs enzymes, qui sont libérés après que les cellules sont mortes et lysées
 - 4- les enzymes des ferments secondaires (par exemple des bactéries propionique, *Brevibacterium linens*, les levures et les moisissures, comme *Penicillium roqueforti* et *P.candidum*).
 - 5- les autres bactéries outre que ceux des ferments (NSLAB), c'est à dire les microorganismes qui ont survécu suite à la pasteurisation du lait de fromagerie ou contaminant le lait ou le caillé après.
- Ces microorganismes après mort et lyse agissent avec leurs enzymes libérés dans le fromage.

I-4- Les différents types de fromages

Il existe plus de 350 types de fromages en France à pâte dure ou molle, pressée cuite ou crue, à croûte fleurie ou lavée...etc. On peut regrouper les fromages en 03 catégories :

I-4-1- Fromage à pâte fraîche

La pâte fraîche est faite à partir de lait et pour certains de petit-lait (lactosérum) tiré du lait entier ou écrémé comme le fromage à la crème. D'autres peuvent être enrichis de crème. Le caillage du lait est obtenu par l'ajout de culture bactérienne et de présure au lait, puis s'amorce un processus d'égouttage léger qui permet d'obtenir une pâte d'une consistance plus ferme tout en lui conservant un taux d'humidité très élevé, de 60 à 80 % et une teneur en matière grasse réduite de 0.5 à 30 (Majdi, 2009).

I-4-2- Les fromages à pâte pressée

A- Les fromages à pâte pressée non cuite

Les fromages à pâte pressée non cuite ou demi-ferme qui subissent une période d'affinage assez longue, atmosphère fraîche et très humide, les fromages à pâte demi-ferme (cheddar, cantal...) ont une consistance dense et une pâte de couleur jaune pâle. Ces fromages ne doivent pas être desséchés, et la pâte près de croûte ne doit pas être plus foncée. Ils contiennent entre 40 et 60 % d'humidité (Anonyme 2, 1999).

B- Les fromages à pâte pressée cuite

Les fromages à pâte pressée cuite ou pâte dure, sont des fromages pour les quels, après pressage, le caillé est chauffé à 65°C. Puis laissé à l'affinage. Le terme pâte cuite se dit d'un fromage dont le caillé subit un chauffage au moment de son tranchage, lorsqu'il est thermisé, le lait est chauffé à environ 65°C, ce qui ne détruit qu'une partie de la flore, lorsqu'il est pasteurisé, le lait est chauffé de 72 à 85°C pendant 20 secondes maximum, puis refroidi immédiatement à 4°C. Cette procédure détruit la flore naturellement présente dans le lait, et nécessite donc un réensemencement en flore standardisée, ce qui peut avoir pour les industriels l'avantage d'obtenir un goût régulier et une texture régulière (Majdi, 2009).

I-4-3- fromage à pâte molle

Le fromage à pâte molle à une texture généralement crémeuse et onctueuse avec une légère élasticité dans la pâte. Et les pâtes molles contiennent entre 50% et 60% d'humidité. Ce type de fromage se divise en deux catégories.

A- Fromage de pâte molle à croûte fleurie

Il se caractérise par une croûte blanche à dorée recouverte d'un duvet de moisissures blanc et feutré appelé fleur qui se développe pendant l'affinage ce qui leur donne le nom <croûte fleurie>. Ces aspect duveteux de la croûte est dû à la présence du champignon *penicillium candidum* qui peut être pulvérisé à la surface des fromages en début d'affinage (Pradal, 2012).

B- Fromage de pâte molle à croûte lavée

Le principe de fabrication d'une pâte molle à croûte lavée est semblable à celui des pâtes molles à croûte fleurie, sauf que le caillé est coupé plus ou moins finement avant d'être mis en moule.

Ce «<rompage>> facilite l'écoulement du petit lait : la pâte sera plus serrée, plus compacte mais néanmoins moelleuse, coulante ou plus ferme, selon le degré de séchage. (Anonyme 2, 1999).

Les différents types des fromages sont regroupés dans le Tableau 3.

Tableau 3: Les différents types des fromages (Majdi, 2009)

Fromage de type lactique	Fromage de type présure	Fromage de type mixte
<ul style="list-style-type: none"> - Obtenus par coagulation biologique appelé aussi coagulation lactique ou coagulation par acidification. - Ce sont des fromages à pâte fraîche. - fabriqués à une température qui variée de 16 à 23°C. - pour sa fabrication demande 3 à 10ml de présure pour 100l lait. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenus essentiellement par coagulation chimique appelé aussi coagulation par l'action des enzymes (la présure). -Ce sont des fromages à pâte pressée, à pâte ferme cuite et à pâte ferme non cuite. -ils sont fabriqués à une température de 34 à 40°C. -demande pour sa fabrication 25 à 35 ml de présure pour 100l de lait. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenus par Coagulation chimique et par coagulation biologique. -Ils sont obtenu par les deux méthodes de manière équivalente. -Ce sont des fromages à pâte molle. -Ils sont fabriqués à une T° de 28 à 37°c. -demande pour sa fabrication 15 à 25 ml de présure pour 100L de lait.
Exemples		
<p>Fromage à pâte fraîche :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Petit suisses -Fromage demi-sel -Chabichou -Mothais sur feuille -Rocamadour -Picodons 	<p>Fromage à pâte pressée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Saint-nectaire, - Tome de Savoie, - Saint-paulin, - Port-salut, - Reblochon <p>Fromage à pâte ferme non cuite :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cantal, - Laguiole <p>Fromage à pâte ferme cuite :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comté - Emmenthal - Beaufort 	<p>Fromage à pâte molle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Camembert, - Brie, - Carré de l'est, - Bleu, - Roquefort - Munster, - Pont-l'évêque, - Maroille, - Livarot

II- Fromage fondu

II-1- Aperçu historique

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. (Meyer A., 1973).

Selon (Fox P. et Mcsweeney P., 1998), la fonte des fromages présente plusieurs avantages :

- Un fromage qui est difficile ou même impossible à commercialiser peut être employé.
- 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 J. *et all.*, 2003)
- Source de calcium et de protéines pour les enfants, et bonne aptitude à la satisfaction des besoins nutritionnels s'ils sont enrichit en vitamines et en minéraux. (Zhang D. et Mahoney A., 1991)

II-2- Définition

La dénomination « fromage fondu » est réservée au produit de la fonte du fromage ou d'un mélange de fromages, éventuellement additionné d'autres produits laitiers. Sa teneur minimale en matière sèche est de 43 g pour 100 g de produit fini, et sa teneur minimale en gras sur sec (masse en grammes de matière grasse pour 100 g de produit après complète dessiccation) est de 40 g. (Boutonnier, 2000).

II-3- Classification du fromage fondu

II-3-1- Classification selon la teneur en matière grasse

Selon la teneur en matière grasse dans l'extrait sec (MG/ES), les fromages fondus peuvent se diviser en sept catégories. L'extrait sec du produit fini doit provenir à raison d'au moins 750g /Kg de l'extrait sec du fromage. L'extrait sec doit être: égal ou supérieur à 500 g /Kg; pour le fromage fondu à pâte extra dure ou à pâte dure, égal ou supérieur à 450 g / kg pour le fromage à pâte mi-dure et égal ou supérieur à 350 g /kg pour le fromage à pâte molle. (D.F.I., 2009)

Tableau 4. Classification des fromages fondus selon la teneur en Matière grasse (D.F.I., 2009)

Catégorie selon la teneur en MG	Teneur minimale MG/EST (g/kg)	Fromage fondu EST Minimal (g/kg)	Fromage fondu à tartiner EST minimal (g/kg)
Double crème	650	530	450
Crème	550	500	450
Gras	450	500	400
Trois quarts gras	350	450	400
Demi gras	250	400	300
Quart gras	150	400	300
Maigre	Moins de 150	400	300

La composition doit satisfaire aux exigences suivantes:

- si la dénomination spécifique comprend une appellation d'origine, seul le fromage en question peut être utilisé pour la fonte;
- si la dénomination spécifique comprend une indication de provenance, le mélange utilisé pour la fonte doit contenir au moins 750 g /Kg de la variété citée.
- pour toute autre dénomination de fromage, le mélange utilisé pour la fonte doit contenir par kg plus de 500 g du fromage en question **(D.F.I., 2009)**.

II-3-2- Classification selon la forme

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

➤ Fromage fondu type « bloc »

Le traitement thermique subi est modéré de manière à conserver au produit fini une élasticité marquée et une bonne tranchabilité, comparable à celle d'un fromage classique. Pour assurer sa stabilité, sa teneur en matière sèche est élevée et il est fondu partiellement ou totalement à partir de citrate de sodium. L'objectif est de retrouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée, bien que celui-ci ait fait l'objet d'un chauffage.

➤ Fromage fondu type « coupe »

Moins ferme que le bloc, il n'en est pas pour autant tartinable. Il contient trois à quatre points de moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend plus 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 sur les machines classiques.

➤ 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. Cette famille représente la majeure partie du marché français. Ces produits peuvent être aromatisés et conditionnés en emballages souples (portions) ou rigides (pots, barquettes, tubes).

➤ Fromage fondu toastable (pour refonte)

Originaire d'Amérique du Nord, il se présente généralement sous forme de tranches adaptées à une utilisation dans les cheeses burgers, les croque-monsieur... 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 des matières premières.

➤ Fromage fondu thermostable

Issu d'une demande extrême-orientale, à l'inverse du précédent. 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 au Japon puis incorporés dans des plats cuisinés à base de légumes ou de poissons. Ces préparations peuvent être appertisées et, à des températures élevées, les cubes de fromage fondu doivent rester intacts après la stérilisation. **(Boutonnier, 2000)**

II-4. Ingrédients utilisés dans la fabrication de fromage fondu

II-4-1. Les fromages

Le fromage destiné à la fonte est choisi suivant son type, sa saveur, sa maturité, sa composition, sa texture, son pH et son prix entre le cheddar, l'Emmental, le Gruyère, Mozzarella et d'autres fromages à pâte pressée (Caric, 2000).

II-4-2. Produits laitiers

- **Poudres de lait et de lactosérum :**

Ils apportent des protéines et du lactose qui permettent un excellent pouvoir de liaison aqueuse. Le lactose ne doit cependant pas être supérieur à 4 % en masse du produit fini, sous peine d'entraîner des défauts de couleur, de goût et de consistance. En outre, il doit être absent des formules destinées à la fabrication de fromage fondu en blocs. À noter également que les protéines sériques ne participent pas aux transformations gel-sol-gel mais sont intégrées au réseau comme agent de charge, elles ont par conséquent un rôle passif dans la structuration du réseau.

- **Caséines et caséinates :**

Dans la pratique, ce sont surtout les caséines présure et acide ainsi que le caséinate de sodium qui sont présents dans les formulations, afin d'augmenter la teneur en caséine intacte du mélange à fondre. Du fait de leur pauvreté en calcium, la caséine acide et le caséinate de sodium sont peu structurants mais jouissent d'un excellent pouvoir émulsifiant. Cette particularité est notamment recherchée pour compenser l'apport important de matières premières très affinées. Quant à la caséine présure, comparable à un fromage jeune par son taux de calcium, son pouvoir structurant est intact. Par contre, la déshydratation entraîne des modifications importantes au niveau de sa saveur et de son aptitude à la réhydratation, ce qui va limiter son emploi. (Boutonnier, 2000)

- **Cheese base et dérivés :**

Ceux-ci sont issus de l'ultrafiltration de lait entier post-acidifié par des bactéries lactiques ou par addition d'acide lactique ; ils intègrent donc des protéines lactosériques. De goût neutre, ils sont en compétition au niveau économique avec du cheddar jeune, leur rôle étant de se substituer à des fromages jeunes dans les formulations. Ils ne sont pas affinés et contiennent très peu de micro-organismes.

- **Crème, beurre et matière grasse laitière anhydre :**

Ils sont utilisés pour équilibrer les formulations en matière grasse ou pour fabriquer des fromages fondus à fort gras sur extrait sec.

Cette matière grasse diminue considérablement la viscosité du fromage fondu.

II-4-3. Matières premières végétales

- **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, deux arguments intéressants dans le cadre de la prévention des maladies cardio-vasculaires.

- **Protéines végétales :** De nature et de composition très différente des protéines lactiques, elles génèrent une consistance épaisse, peu fluide, liée à leur capacité élevée d'absorption d'eau.

II-4-4. 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. Cette vapeur doit être filtrée avant injection de manière à être débarrassée des additifs apportés par le traitement des eaux de chaudière et des contaminants récupérés lors de sa distribution.

(Boutonnier, 2000).

II-4-5. 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.

Mais pour que cette addition soit profitable, la préfonte doit être de bonne qualité texturale, c'est-à-dire « crémeuse » et non surcrémée, sous peine d'entraîner un surcrémage de toute la pâte du fromage fondu. Son rôle régulateur du processus de fonte se justifie surtout dans le cas des fabrications de produits tartinables et son taux d'incorporation varie de 2 à 10 % en masse selon la nature des matières premières mises en oeuvre 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. **(Boutonnier, 2000)**

II-4-6. Additifs alimentaires

- **Agents de sapidité**

Les condiments dont l'apport varie entre 0,1 et 1,0 % en masse sont généralement ajoutés au début de la fonte de manière à profiter du traitement thermique, sauf dans le cas où la pâte est homogénéisée ultérieurement. Dans tous les cas, il faut surveiller leur charge microbienne, qui conduira parfois à un traitement de stérilisation en autoclave avant incorporation dans la pâte afin de réduire le nombre initial de micro-organismes.

On emploie également des arômes de noix, de noisette, de fumée, de fumet de jambon, de champignon ou encore d'oignon. Cette pratique d'incorporation massive exige l'utilisation d'ingrédients d'excellente qualité bactériologique car ceux-ci sont d'importants agents contaminants, notamment les fruits de mer. **(Boutonnier, 2000)**

- **Colorants**

Ils sont utilisés de manière limitée et non systématique soit dans des produits naturels en Amérique du Nord afin de commercialiser des fromages fondus de couleur orangée, soit dans des produits aromatisés ou faisant l'objet d'inclusions de fromages bleus, de champignons, de crevettes ou d'épices diverses.

- **Agents de texture**

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 (gommes de guar, de caroube, alginates, carraghénanes, carboxyméthylcellulose...) ou produits par voie fermentaire (gommes xanthane et gellane).

Leur rôle est d'améliorer la consistance du fromage fondu, son onctuosité et d'éviter toute synérèse et par conséquent de 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. et ces agents de texture ne peuvent pas remplacer en totalité les sels de fonte.

- **Conservateurs**

Le principal risque d'altération du fromage fondu est lié au développement des bactéries butyriques qui sont sporulées, anaérobies et productrices de gaz, et qui par conséquent entraînent un gonflement des fromages. On utilisait autrefois le bromate de potassium qui a été interdit dans les années 1960. Dans certains pays, on peut ajouter du nitrate de potassium ou du chlorhydrate de lysozyme, mais cela se pratique essentiellement au cours de la fabrication de la matière première qu'est le fromage.

On peut obtenir également de bons résultats avec la nisine qui est toutefois inopérante sur *Clostridium sporogenes*, à condition de savoir que cet inhibiteur biologique ne peut en aucun cas « assainir » une matière première dans un mauvais état bactériologique. Si l'on souhaite obtenir une durée de conservation de 6 mois ou plus avec une matière première contenant des *Clostridia* et sans autorisation d'utiliser la nisine, il ne reste plus que la solution thermique sous la forme d'une stérilisation UHT. (**Boutonnier, 2000**)

II-4-7. Sels de fonte

A- Classification

Les principaux sels utilisés pour la fabrication du fromage fondu sont les sels de l'acide phosphorique et de l'acide citrique.

Parmi les **phosphates** (sels de l'acide phosphorique), on distingue les monophosphates et les phosphates polymères ou polyphosphates. Parmi ces derniers, on rencontre :

- les polyphosphates en chaîne (chaîne courte et chaîne longue) ;
- les métaphosphates cycliques et les ultraphosphates réticulés.

B- Rôles et conséquences

D'une façon générale, les sels de fonte vont en priorité jouer un rôle important au niveau de l'échange d'ions, mais on leur demande également d'intervenir à d'autres niveaux de la fabrication allant même jusqu'à la conservation du produit fini.

Tout d'abord, en tant qu'échangeur anionique, le sel doit cumuler les propriétés et les capacités suivantes :

- Forte aptitude à lier les ions calcium, c'est-à-dire au maintien à un faible niveau de concentration en ions Ca^{2+} libres afin de déplacer l'équilibre d'échange d'ions vers la droite.
- Efficacité importante pour une faible masse de façon à limiter les taux d'incorporation et être ainsi conforme aux doses maximales définies par la réglementation;
- Grande hydrosolubilité pour faciliter les réactions d'échange d'ions avec les micelles et les submicelles.
- Masse molaire limitée afin de ne pas trop ralentir le processus d'échange d'ions.

Les sels de sodium de différents acides polybasiques répondent à ces critères (efficacité croissante) : tartrates, citrates, orthophosphates et polyphosphates. (**Boutonnier, 2000**)

Certains sels possèdent un effet bactériostatique, c'est le cas surtout des poly phosphates qui peuvent ralentir très nettement la multiplication des micro-organismes, et ainsi prolonger la durée de conservation du produit fini. Et même les ortho phosphates et les citrates, déstabilise l'enveloppe des micro-organismes.

Tableau 5. Principales propriétés des sels de fonte (**Boutonnier, 2000**)

Propriétés	Citrates	orthophosphates	Polyphosphates
Echange d'ions	+	+	++
Variations du PH	++	++	+
Crémage	0	0	++
Changement de couleur	-	0	0
Influence sur le gout	++	-	0
Influence sur la conservation	0	0	++

(++) : forte réaction, (+) : réaction normale, (0) : aucune réaction, (-) : réaction négative.

En outre, le goût peut être influencé par certains sels de manière positive, c'est ainsi que les citrates confèrent au fromage fondu une note fraîche. Pour d'autres, les conséquences peuvent être négatives, comme on peut le constater parfois après une réaction de saponification entre les ortho phosphates et les acides gras libres. Cette réaction fait apparaître à la dégustation des goûts de savon en cas de pH trop élevé (supérieur à 6).

Enfin, une fonte réalisée uniquement avec des citrates de sodium influence directement la couleur de la pâte du fromage fondu. Cette variation de la couleur est due à la formation de citrate de calcium qui se caractérise par sa blancheur plus prononcée, provenant certainement de sa structure microcristalline, après le processus de fonte. (**Boutonnier, 2000**)

C- Dosages et mode d'emploi

La quantité de sels de fonte à mettre en œuvre se calcule exclusivement par rapport à la matière première à fondre et plus précisément par rapport à sa teneur en caséine intacte. Ainsi, avec l'utilisation de fromages jeunes à moyennement affinés renfermant une teneur en caséine relative de 80 à 90 %, une quantité de 3 % en masse de sels semble convenable. Par contre, avec une matière première plus affinée ou à base de fromages à pâte molle, une quantité de 2,0 à 2,5 % apparaît suffisante.

Des dosages inadéquats de sels de fonte sont à l'origine de défauts sur les produits finis. C'est ainsi par exemple qu'un surdosage de sels va entraîner une viscosité accrue de la fonte et une consistance plus

ferme du produit fini et la survenue de cristallisations de différentes natures ainsi que l'apparition d'un goût salé, surtout en cas de sels inadaptés ou d'un pH trop élevé. À l'inverse, un sous-dosage de sels conduira à une pâte épaisse, peu fluide, difficile à pomper ou une consistance manquant d'homogénéité avec manifestations d'exsudations diverses. (Boutonnier, 2000).

II-5. Les étapes de fabrication du fromage fondu

II-5-1. Préparation des matières premières

L'essentiel du travail consiste ici au nettoyage des fromages éventuellement souillés en surface ou pour lesquels la croûte est considérée comme indésirable. En effet, dans certains cas, la dureté de celle-ci peut entraîner des difficultés de fonte et la présence dans le produit fini de particules infondues. Cet écroûtage peut se faire par raclage, par abrasion ou encore par jets d'eau ou de vapeur sous pression.

Ensuite, on procède au classement des produits afin de retenir ceux correspondant aux objectifs recherchés pour chaque formulation après analyses physico-chimiques.

Enfin, pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de fonte, il est impératif de fragmenter les fromages. Pour les fromages de grand format à pâte dure, l'opération débute par un découpage des blocs ou des meules à l'aide de lames ou de couteaux.

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. (Boutonnier, 2000)

II-5-2. Mélange, cuisson et fonte

Le plus souvent, le mélange est effectué dans deux pré-mélangeurs fonctionnant de manière alternative afin d'assurer un fonctionnement continu de la ligne de fabrication. L'homogénéité du mélange est fondamentale pour assurer une bonne qualité du produit fini ; elle est notamment fonction du matériel, de l'intensité des forces de cisaillement générées par les systèmes d'agitation (agitateurs à pâles, à rubans concentriques ou excentriques), ainsi que de la durée du traitement.

On employait autrefois des pétrins dans lesquels on ne réalisait que la cuisson fonte, en raison de la faible vitesse de rotation de l'agitateur.

Les pétrins comme les cutters peuvent également se charger du traitement thermique de pasteurisation ou de stérilisation ou être couplés à des stérilisateur continus.

Deux paramètres sont fondamentaux : la température et le temps de fonte. On estimait autrefois qu'un temps de 3 à 4 min était indispensable pour obtenir une émulsion stable ; avec les moyens actuels, le temps de fonte dépasse à peine 1 min. (Boutonnier, 2000)

II-5-3. Stabilisation thermique de la pâte

Deux possibilités s'offrent aux industriels : soit une pasteurisation, soit une stérilisation. Le choix s'effectue en fonction de la qualité bactériologique des fromages mis en oeuvre, du matériel à disposition et du type de produit fini.

Les derniers développements, en matière de procédé continu, sont à mettre à l'actif des Suisses qui ont appliqués le principe de la stérilisation UHT au fromage fondu, alors qu'il avait été développé à l'origine pour le lait. (Boutonnier, 2000)

II-5-4. Crémage pour ajustement de la consistance

Pour les fromages fondus tartinables, et ce d'autant plus que le mélange est sévèrement chauffé, on doit contrôler la gélification des protéines, c'est-à-dire leur restructuration partielle en réseau tridimensionnel. Cette opération peut se réaliser directement dans le pétrin ou le cutter pour les petits volumes.

Pour les productions continues, le crémage est effectué dans une cuve, avec un système d'agitation servant de tampon entre le traitement thermique du fromage fondu et son conditionnement.

II-5-5. Conditionnement du fromage fondu

À part quelques exceptions comme les tranches ou les fromages fondus décorés, le transport de la pâte fondue exige que la température de pasteurisation soit maintenue depuis le cutter ou la cuve de crémage jusqu'au conditionnement de manière à éviter toute contamination. Il est réalisé de manière entièrement automatique, à des cadences relativement rapides, le tout avec une grande sécurité hygiénique.

En ce qui concerne les tranches, c'est la méthode par injection de fromage fondu chaud dans un boyau plastique, pressé à plat puis refroidi par immersion dans un bain d'eau glacée qui s'est généralisée aujourd'hui. Après refroidissement, la bande de plastique est divisée, ce qui permet d'obtenir des tranches individuelles emballées, puis à leur tour suremballées dans un sachet souple.

Le conditionnement des portions de fromage fondu à tartiner, s'effectue dans une feuille d'aluminium vernissée sur les deux faces. La feuille de complexe est préformée par pression sur la machine sous forme d'une coquille qui après remplissage avec la pâte fondue reçoit un couvercle avant l'accomplissement du scellage.

Le point de scellage se situe entre 60 et 75 °C, ce qui permet d'utiliser dans certains cas la seule chaleur du fromage fondu comme énergie de scellage.

II-5-6. Refroidissement du produit fini

Le mode de refroidissement du fromage fondu varie selon le format et le type du produit. Dans la majorité des cas, le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte. Dans le cas du fromage fondu tartinable, un refroidissement rapide s'impose de manière à interrompre le processus de crémage plus ou moins intense. 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. (Boutonnier, 2000)

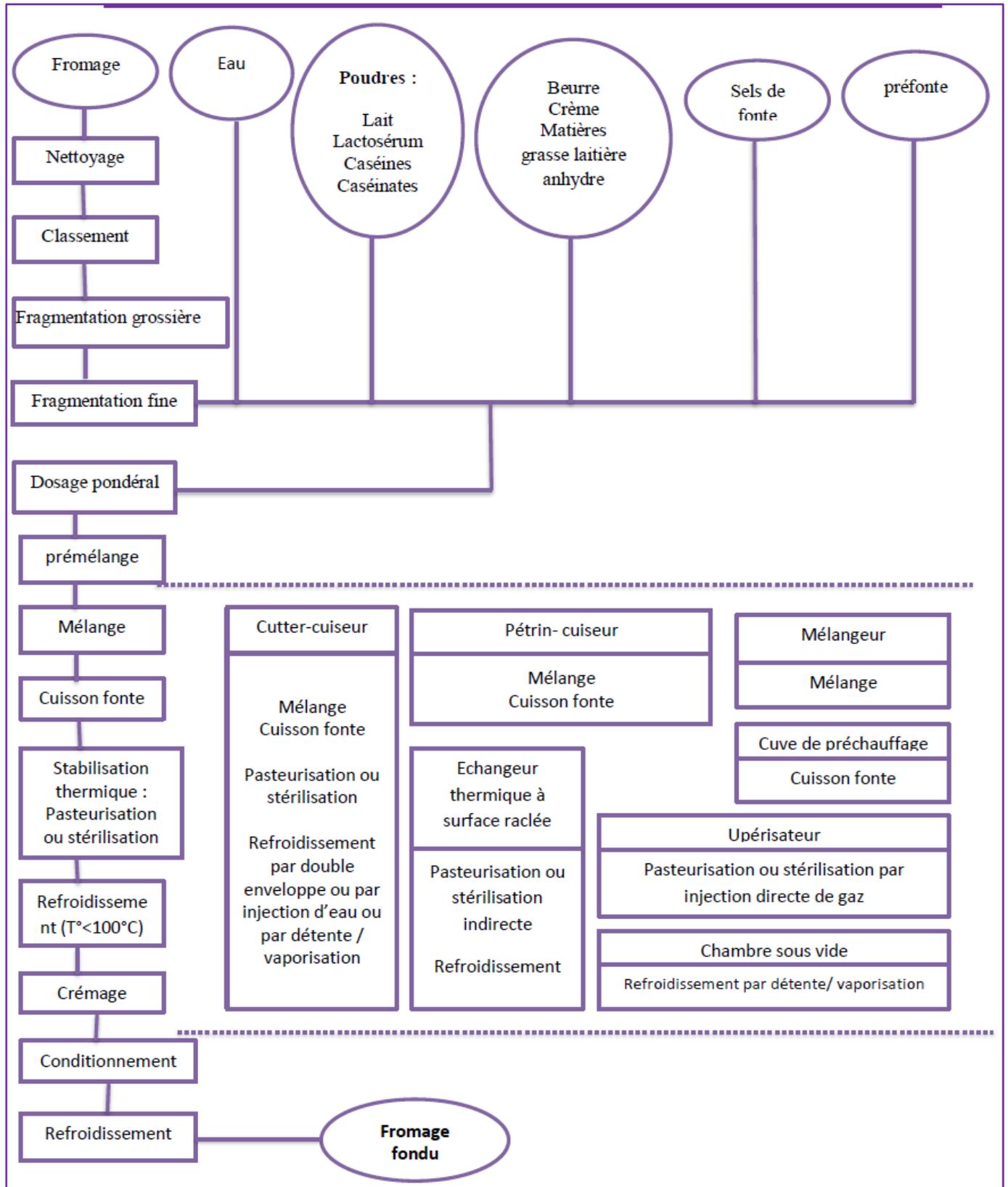


Figure 1 : Principales voies de fabrication du fromage fondu. (Boutonnier, 2000)

II-6. Contrôle de la qualité

II-6-1. Qualité de la matière première

Ces contrôles doivent être réalisés dès l'arrivée des matières premières sur le lieu de fabrication (Boutonnier, 2002).

- **Analyses 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.
- **Testes organoleptiques** : aspect externe et interne, texture, couleur et flaveur.
- **Analyses Bactériologique** : estimation de la charge microbienne en germes totaux et sporulés.

II-6-2. Qualité au cours de la fabrication

Aux principales étapes du procédé de fonte, plusieurs paramètres doivent être suivis :

Préparation, dosage : contrôle des masses des ingrédients respectifs.

Pré mélange, 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, absence de fils de fromage, pliage et étanchéité des soudures pour les emballages souples, suivi des masses, de l'étiquetage et du banderolage. (Boutonnier, 2002).

II-6-3. Qualité du produit fini

- **Emballage** : Aspect, Etanchéité.
- **Testes organoleptique du produit fini** (Produit débarrassé de son emballage):
 - Aspect externe** : brillance, couleur, absence de trous, de cristaux, des 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 refonte 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. (Boutonnier, 2002)

II-7. Les défauts de fabrication

Au cours du processus technologique et pendant le stockage, quelques défauts technologiques peuvent apparaître (Tableau 6).

Tableau 6 : Origines possibles de défauts de fabrication et remèdes possibles à envisager. (Chemache L., 2011)

Aspect de la pâte	Origine possible	Remède
La pâte n'est pas Homogène	Le pH est faible, et sa valeur dépend de la matière première employée	Augmenter le pH (ex : emmental nécessite un pH plus élevé que le cheddar)
	La teneur de sel de fonte est faible	Augmenter la dose des sels de fonte
	Le temps de cuisson étant court	Augmenter le temps de cuisson
Le fromage fondu est liquide	La matière première utilisée n'est pas affinée, n'arrive pas à crémier, est trop vieille et ne gonfle pas	Mélanger la matière première jeune avec une autre affinée
	les sels de fonte employés n'étaient pas crémants	Mettre un sel de fonte crémant
	le mélange contient une quantité élevée d'eau	Vérifier la quantité d'eau
La pâte forme des fils	L'emploi des sels n'est pas adéquat	
	Temps de fonte court	Augmenter le temps
	Dose de sels de fonte n'est pas exacte	Augmenter la dose de sels
	Brassoir d'une vitesse faible	Augmenter la vitesse des brassoires
pâte trop molle	pH élevé	Diminuer le pH
Pâte relativement épaisse	pH faible	Augmenter le pH
Le fondu a un goût prononcé de fromage	Cela tient dans la plupart des cas, à un emploi élevé du fromage trop vieux où une valeur élevée du PH	-la matière première à un fromage plus jeune. -Réduire la quantité des sels de fonte en remplaçant la différence par le citrate de sodium qui masque le goût indésirable

Chapitre II : Lait de soja



I- Graine de Soja

I-1-Les caractéristiques botaniques

Le soja, espèce *Glycine max* (L.) Merrill, est une plante herbacée annuelle, velue, appartenant à l'ordre des Fabales, famille des Légumineuses, sous-famille des Fabacées (ou Papilionacées), tribu des *PHaseoleae*, genre *Glycine* L. Le soja possède un port végétatif et un appareil reproducteur caractéristique de la famille des Fabacées.

A. Appareil végétatif

L'appareil végétatif du soja comporte :

- Un port érigé d'une hauteur de 30 à 150 centimètres,
- Des feuilles alternes à trois folioles acuminées avec stipelles, qui tombent avant la maturité complète de la plante (Delaveau, 2003 ; Doré *et al.*, 2006).



Figure 2 : Le soja, *Glycine max*, légumineuse herbacée (Archives Larousse).

B. Appareil reproducteur

L'appareil reproducteur du soja est caractérisé par :

- Des fleurs isolées, petites, violettes ou jaunâtres, zygomorphes (avec un plan de symétrie), hermaphrodites et autogames.
- Une corolle avec cinq pétales vexillaires : un pétale dorsal (vexillum) qui encadre deux pétales latéraux (ailes), qui eux resserrent deux pétales ventraux soudés (carène).
- Un calice avec cinq sépales soudés.
- Un androcée diadelphé (étamines assemblées en deux groupes).
- Un gynécée composé d'un carpelle.
- une fécondation cléistogame (autofécondation avant même que la fleur ne s'ouvre).
- Des fruits sous forme de gousses (ou légumes) bosselées et velues, déhiscentes, de longueur et couleur variables en fonction des variétés, contenant deux à quatre graines riches en protéines (Doré *et al.*, 2006).

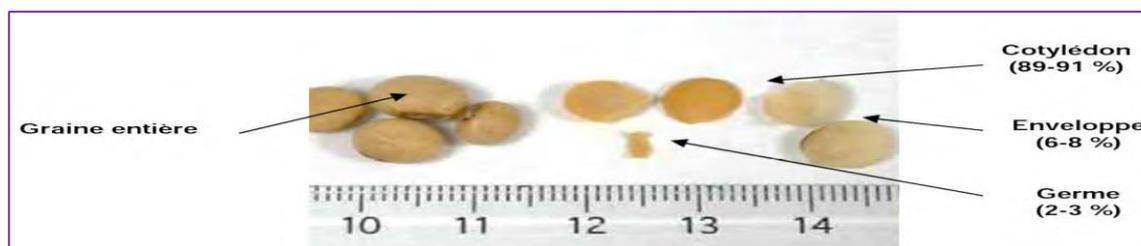


Figure 3 : Description de la graine de soja (Hubert, 2006).

C. Racines à nodosités

Le système racinaire s'organise autour d'une racine pivot qui se ramifie en radicelles. Elles absorbent l'eau et les sels minéraux du sol indispensables à la survie de la plante (Chatenet, 2007). En plus d'utiliser l'azote minéral du sol pour la synthèse d'acides aminés et de protéines, les légumineuses telles que le soja, la lentille, la luzerne ont développé un moyen supplémentaire pour fixer l'azote de l'air. Elles vivent en symbiose avec certaines bactéries du sol (*Rhizobium*) qui sont rentrées par les racines de la plante pour former des nodosités. Dans ces nodules accrochés aux racines, les bactéries récupèrent des glucides de la plante issus de la photosynthèse mais en contrepartie, elles synthétisent des acides aminés amides pour la plante, après fixation de l'azote de l'air du sol (N_2) et réduction en ammoniac (NH_4^+).

Grâce à cette voie symbiotique, le soja est donc une légumineuse qui nécessite peu d'engrais azotés c'est pourquoi elle est bien adaptée à la production biologique. Par ailleurs les racines à nodosités du soja améliorent la composition azotée du sol avant la culture d'autres plantes comme le blé ou le maïs.

I-2- Production mondiale de soja

Tableau 7 : Principaux pays producteurs de soja (source : FAO/STAT)

Pays	2008 (T)	%	Pays	2008 (T)	%
Etats unis	80535520	34.87	Russie	745990	0.32
Brésil	59916832	25.94	Nigeria	591000	0.26
Argentine	46 232 088	20.02	Serbie	350946	0.15
Chine	15545141	6.73	Italie	346245	0.15
Inde	9045000	3.92	Corée du nord	345000	0.15
Paraguay	6808000	2.95	Afrique du sud	322995	0.14
Canada	3335900	1.44	Viêtman	268600	0.12
Bolivie	1595947	0.69	Japon	226700	0.10
Urkaine	812800	0.35	Iran	209000	0.09
Indonésie	776491	0.34	Thaïlande	204375	0.09
Urguay	772900	0.34	Birmanie	190000	0.08

I-3- Composition biochimique de 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**).

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.

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. (**Imram, Gomez, & Soh, 2003**).

La composition des graines de soja peut varier selon les variétés et les conditions de culture. Grâce à la sélection, il a été possible d'obtenir des variétés ayant des teneurs en protéines comprises entre 40 et 45% et des lipides entre 18 et 20%. (**J-C.Cheftel, D.Lorient ; 1985**).

Tableau 8 : Composition de graine de soja (**Cetiom/AFNOR, 1987**).

Composants	Les parties de graines	Valeurs extrêmes
Huile (%)	Graines entières	17-27
	Embryon	18,5-30
Protéines (%)	Graines entières	34-52
	Tourteau de graines entières	42-60
	Embryon	37-58
	Tourteau d'embryon	50-80
	Pellicule	12-15

I-4- Les sous-produits de graines de soja

Le diagramme (Figure 4) présente les produits dérivés du soja, y compris les produits, dits traditionnels, qui sont principalement et largement consommés en Asie et les nouveaux produits qui sont utilisés dans les pays occidentaux ainsi que par les industries alimentaires.

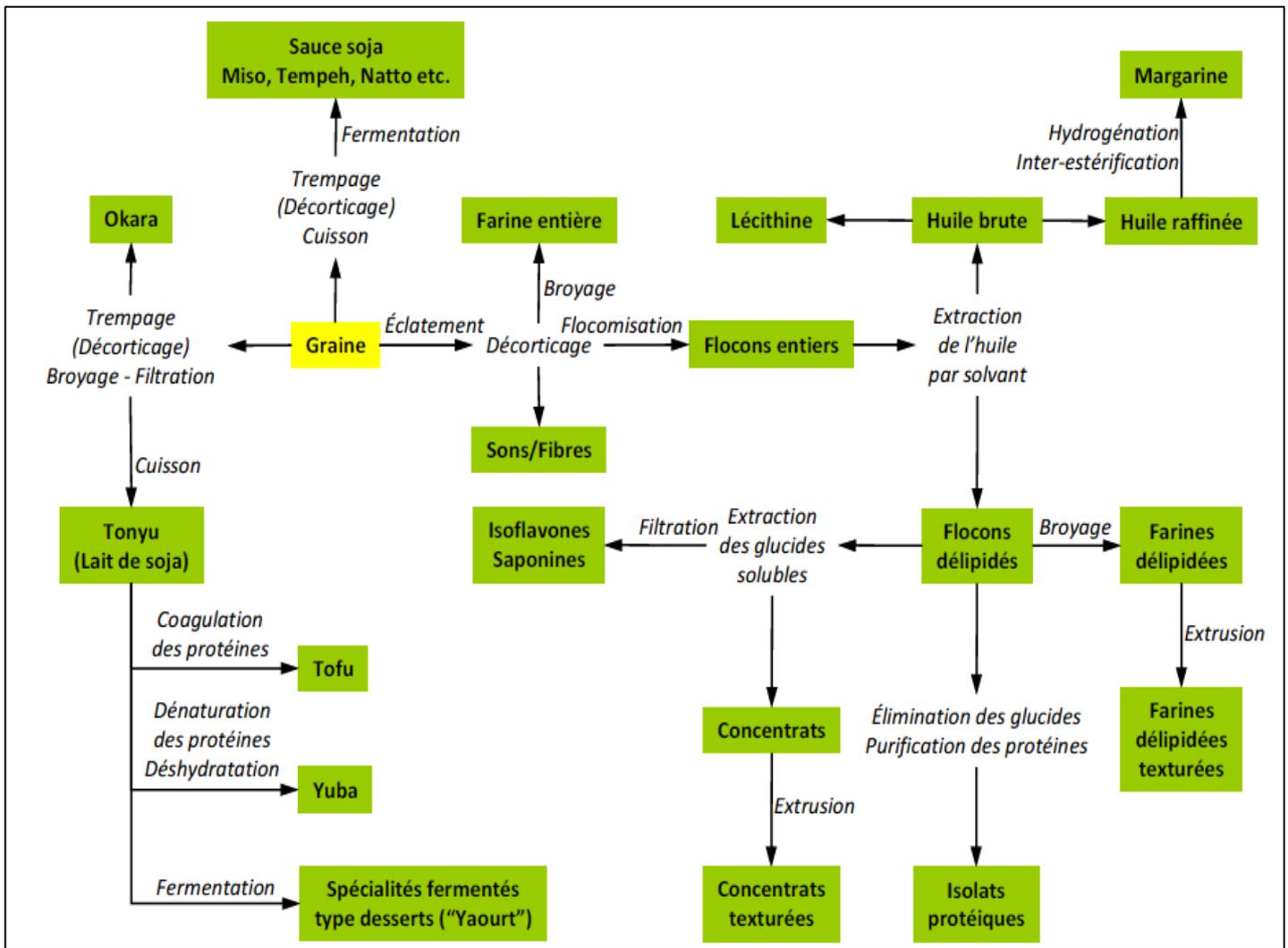


Figure 4 : Diagramme de Produits dérivés et les procédés usuels de transformation des graines de soja (TU Viêt PHU, 2010).

II- Lait de Soja (TONYU)

II-1. Généralité sur le lait végétal

II-1-1. Composition et Qualité nutritionnelle des laits végétaux

En moyenne, le lait entier contient 3,2% de protéines, 4,9% de glucides (lactose) et 3,9% de lipides. La part d'eau est de 88 %. Un décilitre de lait fournit donc 67 kcal au total.

En fonction de la matière première de base (soja oléagineux ou dégraissé, amandes oléagineuses ou riz pauvre en graisses) et des éventuels ajouts de sucre et d'huile, la teneur en calories des laits d'origine végétales peut varier considérablement. La désignation du produit ne suffit pas pour estimer la teneur calorique. En effet, si l'on prend par exemple deux boissons à base d'amandes du même fabricant habituellement proposées dans le commerce, et ne contenant toutes deux que 2 % d'amandes, la variante non sucrée fournit 13 kcal par 100 ml, alors que la variante «Original» avec ajout de sucre fournit 24 kcal par 100 ml, soit près du double de calories que la variante non sucrée. (Ulrike Gonder, 2016).

A. Les lipides

Comme certaines personnes et organisations continuent de reprocher au cholestérol et aux acides gras saturés du lait de favoriser les maladies cardiovasculaires ou d'autres troubles, certains consommateurs allèguent des raisons de santé pour remplacer le lait par des boissons végétales.

À l'exception des produits à base de noix de coco, ces dernières sont pauvres en acides gras saturés, car les céréales, le soja et les fruits à coque contiennent surtout des acides gras insaturés. Cette propriété en elle-même ne constitue pas pour autant un avantage pour la santé. En effet, la recherche scientifique a très largement désamorcé la critique faite aussi bien aux acides gras saturés qu'au cholestérol alimentaire d'être mauvais pour la santé (**Hoenselaar,R, 2012**).

Un argument plaidant en faveur des graisses végétales est que leurs acides gras insaturés peuvent abaisser le taux de cholestérol. Dans les céréales prédominent toutefois les acides gras polyinsaturés oméga 6. Ils sont certes essentiels, mais consommés en trop grandes quantités, ils peuvent avoir des effets négatifs, par exemple en empêchant la métabolisation des acides gras, oméga 3 et en favorisant les inflammations. (**Ulrike Gonder, 2016**).

B. Les protéines

Le lait de vache contient 3 bons grammes de protéines de valeur par 100 ml. Parmi les boissons végétales, seuls les produits au soja sont aussi riches en protéines (env. 3 %). Les boissons à base de riz sont très pauvres en protéines (environ 0,1 %) et les boissons à base de céréales ou de fruits à coque contiennent moins de 1 g de protéines par 100 ml (environ 0,3-0,8 %). (**Ulrike Gonder, 2016**).

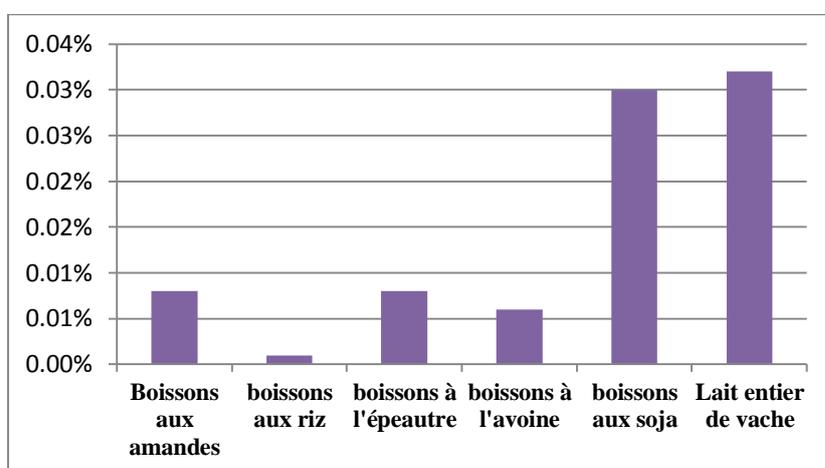


Figure 5 : Diagramme des valeurs moyennes de protéines de quelques laits végétaux. (**Ulrike Gonder, 2016**).

C. Les glucides

Les boissons végétales ont des teneurs très variables en glucides. En fonction de la matière de base et du mode de transformation, ainsi que de l'ajout de sucre, elles peuvent contenir entre 0,1 et plus de 10 % de glucides. Pour leur plus grande part, il s'agit de sucres.

Les teneurs en sucres et en glucides des boissons sans sucre ajouté peuvent aussi varier dans cette fourchette. Les teneurs élevées sont dues au fait que, pour la fabrication de ces boissons, certaines céréales sont soumises à une transformation enzymatique au cours de laquelle une partie de l'amidon est transformée en sucre. (**Ulrike Gonder, 2016**).

D. Vitamines et minéraux

Les laits végétaux ne contiennent presque pas de micronutriments (vitamines et minéraux), parce que leur ingrédient principal est de l'eau et que la part du végétal qui leur confère leur nom et leur valeur est faible: les boissons à base d'amandes contiennent habituellement 2 à 7 % d'amandes et celles au soja 4 à 8 % de soja. Les boissons à base de céréales contiennent une plus grande part de la substance de base : 10 à 11 % d'avoine et 13 à 14 % de riz. (Ulrike Gonder, 2016).

E. Les substances secondaires

Les denrées alimentaires végétales fournissent aussi des substances végétales secondaires. Celles-ci servent par exemple à la plante de pigments ou d'attractifs pour les pollinisateurs, de protection anti-UV ou de défense contre les morsures. Certaines de ces substances secondaires se sont révélées bénéfiques pour la santé humaine, comme les caroténoïdes ou l'important groupe des polyphénols, avec leurs effets antioxydants et anti-inflammatoires. (Pereira, 2014).

II-1-2- Quelques variétés de laits végétaux

Lait de soja ou soya :

C'est la boisson la plus ancienne et d'un point de vue nutritif, c'est la plus proche du lait de vache. Elle est aussi riche en protéines que le lait de vache soit 8 g par tasse de 250 ml. La boisson de soya est composée de tous les acides aminés essentiels ce qui n'est pas le cas des autres boissons végétales. Elle contient aussi des acides gras essentiels.



Lait d'amandes :

Il contient peu de protéines 1 à 2 g par tasse de 250 ml. Et ne contient pas de calcium. Du fait de sa faible teneur en protéines et de son quasi absence de calcium il ne peut se substituer au lait de vache. Cependant, il peut faire partie d'une alimentation équilibrée.



Lait d'avoine :

Contient un peu plus de protéines que la boisson d'amandes ou de noisettes (4 g/250 ml). Sa teneur en gras est proche du lait 1/2 écrémé ou à 2 %. ne contient pas de calcium. Elle contient aussi du gluten. En résumé, moins riche que le lait de vache en protéines, légèrement plus en glucides, la boisson d'avoine reste intéressante en substitut du lait de vache, si elle est enrichie en calcium. Sa saveur étant douce et sucrée du fait de sa richesse en glucides, elle est à boire avec modération.



Lait de noisettes :

Il est à peu près équivalent à celle d'avoine mais un peu plus riche en glucides. La boisson de noisettes se caractérise par sa richesse en fer, en magnésium et en acides gras mono-insaturés qui protègent des maladies cardiovasculaires. De même, elle contient des vitamines (A et B), ainsi que des oméga 3 et 6. il est pauvre en protéines, et ne contient pas de calcium (Evelyne, 2018).



Lait de riz :

Il est pauvre en protéines, même pas 1g/250 ml, et deux fois plus riche en glucides que le lait. Ne contient pratiquement pas de calcium, il apporte du silicium, constituant essentiel des os et cartilages. La boisson de riz ne peut pas vraiment remplacer le lait de vache. elle apporte de l'énergie et elle est très digeste ce qui est un grand atout pour la récupération lors des efforts physiques de longue durée. Elle est aussi sans gluten.

**Lait d'épeautre :**

Contient du gluten. il apporte peu de protéines environ 1 à 1,5 g /250 ml, contient plus de glucides que le lait de vache soit 20 g/250 ml. sa composition est proche de la boisson d'amandes ou de noisettes. Sa teneur en calcium est la même que celle du lait de vache. Elle est donc particulièrement recommandée aux personnes souffrant d'ostéoporose ou aux enfants en pleine croissance.

**Lait de chanvre :**

Il est moins riche en protéines, plus en glucides et ne contient pas naturellement de calcium. Par contre, contient une quantité intéressante d'oméga-3, mais il s'agit de son seul atout nutritionnel. Son goût particulier ne plait pas à tout le monde. il ne permet pas de remplacer le lait de vache, mais peut ajouter de la variété à vos menus. (Evelyne, 2018).

**Lait de châtaignes :**

La boisson de châtaignes est de couleur caramel. Elle a la saveur des châtaignes. Elle est naturellement riche en glucides et très digeste. C'est un bon produit pour ceux qui souffrent d'acidité gastrique, la châtaigne ayant la propriété d'alcaliniser l'organisme. Elle est sans gluten. (Evelyne, 2018).

**Lait de coco :**

Il est préparé à partir de la pulpe de noix de coco râpée. A ne confondre pas avec le jus (ou eau) de coco, liquide contenu dans la noix de coco. On le nomme plutôt « lait » à cause son aspect proche du lait de vache, il est très riche en lipides (graisses) surtout en graisses saturées et est donc très calorique. Il contient très peu de calcium et de protéines. Par contre, il est riche en fer, en potassium, en phosphore, en manganèse, en cuivre, et en zinc. (Evelyne, 2018).

**II-2. Définition du lait de soja**

Certaines légumineuses comme le soja fournit un lait végétal ayant une caractéristique différente du lait animal sur le point de vue structural. Ce lait est obtenu par des traitements physicochimiques de la graine de soja.

Par définition, le lait de soja est un produit de l'extraction aqueuse de graines de soja. C'est une émulsion de couleur blanc laiteux. Il a été produit pour la première fois en Chine avant l'ère chrétienne. Sa production continue à s'intensifier jusqu'à présent (Berk, 1993).

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:eau compris entre 1:20 à 1:5 (m/m).

Le premier facteur qui influence la qualité du lait de soja est la variété de soja utilisée. Elle décide non seulement du goût du lait de soja, de la teneur en protéines, en glucides et en lipides, mais aussi de la couleur de celui-ci. (TU Viêt Phu, 2010).

II-3. Composition et valeur nutritionnelle du lait de soja

Le lait de soja contient dans sa composition des glucides et des protéines solubles, et la majeure partie de l'huile de soja. Sa valeur nutritive est très considérable. Dans les pays en déficit alimentaire, les nourrissons sont nourris avec ce lait. Il procure plus de protéines et moins de graisses et de sucres que le lait d'origine animale. (Ramaroson, 2002).

Pour connaître la valeur alimentaire du lait de soja, il faut étudier sa composition chimique. Dans une récente note à l'Académie des Sciences, M. KUO-CHUN CHIN insiste sur le fait que le lait de soja a une composition très différente de celle du fromage de soja. La composition chimique du lait de soja est d'ailleurs très variable, suivant les procédés de fabrication du lait et suivant les espèces de soja envisagées, on ne peut donc donner que des valeurs moyennes.

M. KUO-CHUN CHIN indique les chiffres suivants, communiqués par le Laboratoire Municipal de Paris pour un litre de lait de soja : (Bull.Soc, 1947).

Grammes par litre

Extrait sec.....	57,9
Matières grasses	14,2
Azote total exprimé en matières protéiques	28,4
Matières saccharifiables exprimées en glucose	9,1
Matières minérales	3,1
Vitamine C	Absente

II-4. Comparaison entre le lait de soja et le lait de vache

Voici quelques compositions du lait de soja comparé au lait de vache, résumées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Composition de lait de soja comparé au lait de vache (Mémento de l'agronomie quatrième édition, 1993)

	Lait de soja	Lait de vache
Protéines %	5,7	3,5
Lipides %	2,4	4,0
Matières hydrocarbonées %	1,4	5,2
Cendres %	0,8	0,7
Eau %	89	86,7

II-5. Impact du soja sur la santé

A- Allergies alimentaires

Bien que la prévalence de l'allergie alimentaire au soja soit faible en Europe avec moins de 1 % de la population, le soja devient l'un des principaux allergènes émergents. En effet l'utilisation de plus en plus fréquente du soja dans l'industrie agroalimentaire généralement sous forme de matières protéiques végétales (farines, isolats et concentrés protéiques) dans les aliments transformés, a entraîné la survenue d'accidents sévères et a ainsi rendu son étiquetage obligatoire en Europe depuis 2003 (Gomez-Andre *et al.*, 2012).

Diverses protéines du soja comme la β -conglycinine, la glycinine et les inhibiteurs trypsiques de Kunitz ont été identifiées comme allergisantes (Afssa/Afssaps, 2005).

Il est déconseillé de donner aux nourrissons déjà allergiques aux protéines de lait de vache des préparations à base de protéines de soja dites PPS particulièrement avant l'âge de six mois. Notons qu'habituellement, l'allergie au lait de vache ou au soja a tendance à diminuer dans l'enfance (Chouraqui *et al.*, 2008).

B- Effet bénéfique sur le cholestérol

De part leur composition, les aliments à base de soja sont riches en fibres et en acides gras poly insaturés. Ils contribuent ainsi à réguler favorablement le bilan lipidique, favorisant la baisse du cholestérol. La diminution des triglycérides reste plus aléatoire. (Frédéric Maton, 2018)

C- Réduction des taux de lipides sanguins et des risques de maladies cardiovasculaires associés

De très nombreuses études des effets d'une diète riche en soja sur la santé cardiovasculaire ont été effectuées depuis la fin des années 1960. Une première méta-analyse publiée en 1995 avait donné des résultats très encourageants, les auteurs ayant conclu que le remplacement des protéines animales par des protéines de soja réduisait de façon nette le taux de cholestérol (-13 %) et de triglycérides (Anderson *et al.*, 1995)

D- Prévention de l'ostéoporose

Les isoflavones de soja ont une action protectrice vis-à-vis du capital osseux, en limitant la résorption de l'os. L'apport calcique doit parallèlement être satisfaisant. (Frédéric Maton, 2018).

E- Réduction du risque de cancer du sein et de cancer de la prostate

Des études épidémiologiques montrent que le taux de certains cancers, notamment ceux du sein et de la prostate, est moins important dans les pays asiatiques, où les gens sont de grands consommateurs de produits dérivés du soja (environ 80 g à 160 g de produits dérivés du soja par jour, soit de 25 mg à 50 mg d'isoflavones). (Trock *et al.*, 2006, Qin LQ *et al.* 2006, Wu AH, Yu MC. *et al.*, 2008).

F- Prévention de l'ostéoporose

Le rôle de soja dans la prévention de l'ostéoporose est encore très controversé. Si les données épidémiologiques montrent une corrélation entre l'apport alimentaire en isoflavones et la densité osseuse (Setchell KD, Lydeking-Olsen E, 2003).

L'effet bénéfique s'exercerait surtout au moment de la pré ménopause et peu après la ménopause. Les effets préventifs sur l'ostéoporose ne se feraient sentir qu'à partir de 90 mg d'isoflavones par jour, voire 120 mg. (Ma DF, Qin LQ, et al, 2008)

D'autre part, la réduction de la perte de densité osseuse ne serait pas propre aux isoflavones puisqu'elle peut être obtenue avec n'importe quel supplément en protéines. Enfin, 3 études cliniques et 1 méta-analyse totalisant 896 femmes concluent à l'absence totale d'effet des isoflavones pour la prévention de l'ostéoporose. (Alekel DL et al, 2010)

G- Réduction des bouffées de chaleur de la ménopause

À cause de leur léger effet oestrogénique et des effets indésirables des hormones de synthèse, les protéines de soya et les isoflavones ont suscité beaucoup d'intérêt pour le traitement des symptômes de la ménopause. (Jou HJ, Wu SC, et al, 2008)

H- Grossesse et allaitement

Peu de données sont disponibles sur la femme enceinte consommant des phytoestrogènes de soja mais incitent à la prudence. Les recommandations de l'Anses sont également valables pour les femmes enceintes et allaitantes : un apport élevé (> 1mg/kg/j) en phyto-estrogènes de soja pendant la grossesse n'est pas recommandé particulièrement sous forme de compléments alimentaires (Fallone, 2013).

I- Nourrissons et enfants en bas-âge

Le tonyu ou jus de soja contient des quantités non négligeable d'isoflavones de soja pouvant aller jusqu'à 140,9 mg d'isoflavones par litre (Bennetau-Pelissero et al., 2004).

Donc au cours des six premiers mois de vie, une alimentation exclusive en tonyu peut conduire les enfants à consommer des isoflavones à des concentrations comprises entre 14 et 21 mg/kg de poids corporel par jour soit 14 à 21 fois le taux limite recommandé par l'Anses. C'est pourquoi compte tenu de leur teneur en isoflavones, les tonyus sont déconseillés pour l'alimentation infantile avant l'âge de 3 ans, phase sensible du développement de l'enfant (Afssa/Afssaps, 2005).

II-6- Processus de production du lait de soja

II-6-1- Comment augmenter la qualité du lait de soja ?

- **Les graines entières ou les graines décortiquées :** Les recherches ont montré que l'enveloppe extérieure du soja contient des substances indésirables comme les bactéries du sol et les polysaccharides. Le décorticage (dépelliculage) diminue la charge bactérienne qui améliore le goût et la durée de vie du produit, élimine certaines enzymes indésirables, baisse l'amertume et réduit le temps de cuisson via l'élimination des polysaccharides qui causent des problèmes techniques par la formation de mousse et ralentissent la décantation. Le décorticage peut être pratiqué à sec et les pellicules sont séparées du coeur de la fève de soja par aspiration. (TU Viêt Phu, 2010)
- **Un éventuel blanchiment :** Cette opération, qui se fait à haute température (>80°C) et dure entre 5 et 30 minutes, a pour but d'inactiver les lipoxigénases qui sont responsables des «notes vertes» dans le produit fini. Cependant, les protéines peuvent également être dénaturées ce qui diminue le rendement de récupération d'extrait sec. (TU Viêt Phu, 2010).

- **La filtration effectuée avant ou après la cuisson** : Après le broyage, les matières solubles du soja peuvent être extraites dans l'eau. La cuisson engendre une dénaturation des protéines qui vont colmater le filtre lors de la filtration. Selon la méthode traditionnelle, la filtration est effectuée suite au broyage. Pour obtenir un rendement de récupération d'extrait sec élevé une pression est nécessaire. L'okara est ensuite lavé et pressé plusieurs fois. (TU Viêt Phu, 2010)

II-6-2- Les étapes de production du lait de soja

Le procédé de fabrication du lait de soja est représenté par la figure 05.

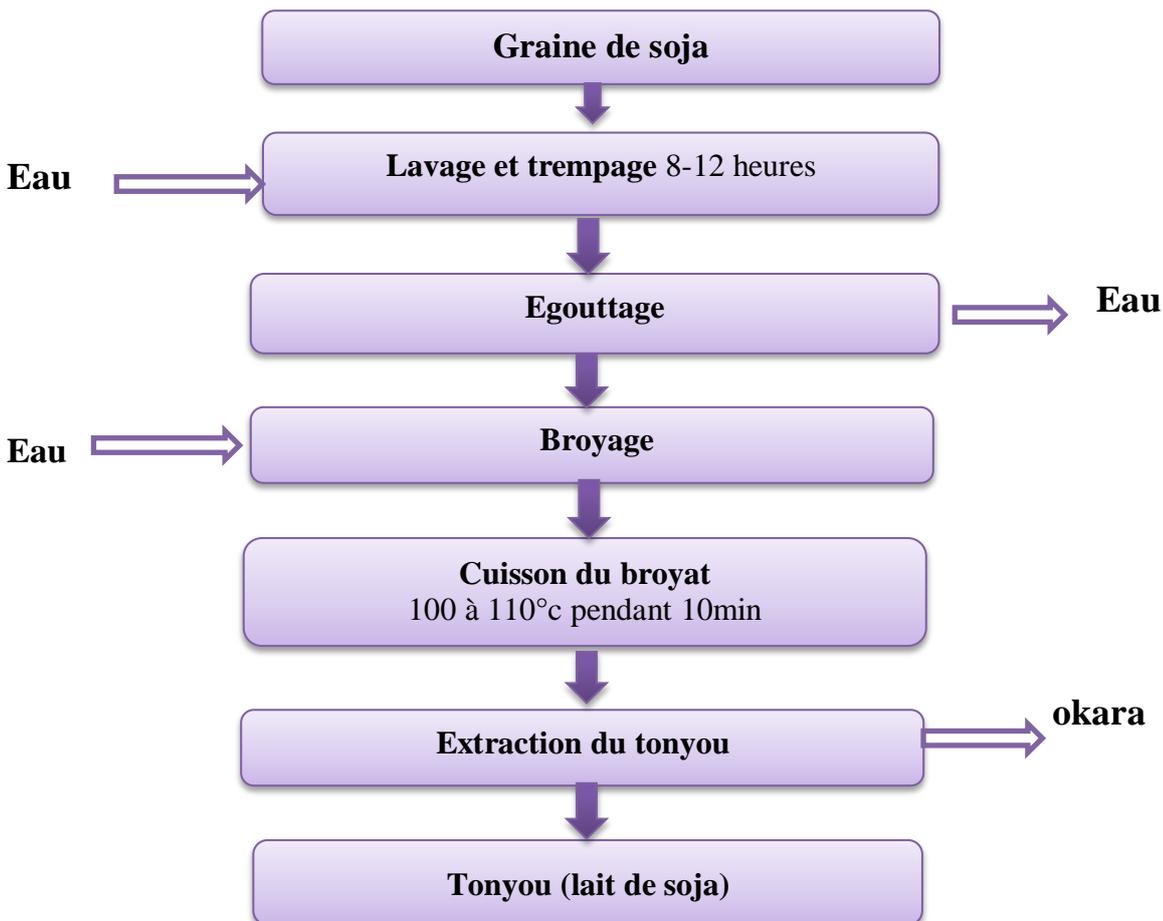


Figure 6 : Diagramme de production du lait de soja (Godon.B, 1996)

Chapitre III : La farine d'avoine



I- La plante d'avoine

I-1. Importance de la culture des céréales en Algérie

La culture des céréales a été, et restera l'élément essentiel de l'agriculture algérienne. Une superficie de 2 448 200 hectares lui est consacrée. (Bensalem, 1998).

Les céréales fournissent les aliments de base et occupent une place de choix dans l'alimentation des populations algériennes. Ils représentent 50% des dépenses des ménages. Ces céréales constituent 60% de l'apport calorique et 71% de l'apport protéique de la population algérienne (Bensalem, 1998).

Actuellement l'Algérie occupe la 5ème place dans la consommation des céréales (établi par le Conseil International de Céréales (CIC)).

En Algérie, l'avoine vient en quatrième position avec une superficie moyenne de l'ordre de 68095,5 ha après le blé dur qui occupe une superficie moyenne de 1314014 ha très importants par rapport aux autres céréales, et a la surface destinée à la céréaliculture (Direction des Services Agricoles, 2016).

La production mondiale d'avoine est d'environ de 22,5 à 25 millions de tonnes lors de la campagne 2011-2012 cultivée sur 10,6 millions d'hectares, globalement, la production annuelle est très inférieure à celles de blé, de maïs, ou même d'orge. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

I-2. Description de la plante

Utilisée depuis des siècles pour les animaux (fourrage), l'avoine est de plus en plus entrée dans l'alimentation humaine, pour son plus grand bénéfice.

L'Avoine est une plante herbacée annuelle, cultivée (*Avena sativa* L.), parfois appelée « avoine commune », « avoine byzantine » ou simplement « avoine », est une espèce de plantes monocotylédones de la famille des Poaceae (graminées), sous-famille des Pooideae. (Cherki S. ; Hadji H. 2018).

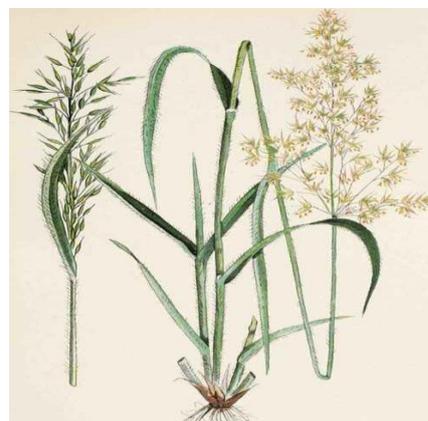


Figure 7 : plante d'avoine

L'avoine est cultivée comme céréale ou comme plante fourragère à couper en vert ; ses pousses tendres et sucrées plaisent aux animaux de la ferme. Elle fait partie des céréales à paille et est utilisée principalement en alimentation animale. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

La plante est facilement identifiable, c'est une monocotylédone à tige cylindrique de 25 à 150 cm de haut, au port dressé.

L'avoine a des fleurs hermaphrodites auto-pollinisées par le vent. Elles sont arrangées en épillets de 16 à 24 mm à pédoncules barbus, retombants et protégés par deux glumes nervurées presque égales et dépassant la fleur. Les inflorescences sont des panicules lâches. Elles mesurent 8 à 30 cm de long, portant des épillets de deux à trois fleurs, mesurant 20 à 25 mm de long.

Le grain est un caryopse vêtu entouré de glumelles non adhérentes, mais qui restent fermées. Le lemma est induré, sauf au sommet, et adhère au grain, un caryopse indéhiscent à graine unique est soudé au péricarpe, sauf pour *Avena nuda*, variantes dites « à grains nus ». L'avoine peut produire des racines adventices au niveau des nœuds. Son système racinaire fasciculé est relativement puissant, pouvant s'enraciner jusqu'à plus de 1,5 m. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

I-3. Types d'avoines cultivées

- ***Avena sativa*** : avoine vêtue de type printemps et hiver dont les couleurs de l'enveloppe peuvent être blanche, jaune (grise) ou noire.
- ***Avena nuda*** : avoine nue (grain sans enveloppe) possédant qu'une seule couleur d'amande claire.

I-4. Cycle de vie de l'avoine :

On distingue trois périodes importantes dans le cycle végétatif de l'avoine : une période végétative, une période de reproduction et une période de maturation.

I-4-1. Période végétative

Elle s'étend du semis au début de la montaison, elle est subdivisée en plusieurs phases :

- **phase germination – levée** : La germination commence quand le grain a absorbé environ 25% de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale couverte d'une enveloppe appelée Coleorhize, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée Coléoptile. À la surface du sol, puis apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température de 8 à 15 jours. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)
- **phase levée – tallage** : C'est un mode de développement propre aux graminées, caractérisé par la formation du plateau du tallage, l'émission de talles et la sortie de nouvelles racines (Soltner, 1988). La durée de cette période varie de 31 à 89 jours pour des températures moyennes de 09 à 32°C respectivement (Mekliche, 1983).
- **phase tallage – montaison** : Elle est caractérisée par la formation de talles et l'initiation florale qui se traduit par l'apparition de la future ébauche de l'épi. Tout déficit hydrique durant cette période se traduit par une diminution du nombre de grains par épi (Martin- prevel, 1984).

I-4-2. Période de la montaison

- **phase montaison** : Elle commence lorsque les entres nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage, ce qui correspond à la formation du jeune épi à l'intérieur de la tige. (Belaid, 1987)
- **phase épiaison** : Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa gaine foliaire et se termine quand il est complètement libéré. La durée de cette phase est de 7 à 10 jours, elle dépend des variétés et des conditions du milieu. C'est la phase où la culture atteint son maximum de croissance. (Martin- prevel, 1984).

I-4-3. Période de maturation

- **phase de maturation** : Cette phase est caractérisée par le grossissement du grain, l'accumulation de l'amidon et les pertes de l'humidité des graines qui marque la fin de la maturation.

Cette phase de maturation dure en moyenne 45 jours. Les graines vont progressivement se remplir et passer par différents stades. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

- **phase maturité laiteuse** : Le grain est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux et atteint sa dimension définitive.
- **phase maturité pâteuse** : Quand l'avoine est mûre, le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (Soltner, 1988).
- **phase maturité complète** : Ce stade est sensible aux conditions climatiques et à la condition de récolte (Soltner, 1988).

I-5. Classification

Selon Feillet (2000) l'avoine est une plante annuelle herbacée monocotylédone :

Règne	Plantae
Sous-règne	tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Sous famille	Pooideae
Tribu	Aveneae
Genre	Sativa
Espèce	Avena sativa

I-6. Intérêts de la production de l'avoine

• Intérêt commercial

En 2014, la France a exporté en moyenne 7 500 tonnes d'avoine par mois, à 98 % vers ces 6 pays : la Belgique (24 %), les Pays-Bas (22 %), l'Allemagne (19 %), l'Italie (19 %), l'Espagne (8 %) et la Suisse (7 %). Le niveau de prix est d'environ 170 €/tonne.

• Intérêt économique

La production mondiale d'avoine représente près de 800 kilogrammes par seconde, soit 25 millions de tonnes par an. L'Union européenne est la 1^{ière} productrice d'avoine devant la Russie et le Canada.

Mais ces deux derniers consomment l'essentiel de leur production. La production mondiale d'avoine est d'environ de 22,5 à 25 millions de tonnes lors de la campagne 2011-2012 cultivée sur 10,6 millions d'hectares. (FAO, 2012)

La consommation d'avoine a tendance à remonter, car on redécouvre les bienfaits de sa consommation notamment sur la santé. Globalement, la production mondiale d'avoine est très inférieure à celles de blé, de maïs, ou même d'orge. En termes de commerce international, qui concerne environ 10% des récoltes mondiales, c'est donc le Canada qui est de très loin le premier exportateur, essentiellement à destination des États-Unis. Les productions européennes, russes et canadiennes ont accusées une baisse sensible en 2009-2010 et en 2010-2011, où la production mondiale a fini sous les 20 millions de tonnes. (FAO, 2012).

II- La graine d'avoine

II-1. Composition du grain d'avoine

Tableau 10 : Comparaison entre l'avoine et d'autres céréales. (Mapaq, 2009)

Analyse nutritionnelle de différentes céréales (pour 100 g)														
Max Min	Énergie (kJ)	Protéine (g)	Lipide (g)	Glucide (g)	Calcium (mg)	Fer (mg)	Potassium (mg)	Magnésium (mg)	Vitamines					
									B1 (mg)	B2 (mg)	B6 (mg)	E (mg)	Acide folique (mg)	B3 (mg)
Épeautre	1340	11,5	2,7	69,0	22	4,2	447	130	0,40	0,15	0,27	1,6	0,03	6,9
Orge	1331	11,0	2,1	72,0	38	2,8	444	119	0,43	0,18	0,56	0,67	0,065	4,8
Avoine	1530	12,5	7,1	63,0	79,6	5,8	355	129	0,52	0,17	0,75	0,84	0,033	1,8
Millet	1510	10,5	3,9	71,0	25	9,0	215	170	0,46	0,14	0,75	0,1	0,01	4,8
Maïs	1498	9,0	3,8	71,0	15	1,5	330	120	0,36	0,20	0,40	2,0	0,026	1,5
Riz	1492	7,5	2,2	75,5	23	2,6	150	157	0,41	0,09	0,67	0,74	0,016	5,2
Seigle	1323	8,8	1,7	69,0	64	5,1	530	140	0,35	0,17	0,29	2,0	0,14	1,8
Blé	1342	11,5	2,0	70,0	43,7	3,3	502	173	0,48	0,24	0,44	1,35	0,09	5,1

II-2. Effets de l'avoine sur le corps humain

Des études scientifiques attestent l'effet anti cholestérol de ce type de fibres, qui n'existent pas dans le blé tendre ou le blé dur que nous consommons en grande quantité en Algérie.

Depuis les années 1960, les études donnent les mêmes résultats : certaines fibres, appelées bêta-glucanes, permettent de réduire l'excès de cholestérol dans le sang, un trouble appelé hypercholestérolémie.

L'action anti-cholestérol des bêta-glucanes est liée à leur capacité à fixer le cholestérol. Or, ces types de fibres ne sont pas assimilés. C'est-à-dire qu'elles ne pénètrent pas à travers la paroi intestinale dans le sang. Ainsi, à son tour le cholestérol fixé aux bêta-glucanes ne peut franchir la barrière intestinale. (Belaid, 2016).

Depuis 2009, le groupe d'experts de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (AESAs), qui vérifie la véracité des allégations santé couramment utilisées, a reconnu que l'allégation « que le bêta-glucane d'avoine réduisait le cholestérol présent dans le sang » était véridique. Les bêta-glucanes augmenteraient l'activité des lipases, des enzymes digestives qui découpent les lipides et les empêchent d'être absorbés au niveau de l'intestin.

Ces fibres solubles se placeraient également autour du cholestérol et des sels sécrétés par le foie, pour les empêcher de former les structures, appelées micelles, qui leur permettent de franchir la barrière de l'intestin. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

Les meilleures sources de fibres solubles sont la farine d'avoine et le son d'avoine. L'avoine contient une quantité importante d'acides aminés. Ainsi, elle possède une action dépurative pour l'organisme, car elle favorise l'élimination des toxines.

Riche en fibres solubles, l'avoine faciliterait la digestion des aliments, le transit au niveau de l'intestin et éviterait donc les problèmes de constipation.

Le bêta-glucane d'avoine ralentit la hausse du taux de glycémie après un repas. De plus, avec un IG (index glycémique) moyen (de 60/65 environ), ce serait la céréale idéale du petit-déjeuner. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

Les flocons d'avoine ont aussi pour avantage de réduire la faim grâce à un indice élevé de satiété. De plus, pour 100g on trouve environ 350 calories, c'est moins que la plupart des céréales petit-déjeuner. C'est donc un aliment que l'on peut privilégier dans le cadre d'un régime.

L'avoine est aussi riche en antioxydants. Elle pourrait ainsi aider à assouplir et à la cicatrisation de la peau. Elle est donc particulièrement recommandée en cas de peaux sèches, déshydratées, voire même en cas d'eczéma. Astuce beauté : il est possible de réaliser un bain à l'eau d'avoine et/ou un masque avec des flocons d'avoine. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

Riche en vitamines : l'avoine est un trésor naturel de vitamine E, et de toutes les vitamines du groupe B qui regorgent de bienfaits (principalement la vitamine B1, B5, et B6).

Forte teneur en minéraux : comme le magnésium, le potassium, le calcium, et le zinc.

Riche en hydrate de carbone complexe : qui est indispensable à notre santé et au maintien d'une bonne qualité de vie. et sont lentement absorbés par le corps. Cela veut dire que l'avoine est facile à digérer et qu'elle nous procure une sensation de satiété, ce qui la rend parfaite pour suivre un régime. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

II-2. Utilisation de la graine d'avoine

• Alimentation humaine

L'utilisation de l'avoine dans l'alimentation est surtout d'origine anglo-saxonne ou Nord européen sous forme de flocon ou farine, des biscuits, et la préparation de certaines boissons alcoolisées.

Les produits d'avoine plus récents sont le lait d'avoine (un lait végétal), le son d'avoine recommandé dans le cadre de certains régimes amaigrissants.

• Alimentation bétails « animaux »

En fourrage, lorsque la plante est récoltée avant l'épiaison, elle constitue un bon aliment pour les ruminants. On peut la cultiver en mélange avec une légumineuse (comme la vesce), ce qui améliore sa teneur en protéines.

En grain, peut être utilisée en alimentation animale, mais il est moins appétits que le blé. L'avoine en grains était autrefois très utilisée pour l'alimentation des chevaux, à cause de son "pouvoir excitant" (dont l'origine n'est pas établie), qui était censé stimuler les animaux. Elle est encore utilisée

pour les chevaux de sport. Sa valeur énergétique est cependant bien moindre que celle du blé ou de l'orge. (Cherki S. ; Hadji H. 2018)

II-3. Transformation du grain d'avoine en farine

La transformation des céréales commence pendant les mois de récolte (juillet/août) après la réception des céréales. Après le séchage, les céréales sont stockées en silos climatisés pendant toute l'année. (Belaid, 2016)

A. Premier nettoyage :

Les céréales sont déversées en vrac ou reçues en sacs. Souvent il y a encore des impuretés, comme des brins de paille, des herbes, des cailloux, des céréales vides et rongées. Ces impuretés sont aspirées à l'aide d'un premier nettoyeur, une sorte d'aspirateur énorme. À l'arrivée, les céréales sont le plus souvent encore assez humides, avec un taux d'environ 18 à 20%.

B. Séchage :

Afin de pouvoir conserver les céréales sans risque de pourriture, la teneur en humidité ne pourra pas dépasser les 16%. C'est pourquoi il est nécessaire de sécher les céréales à l'aide d'air sec. Les céréales sont chauffées jusqu'à une température de 40°C au maximum, autrement la germination pourrait être annihilée. (Belaid, 2016).

C. Stockage :

Les céréales sont stockées dans des silos bien aérés. Chaque silo est équipé d'un thermomètre. Pendant les récoltes et les semaines qui suivent, la température est contrôlée et notée au quotidien. Au moment où les céréales ont atteint la condition requise. (Belaid, 2016)

D. Décorticage de l'avoine :

L'avoine est enveloppée par une pellicule qui ne s'est pas soudée à la graine et est très lisse, de sorte qu'on ne peut pas utiliser un système de frottement comme pour l'orge. En mettant l'avoine dans une sorte de centrifuge, la graine est détachée de la peau. Le lot d'avoine est assorti en trois classes de grandeur. Chaque classe est décortiquée séparément, ce qui permet un réglage plus raffiné des machines. Lors de décorticage l'avoine est détachée de sa pellicule. (Belaid, 2016)

E. Nettoyage :

Après un premier nettoyage, la poussière, les pailles, les herbes, etc. n'ont pas entièrement disparu. Pour obtenir des céréales propres, il faut les « nettoyer » par aspiration et tamisage. Il faut tout d'abord les séparer par densité, la paille et les pellicules pèsent moins lourd que les céréales et les cailloux sont plus lourds. Ensuite, il existe plusieurs tamis pour tamiser les parties qui sont trop petites ou trop grandes.

Derrière la machine de nettoyage se trouve une « trieuse » qui sépare les céréales rondes des herbes, comme la vesce, ou de petits bouts d'argile des céréales allongées. (Belaid, 2016)

F. Mouture :

Une fois l'avoine parfaitement propre, elle est prête pour la mouture. le grain d'avoine passe entre des gros cylindres métalliques. L'empilage de tamis qui suit permet de séparer les particules de semoules produites à chaque broyage selon leur grosseur.



Partie expérimentale

Objectif de la recherche

Sur le marché il existe une grande variété de fromages fondus, mais la plupart de ces fromages ne sont pas conseillés pour les raisons suivantes :

- Les fromages fondus sont fabriqués à partir du lait de vache qui contient du lactose (sucre), des matières grasses (acides gras saturés) et protéines (caséine) animales ,ainsi que des hormones et des antibiotiques : aucun de ces composants n'est indispensable à notre organisme, en plus, plus de 2/3 de la population mondiale ne peuvent pas digérer le lait de vache. (Seignalet J., 2004)
- Selon Codex Alimentarius, Le fromage fondu contient au minimum 22% de matière grasse.

Pour cela :

L'objectif de cette étude est l'essai d'élaboration et de formulation d'un fromage fondu diététique à base de lait de soja avec incorporation de la farine d'avoine.

Nous allons utiliser le lait de soja comme substitut partiel du lait de vache et la farine d'avoine comme substitut partiel de l'épaississeur, donc nous allons essayer de remplacer une partie de la poudre de lait et une partie de l'eau par le lait de soja, et nous allons diminuer la quantité de l'épaississeur (carraghénane) dans notre formule.

Cette étude est réalisée au niveau de la fromagerie Zerifi ainsi qu'au niveau du laboratoire de FSI. (La présentation de l'unité est illustrée dans l'annexe).

Le présent travail comporte quatre parties principales :

- 1- Extraction du lait de soja avec caractérisation physico chimique de ce dernier.
- 2- Formulation du fromage fondu à base de lait de soja à différents pourcentages (15%,20%,25%, 30%, 45%) afin de trouver le bon pourcentage pour la formule finale.
- 3- Incorporation de la farine d'avoine dans la formule finale du fromage fondu à base du lait de soja à différents taux (2%, 4% et 7%).
- 4- Contrôle de qualité des différentes matières premières et le suivi du fromage fondu obtenu.

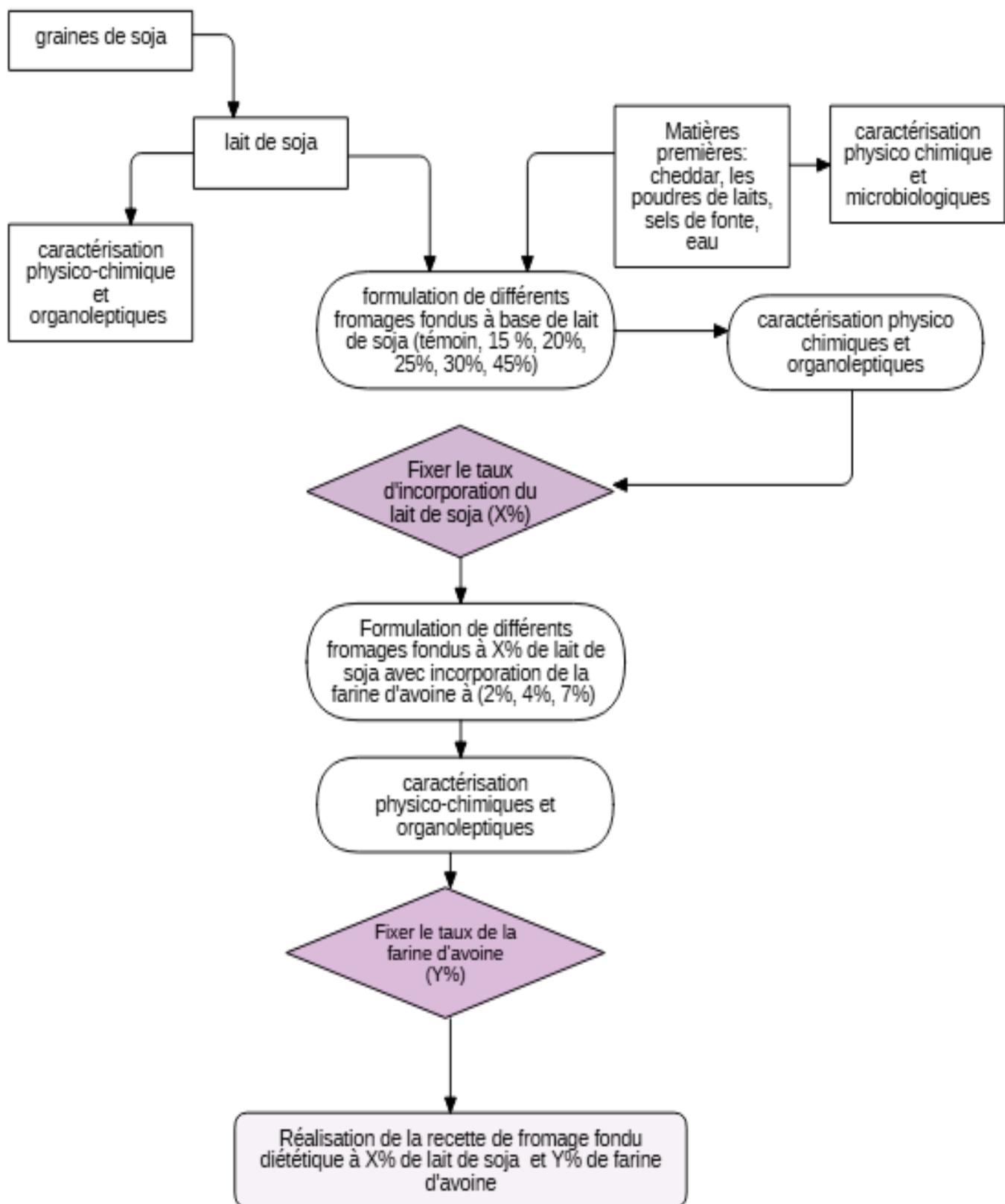


Figure 8 : Diagramme des étapes expérimentales.
 (Ce diagramme est réalisé par le logiciel STAR UML)

Chapitre IV :
Matériel et méthodes

I- Matériel

I-1. Matériel biologique

- ◆ **L'avoine en farine** : conditionnée par la société ETS SANTE VERTE industrie des produits naturels, qui se situe à BOUMERDES.
- ◆ **Graine de soja** : achetée au marché de Boudouaou.



Figure 9 : photo de graines de soja (original)

- ◆ **Lait de soja** : est un lait végétal, extrait à partir des graines de soja au niveau de laboratoire de la fromagerie de zerifi.

Les matières premières utilisées pour l'élaboration de différents fromages fondus sont :

- ◆ **Fromage cheddar** : Fourni par la fromagerie de zerifi, il est importé d'Irlande sous forme de bloc de 20 Kg et emballé dans du plastique puis dans des cartons.
- ◆ **Les poudres de lait** : il y'a deux types : poudre de lait de 26% de matière grasse et la poudre de lait de 0% de matière grasse. Les deux types de poudres sont fournis par la fromagerie de Zerifi, et ils sont mis dans des sacs de 25 kg.
- ◆ **Autres additifs** (sels de fonte, épaississants, conservateur, sel de table, correcteur d'acidité) : sont fournis par la fromagerie de Zerifi.
- ◆ **Eau** : l'eau de robinet qui est utilisée.

I-2. Matériel non biologique

Le matériel non biologique est représenté par la verrerie, les appareillages, et les réactifs (voir en annexes).

II- Extraction du lait de soja

La transformation des graines de soja comporte plusieurs étapes qui sont les suivantes :

II-1. Triage et lavage des graines

Cette étape consiste à l'élimination des impuretés qui se trouvent dans la matière première à utiliser. Tout d'abord les graines sont triées manuellement pour pouvoir séparer les déchets des bonnes graines. Et puis, elles sont lavées.

II-2. Trempage

Le trempage se fait à température de 25 °C pendant 8-10h.

Lors de cette étape, les graines de soja sont immergées sous un volume d'eau bien appropriée.

La méthode de trempage adoptée est celle de **DACOSTA (1990)**. Un rapport de volume / poids de 3/1, c'est à dire 3 L d'eau pour 1 kg de graines de soja.

Un égouttage survient toujours après le trempage. Il consiste à enlever les gouttes d'eaux persistantes sur la graine. L'action se résume à faire passer la graine lavée sur une passoire, qui retient les graines tout en écoulant l'eau.

II-3. Demi- cuisson

Les graines sont placées dans une marmite avec l'eau de trempage et mises à cuire à 55 °C pendant 15 minutes pour désactiver tous les enzymes.

II-4. Elimination du tégument de graine

Après plusieurs essais on a constaté que les téguments donnent un gout et autres caractéristiques organoleptiques indésirables. Après la demi- cuisson des graines, les téguments des graines se mettent à gonfler sous l'action de la température. Par le phénomène d'osmose, l'eau chaude le traverse et reste piégée entre la coque et l'embryon. Le refroidissement brusque de ce corps déformé entraîne la rupture cellulaire. Ceci est obtenu par un trempage à l'eau froide. La coque se détache et flotte au-dessus de l'eau et s'élimine très facilement.

II-5. Broyage

Les graines humides décortiquées sont broyées dans un mixeur avec l'ajout d'une petite quantité d'eau durant le mixage pour rendre la pâte homogène. Lorsque la structure grumeleuse des graines ne se distingue plus assez, le broyage est arrêté. Le broyat obtenu est ensuite additionné d'eau, puis mis à cuire. Le ratio utilisé lors du rajout d'eau poids /volume est de 2/7.

II-6. Extraction du lait de soja

L'extraction du lait de soja nécessite une cuisson. Cette dernière demande beaucoup de temps et d'attention. L'antitrypsine est thermolabile, plus la durée de cuisson est longue plus la plupart de cet inhibiteur de croissance est inactivé. L'ébullition doit durer entre 30 à 60 minutes pour que l'odeur d'haricot ne se sente plus. Le lait de soja produit des mousses avant l'ébullition. Pour prévenir des pertes importantes, le bouillon doit être remué à chaque fois qu'il commence à monter.

II-7. Elimination de l'Okara

Une filtration consiste à séparer le lait de soja de l'Okara (résidu solide). Le bouillon est versé lentement dans une passoire qui arrête le broyat et laisse passer le lait. Ce dernier est récupéré avec un récipient en acier inoxydable.

II-8. Pasteurisation

La pasteurisation est une opération permettant de préserver la qualité hygiénique d'un produit, tout en conservant sa propriété organoleptique.

Elle consiste à exposer le lait pendant 15 minutes à une température comprise entre 55 °C et 70 °C. Cela permet de détruire les germes pathogènes nuisibles.

III- Incorporation de lait de soja dans un fromage fondu

III-1. Objectif

L'objectif de cette partie est de fabriquer un fromage fondu qui contient moins de 13% de matière grasse (norme de la fromagerie zerifi) et un taux de matière grasse dans l'extrait sec environ 30%, avec substitution d'une partie de la poudre de lait avec le lait de soja.

Dans cette partie nous allons faire une série de recettes de fromage fondu à différents pourcentages de lait de soja (15%, 20%, 25%, 30% et 45%) et à partir des tests organoleptiques (gout, texture, odeur) et analyses physico chimiques, nous allons fixer le taux de lait de soja qu'on va l'incorporer dans notre recette de fromage fondu diététique.

III-2. Taux d'incorporation de lait de soja dans le fromage fondu

La formulation a été réalisée au niveau de laboratoire de la fromagerie Zerifi. les différentes étapes sont schématisées dans la Figure 10.

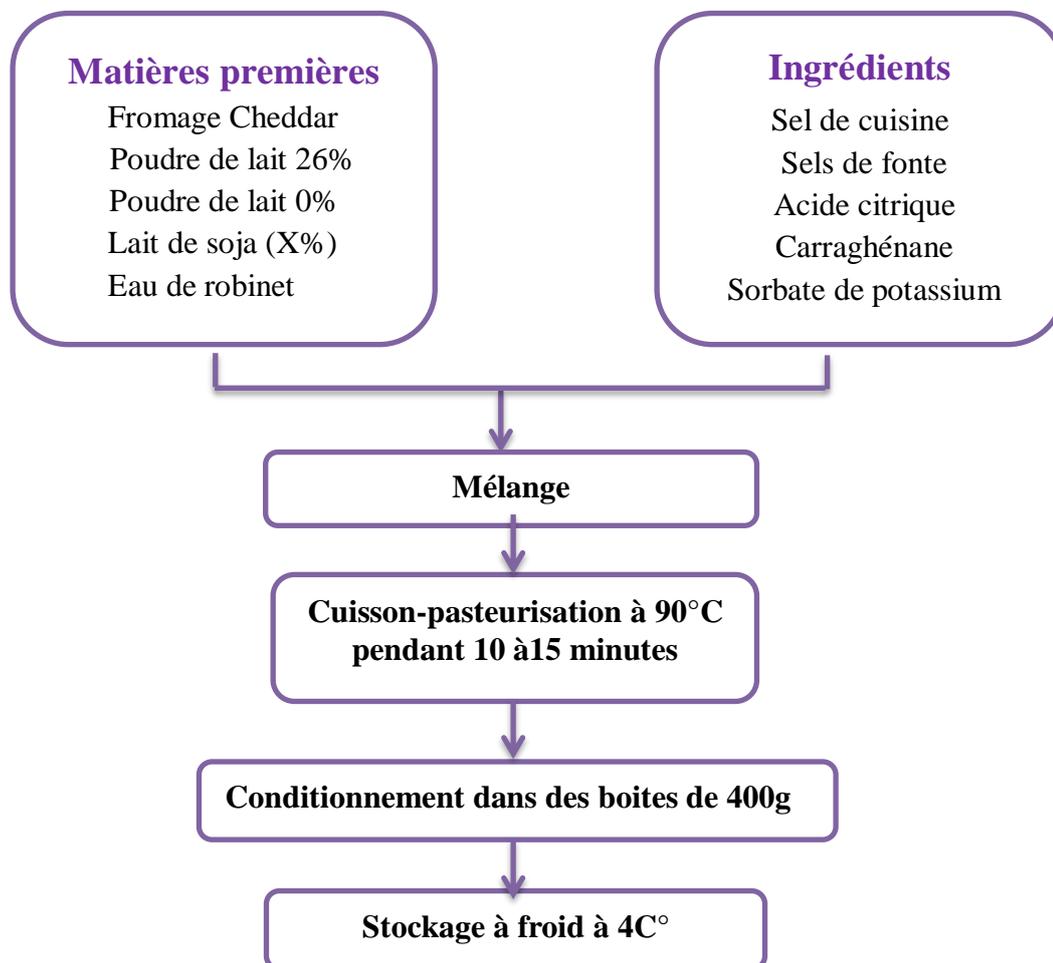


Figure 10: diagramme de formulation de fromage fondu à base de lait de soja au niveau de laboratoire

On a réalisé cinq recettes de fromage fondu à base de lait de soja.

La première à 15% (FS15), la deuxième à 20% (FS20), la troisième à 25% (FS25), la quatrième à 30% (FS30), et la cinquième à 45% (FS45) et un fromage fondu sans ajout de lait de soja (FF0) a été également formulé comme témoin.

La recette témoin (FU) proposée par l'unité (MG= 13%, MG/EST= 35%) a été modifiée et remplacée par une nouvelle recette témoin (FF) (MG<13% ; MG/EST varié entre 25 et 30%).

Les différentes recettes sont regroupées dans le Tableau 11.

Les quantités des ingrédients sont fixes pour toutes les recettes, et pour les matières premières on a fixé la quantité de fromage cheddar et la poudre de lait 0% et on a changé la quantité de poudre de lait 26% d'une manière à avoir un fromage fondu qui a un taux de matière grasse égale à celle du fromage fondu témoin.

Les quantités des différentes matières premières et ingrédients ne sont pas mentionnées, cela fait partie du secret professionnel de la fromagerie de Zerifi.

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des différentes recettes de fromages fondus à base de lait de soja

Ingrédients / Recettes	Fromages fondus témoins		Fromages fondus à base de lait de soja				
	FU	FF	FS15	FS20	FS25	FS30	FS45
Lait de soja (%)	0	0	15	20	25	30	45
Cheddar (%)	25	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
Poudre de lait 26% (%)	25	18.55	17.55	17.2	16.8	16.45	15.4
Poudre de lait 0% (%)	-	-	-	-	-	-	-
Sels de fonte (%)	-	-	-	-	-	-	-
Sel de cuisine (%)	-	-	-	-	-	-	-
Acide citrique (%)	-	-	-	-	-	-	-
Carraghinane (%)	-	-	-	-	-	-	-
Sorbate de potassium (%)	-	-	-	-	-	-	-
Eau (%)	50	56	42	37.35	32.75	28	14.15

IV- Formulation d'un fromage fondu à base de lait de soja incorporé de l'avoine en farine

IV-1. Objectif

La population Algérienne présente un déficit de consommation en fibres alimentaires. Ce qui peut causer des troubles digestives et d'autres anomalies intestinales. C'est dans ce contexte que s'insère notre étude qui vise un enrichissement de certain produit pauvre en fibre alimentaire en céréales qui peuvent apporter ce déficit.

Pour augmenter la qualité nutritionnelle de fromage fondu préparé à base de lait de soja nous avons incorporé la farine d'avoine dans notre fromage. Et Dans cette partie nous avons considéré la recette de fromage fondu à 30% de lait de soja (FS30) comme témoin et incorporer la farine d'avoine à différents taux (2%, 4%, 7%)

IV-2. Taux d'incorporation de l'avoine dans le fromage fondu

Les différentes étapes sont schématisées dans la Figure 11.

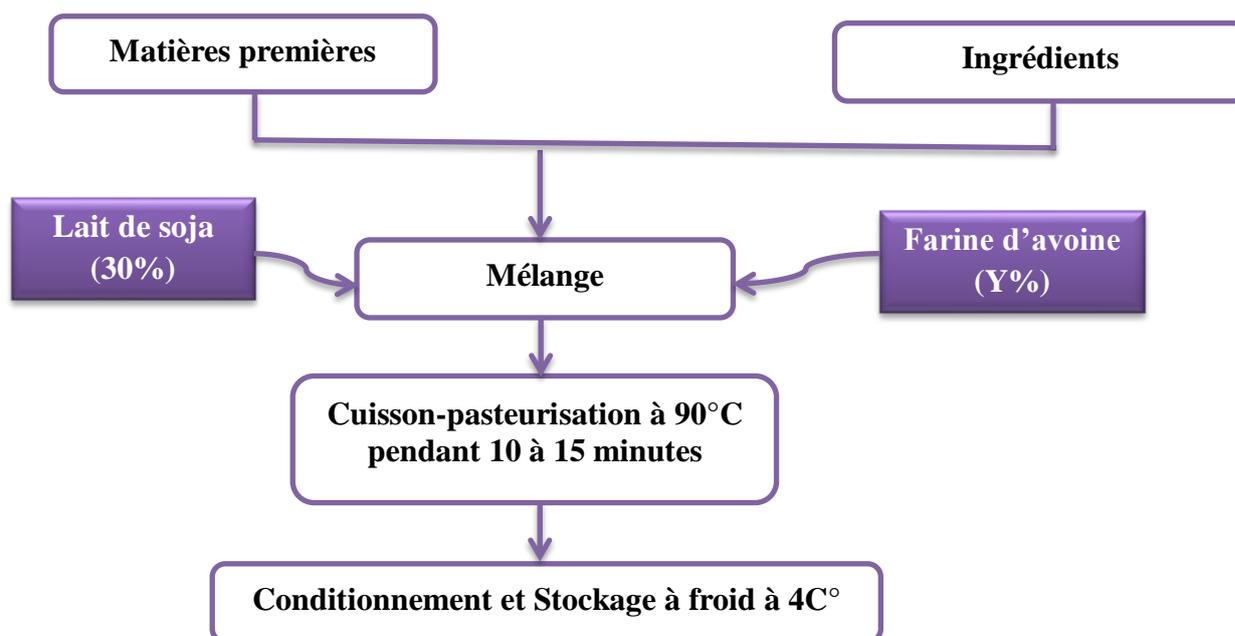


Figure 11: diagramme de formulation de fromage fondu à base de lait de soja et de la farine d'avoine au niveau de laboratoire.

Nous allons réaliser quatre recettes de fromage fondu :

La première à 2% de farine d'avoine (FSA2), la deuxième à 4% de farine d'avoine (FSA4), la troisième à 7% de farine d'avoine (FSA7), et un fromage fondu témoin sans ajout de la farine d'avoine (FSA0).

V- Méthodes d'analyses

V-1. Méthodes d'analyses des matières premières

V-1-1. Lait de soja

V-1-1-1. Analyses organoleptiques

Les analyses organoleptiques du lait de soja ont été faites par un panel de dégustateurs (Les étudiants en technologie alimentaire de Boumerdes et le personnel de la fromagerie).

- 1- **Aspect** : homogène, mousseux.
- 2- **Gout et saveur** : saveur caractéristique de soja
- 3- **Couleur** : blanche, crème.

V-1-1-2. Analyses physico-chimiques

A- Mesure de pH (AFNOR 1986)

Le pH par définition est la mesure de l'activité des ions H⁺ contenus dans une solution. La mesure du pH, renseigne sur l'acidité du lait.

Mode opératoire

- étalonner le pH mètre avec deux solutions tampons de pH=4 et pH=7.
- rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- plonger l'électrode dans un bécher contenant le lait à analyser et lire la valeur de pH stabilisée.

B- Détermination de la densité (AFNOR, 1986)

Principe :

La densité est définie comme étant le quotient d'un certain volume de lait sur un même volume d'eau, le rapport doit se faire à température et à pression constante. Elle est déterminée à l'aide d'un lactodensimètre.

Expression des résultats :

Les normes donnent la densité à 15°C. Mais si la température est différente de 15°C on adopte la correction suivante :

$$D = D_0 + 0,2 (20 - T)$$

- D₀ : densité lue sur le lactodensimètre.
D : densité réelle.
T : Température sur le lactodensimètre.

C- Mesure de la teneur en matière sèche totale (EST)

On entend par «matière sèche» du lait le produit résultant de la dessiccation du lait dans les conditions décrites par la norme (AFNOR, 1985).

Mode opératoire :

- Dans la capsule séchée et tarée, introduire à l'aide de la pipette 3g de lait.
- Introduire dans l'étuve réglée à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et l'y laisser 3 heures.
- Mettre ensuite la capsule dans le dessiccateur et laisser refroidir jusqu'à la température ambiante.
- On pèse en suite à l'aide d'une balance analytique le résidu.

Expression des résultats :

L'extrait sec total est donné par la formule suivante :

$$\text{EST} = 100\% - \text{H} (\%)$$

Où H (%) : teneur en eau (humidité)

La teneur en eau H (%) est donnée par la formule suivante :

$$\text{H}(\%) = [(m_1 - m_2) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

Où : m_0 : poids de la capsule vide.
 m_1 : poids de la capsule + l'échantillon avant étuvage.
 m_2 : poids de la capsule + l'échantillon après étuvage.

D- Détermination du taux de la matière grasse par la méthode acido-butyrométrique (Norme AFNOR, 1986)

Principe :

Le principe de cette méthode est basé sur la dissolution de la matière grasse à doser par l'acide sulfurique. Sous l'influence d'une force centrifuge et grâce à l'adjonction d'une faible quantité d'alcool isoamylique, la matière grasse se sépare en couche claire dont les graduations du butyromètre révèlent le taux.

Mode opératoire :

- Introduire dans le butyromètre de GERBER ; 10 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4).
- Ajouter 11ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette en l'écoulant à travers les parois pour éviter le mélange prématuré du lait avec l'acide.
- Ajouter 1ml d'alcool iso amylique.
- Fermer le butyromètre à l'aide d'un bouchon.
- Mélanger jusqu'à la dissolution totale du mélange.
- Centrifuger pendant 5 minutes à 1200 tours / min.

Expression des résultats :

Le résultat est exprimé en g/l et la lecture se fait directement sur le butyromètre.

$$\text{MG} = (\text{B} - \text{A})$$

Avec : **A** : est la lecture faite à l'extrémité inférieure de la colonne de matière grasse
B : est la lecture faite à l'extrémité supérieure de la colonne de matière grasse.

E- Détermination de l'acidité titrable (AFNOR, 1986).**Principe :**

Le principe consiste à mesurer la teneur en acide lactique d'un échantillon de 10ml du lait de soja. Elle est déterminée par titrage volumique avec une solution alcaline (NaOH 0.1N) en présence d'un indicateur coloré (phénophtaléine).

Mode opératoire :

- 10 ml de l'échantillon sont préparés dans un bêcher de 100 ml.
- Ajouter à la solution 0,3 ml de la solution de phénophtaléine à 1%.
- Titrer avec la soude (NaOH N/9) jusqu'au virage de couleur vers le rose de la solution qui doit persister pendant une dizaine de secondes.

Expression des résultats :

- L'acidité est exprimée en degré Dornic (°D) et donnée par la formule suivante :

$$AC = V \times 10 \text{ (°D)}$$

Où : V : volume de NaOH utilisé pour le titrage en ml

NB : un degré dornic équivaut à un nombre correspondant au dixième de ml de soude N/9 nécessaire pour neutraliser 10ml du lait.

V-1-2. Analyses physico-chimiques de fromage cheddar**V-1-2-1. Détermination du pH (AFNOR, 1986)**

Le même principe et méthode que le lait de soja, et la valeur du pH est lue directement sur le pH-mètre électronique

V-1-2-2. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre (AFNOR, 1986)**Principe :**

Pour déterminer la teneur en matières grasses, on procède tout d'abord à la dissolution des protéines du fromage par un mélange d'alcool iso-amylique et d'acide sulfurique, ensuite à une séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre à fromage et à la fin, on effectue la lecture sur l'échelle du butyromètre.

Mode opératoire :

Après préparation de l'échantillon, on pèse 3 g dans un godet adapté à un bouchon approprié et l'introduire dans la chambre du butyromètre puis on ferme le col par un bouchon. On ajoute l'acide sulfurique par l'ouverture de la tige jusqu'à l'immersion du fromage. Après avoir bouché l'ouverture, on place le butyromètre (le col en bas) dans un bain d'eau de température comprise entre 85°C et 90°C pendant 5 min. On agite énergiquement pendant 10 secondes.

On répète l'opération de chauffage et agitation jusqu'à dissolution de tous les composants du fromage sauf la matière grasse. On retire le butyromètre du bain-marie et on agite puis on ajoute 1 ml de l'alcool iso-amylque et on complète par l'acide sulfurique (H₂SO₄) jusqu'à un volume de 35 ml de la graduation et on centrifuge pendant 5 min.

La lecture :

La lecture se fait directement sur l'échelle du butyromètre et la teneur en matière grasses est exprimée en pourcentage de masse du produit fini « g » pour 100g de fromage.

V-1-2-3. Détermination de l'extrait sec total (EST)

Principe : L'extrait sec total est déterminé par la méthode d'étuvage qui est basée sur la dessiccation complète du produit avec l'élimination de la totalité d'eau présent dans l'échantillon.

Mode opératoire :

Une prise d'essai (fromage cheddar) de 3 g est étalée sur toute la surface d'une capsule en aluminium préalablement tarée, puis introduite dans le dessiccateur.

Expression des résultats :

La matière sèche se calcule par la formule suivante :

$$\text{MS (\%)} = 100 - \text{Humidité}$$

V-1-2-4. Détermination de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS) (AFNOR, 1986)**Principe :**

La teneur en matière grasse dans la matière sèche correspond au pourcentage en masse de la matière grasse contenue dans la matière sèche du fromage. La teneur en (MG/MS) est obtenue par l'équation suivante :

$$\text{MG/MS} = \text{MG (\%)} / \text{MS (\%)} \times 100$$

MG : matière grasse

MS : matière sèche

V-1-3. Analyses physico-chimiques des poudres de lait (0%, 26%)**V-1-3-1. Mesure de PH (AFNOR, 1986)**

On introduit dans un bécher 10g des poudres de lait (0% et 26%) avec 100 ml d'eau distillée qu'on mélange sous un agitateur magnétique. Le mélange obtenu doit être laissé au repos pendant une heure, puis on immerge les électrodes reliées au pH-mètre. La lecture se fait directement sur l'écran du pH-mètre.

V-1-3-2. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode Acido-butyromètre (AFNOR, 1986)

- Dans un bécher, on introduit 10g de poudre de lait dans 100ml l'eau distillée, après agitation le mélange est laissé au repos une heure.
- On verse dans le butyromètre 10ml d'acide sulfurique puis à l'aide d'une pipette on ajoute 11ml de lait reconstitué on mettant la pointe de la pipette en contact avec la base du col de butyromètre et on laissant couler le lait reconstitué sur l'acide.
- En suite on ajoute 1ml d'alcool iso amylique puis fermer le butyromètre à l'aide d'un bouchon.
- Bien agiter le mélange jusqu'à dissolution total du lait.
- Introduire le butyromètre dans la centrifugeuse.
- La lecture se fait directement sur le butyromètre.

V-1-3-3. Détermination du l'extrait sec total

L'extrait sec et l'humidité des poudres de lait sont déterminés en suivant le même protocole expérimental que le cheddar.

V-1-3-4. Détermination de l'acidité titrable

Même principe que le lait de soja.

➤ Technique :

Dissoudre 10 gr de la poudre du lait dans 100 ml d'eau distillée, à l'aide d'un agitateur, laisser reposer la solution pendant 1 heure.

Pipeter 10 ml du lait reconstitué à l'aide d'une pipette et les introduire dans un bécher, ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine, titrer avec une solution de NaOH N/9, jusqu'au virage de rose pale.

➤ Lecture : Lire directement sur la burette.

La teneur en acidité titrable est exprimée en D°, selon la formule suivante :

$$\text{Acidité en D}^\circ = V \cdot 10$$

V-1-4. L'eau de procès

V-1-4-1. Détermination du pH (AFNOR, 1986)

Même protocole que le lait.

V-1-4-2. Détermination des titres alcalimétriques TA et TAC (AFNOR 1986)

A-titres alcalimétriques TA :

Principe :

Il est déterminé par la neutralisation d'un certain volume d'eau par l'acide sulfurique en présence de phénolphtaléine à 1%.

Mode opératoire :

On introduit dans un bécher 100ml d'eau robinet et deux gouttes de phénolphtaléine à 1%.

Lecture :

- le pH de solution < 8,3 : le TA est nul (la solution ne change pas de couleur)
- le pH de solution >8,3 (la solution est colorée en rose) ; dans ce cas le TA est déterminé par l'addition d'acide sulfurique 0,1 N dans la solution jusqu'à sa décoloration.

Le TA est exprimé par la relation suivante :

$$\text{TA (}^\circ\text{F)} = V_1 \times 5$$

Avec : **TA** : titre alcalimétrique.
°F : degré français
V₁ : le volume de H₂SO₄ additionné pour le titrage.

B- Titre alcalimétrique complet TAC :**Principe :**

Basé sur la neutralisation de l'eau par l'addition d'acide sulfurique en présence de l'indicateur coloré méthyle-orangé.

Mode opératoire :

Introduire dans un bécher 100 ml d'eau à analyser, puis ajouter 3 gouttes de méthyle-orangé et après de l'acide sulfurique 0,1N jusqu'au changement de couleur au jaune orangé.

Le TAC est exprimé par la formule suivante :

$$\text{TAC (}^\circ\text{F)} = (V_2 - 0,1) \times 5$$

Avec **V₂** : le volume de H₂SO₄ additionné pour le titrage.

V-1-4-3. Détermination du titre Hydrométrique TH (AFNOR, 1986)

Principe : La dureté de l'eau détermine la concentration en sels de calcium et magnésium exprimée par mg/l. Le titre hydrométrique est donné par la formule suivante :

$$\text{TH (mg)} = (\text{Ca}^{+2}) + (\text{Mg}^{+2})$$

Mode opératoire :

On met dans un bécher 50ml de l'eau de robinet, puis on ajoute 2ml de solution tampon et 2 à 4 gouttes du noir eriochrome trituré, le mélange se colore en violet foncé. A la fin, on titre la solution avec une solution d'EDTA à 0,01mol/l jusqu'au virage au bleu foncé. Le titre hydrométrique est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{TH (mg/ml)} = 4v/10$$

v : volume de la solution d'EDTA à 0,01 mol/l utilisée pour le titrage.

V-1-4-4. Dosage des ions chlore (chlorure)

La concentration en ions chlore de l'eau de procès est dosée en milieu neutre par une solution de nitrate d'argent, en présence de bichromate de potassium à 5%. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une teinte rouge brique.

➤ Mode opératoire

Introduire un volume d'eau de process dans un bécher et ajouter 2,5 de bicarbonate de potassium. La solution colorée en jaune est titrée par une solution de nitrate d'argent à 0,1 N jusqu'au virage rouge brique.

$$Cl^- = M(n-b)$$

Avec : Cl⁻: chlore

M : la masse molaire du chlore

n : le volume d'AgNO₃ utilisé pour le titrage ;

b : le volume d'AgNO₃ utilisé pour le virage vers la teinte rouge brique.

V-1-4-5. Analyses microbiologique de l'eau de procès

Ces analyses sont réalisées par le laboratoire de contrôle de qualité de la fromagerie de Zerrifi.

V-1-5. Détermination du pH des sels de fonte

- On introduit 1g de sel de fonte dans 100 ml d'eau.
- Agitation jusqu'à dissolution puis on plonge les électrodes du pH mètre dans la solution.
- La lecture se fait directement sur l'écran du pH-mètre.

V-1-6. Détermination de l'humidité de la farine d'avoine

L'humidité de la farine a été déterminée par le même principe que les poudres de lait.

V-2. Méthodes d'analyses de produit fini**V-2-1. Les analyses physico chimiques****V-2-1-1. Détermination de pH**

Même méthode et même principe que le fromage cheddar.

V-2-1-2. Détermination de la matière grasse (MG) par la méthode acido-butyromètre

Même méthode et même principe que le fromage cheddar.

V-2-1-3. Détermination de l'extrait sec total (EST)

Même méthode et même principe que le fromage cheddar.

V-2-1-4. Détermination de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS)

Même méthode et même principe que le fromage cheddar.

V-2-1-5. Détermination de la teneur en protéines par la méthode de kjeldahl

Le principe de cette méthode est basé sur deux étapes : la minéralisation de l'échantillon qui est effectuée par chauffage avec de l'acide sulfurique concentré, en présence d'un catalyseur et suivi d'une alcalinisation des produits de la réaction puis d'une distillation de l'ammoniac libéré qui est titré par une solution d'acide sulfurique dilué en présence d'acide borique.

➤ la minéralisation :

- Peser 1g de l'échantillon et l'introduire dans le matras.
- Ajouter 2g de catalyseur et 20 ml d'acide sulfurique concentré. ($d=1,83$), des billes de verre. Placer les matras dans le dispositif de chauffage.
- Laisser minéraliser pendant 4 heures. Lorsque le liquide devient limpide, on laisse refroidir pendant 30 minutes.

➤ la distillation :

- Mettre le liquide dans la fiole.
- Diluer par addition de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Prendre 20 ml de cette solution, et l'introduire dans le matras.
- Dans un bécher, introduire 20 ml d'acide borique à 4%.
- Mesurer le pH de l'acide borique. (PH initial).
- Placer le matras et le bécher dans l'appareil de distillation.

De la soude à 33% et de l'eau distillée sont aspirées par l'appareil, à l'aide des sondes spéciales, durant la distillation. Après la distillation, on titre l'acide borique par de l'acide sulfurique (0,1 N) jusqu'à ce que le pH revienne au pH initial.

La teneur en azote totale, exprimée en gramme d'azote pour 100 grammes de lait est égale à :

$$N_t \text{ (g/l)} = V_1 \cdot 0,0014 \cdot 100 / E$$

V_1 : le volume en millimètre de la solution d'acide sulfurique utilisée pour la neutralisation de l'ammoniac.

E : la masse en gramme de la prise d'essai.

Par convention, la teneur en azote protéique est obtenue en multipliant le chiffre de l'azote total (en gramme par 100 grammes de l'échantillon) par le coefficient 6,38.

$$\text{Protéine (\%)} = \text{teneur en azote total} \times 6,38$$

V-2-2. Les analyses sensorielles

V-2-2-1. Analyse sensorielle de fromage fondu à base de lait de soja

L'analyse sensorielle est la technique qui utilise les sens de l'homme pour connaître et décrire les caractéristiques organoleptiques d'un produit. Il s'agit bien d'analyser le produit seul en utilisant un sujet humain comme instrument de mesure. On attend de cet instrument toutes les qualités requises d'un autre instrument : fidélité, répétabilité, reproductibilité, justesse, et exactitude.

L'évaluation sensorielle des fromages fondus préparés est réalisée par un test de dégustation et est basé sur une étude statistique.

Ce test est effectué sur les 06 fromages qui sont codés comme suit :

- A ———> FF fromage fondu témoin.
- B ———> FS15 fromage fondu à 15% de lait de soja.
- C ———> FS20 fromage fondu à 20% de lait de soja.
- D ———> FS25 fromage fondu à 25% de lait de soja.
- E ———> FS30 fromage fondu à 30% de lait de soja.
- F ———> FS45 fromage fondu à 45% de lait de soja.

Dans ce test, on se sert d'une échelle de 6 niveaux allant de 1 à 6. Pour cela, les échantillons préparés sont présentés au panel de dégustation constitué de 6 sujets amateurs. Il s'agit des étudiants de la faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université de Boumerdes, ainsi que un médecin, et un ingénieur en technologie alimentaire (ancien responsable du laboratoire de LFB).

Ce test sensoriel a été porté sur les critères : gout, couleur et texture.

V-2-2-2. Analyse sensorielle de fromage fondu à base de lait de soja et farine d'avoine

L'examen organoleptique est essentiel pour apprécier les qualités de tous les produits, et s'avère le critère le plus fiable.

- L'analyse organoleptique est faite par un test de dégustation au biais d'un jury formé de 12 personnes.

Pour cela un formulaire a été proposé pour l'examen organoleptique ou' la distribution des notes est effectuée selon une échelle de 1 à 4 associés à trois paramètres : Couleur, Texture, et Goût.

Les notes sont effectuées selon une échelle de 1 à 4

- 4 : Très bon
- 3 : Bon
- 2: Moyen.
- 1 : Mauvais.

Ce test de dégustation est effectué sur les 04 fromages qui sont codés comme suit :

- A ———> **FSA0** fromage fondu diététique à 0% de farine d'avoine.
- B ———> **FSA2** fromage fondu diététique à 2% de farine d'avoine.
- C ———> **FSA4** fromage fondu diététique à 4% de farine d'avoine.
- D ———> **FSA7** fromage fondu diététique à 7% de farine d'avoine.

Chapitre V :
Résultats et discussion

I- Résultats des analyses des matières premières

I-1. Résultats des analyses de lait de soja

I-1-1. Résultats des analyses organoleptiques

Les résultats issus de la séance de dégustation ont montrés que le lait de soja a présenté une couleur blanche jaunâtre (60%) et blanche crème (40%) selon les dégustateurs avec une odeur de légumineuse (70%).

Il a été trouvé très fluide et homogène (65%), sans dépôt (58%), avec une absence de crème surnageant.

Ces différents résultats sont regroupés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats des analyses organoleptiques de lait de soja

Aspect	Gout	Odeur	Couleur
Fluide et homogène	Caractéristique de soja	Odeur de légumineuse	Blanc jaunâtre

I-1-2. Résultats des analyses physico chimiques et interprétations

Tableau 13 : Résultats des analyses physico chimiques du lait de soja

Analyses	Résultats	Norme OMS
PH	6.7 ± 0.17	6.5 - 7
Acidité (°D)	10.67 ± 0.58	< 18
Matière grasse MG (%)	1.3 ± 0.17	1 - 2
Extrait sec Total EST (%)	7.69 ± 1.12	8 - 10
Extrait sec dégraissé ESD (%)	6.39 ± 0.95	7 - 8
Humidité (%)	92.31 ± 1.12	-
Densité	1.009	-

Les résultats obtenus sont en totalité conformes aux normes fixées par l'OMS.

- **pH et Humidité :** ils sont conformes à la norme donnée par l'OMS ; ils nous renseignent sur l'état de fraîcheur de lait de soja préparé.
- **Densité :** la valeur trouvée (1.009) est proche à celle du lait de vache (1.032). Et concernant la conformité aux normes nous n'avant pas trouvées des normes pour la densité du lait de soja.
- **Matières grasses :** le taux de matière grasse contenue dans le lait de soja préparé est conforme à la norme OMS. La valeur de MG du lait de soja est de 1,3%, elle est faible par rapport à celle de lait de vache (3,4- 4,4%).

- **EST et ESD** : les valeurs trouvées pour ces indices sont respectivement : 7.69 et 6,39 elles sont inférieure à celles fixées par la norme OMS, cela peut s'expliquer par la quantité d'eau ajoutée lors de l'extraction de ce lait.

I-2. Résultats des analyses physico chimiques du cheddar

Tableau 14 : Résultats des analyses physico chimiques de fromage cheddar

Analyses	Résultats	Norme (AFNOR 1986)
PH	5.45 ± 0.1	5.1-5.5
Matière grasse MG (%)	35 ± 0.2	30-38%
Extrait sec Total EST (%)	61.94 ± 1.2	61-69%
Humidité (%)	38.06 ± 1.2	Max 39%
MG / EST	56.5 ± 1	Min 50

D'après les résultats obtenus, on observe que tous les paramètres de qualité étudiés (PH, MG, EST, humidité et MG/EST) sont conformes à la norme AFNOR. Et à partir de ces résultats on peut conclure que le fromage cheddar qui sera utilisé dans notre formulation est de bonne qualité et il est stocké dans des bonnes conditions.

I-3. Résultats des analyses physico chimiques des poudres de lait

Tableau 15 : Résultats des analyses physico chimiques des poudres de lait

Analyses	Poudre de lait de 0% de matière grasse	Poudre de lait de 26% de matière grasse	Norme (AFNOR 1986)
pH	6.45	6.50	6.-6.75
Acidité	16.5	15	15-17
MG (%)	0	26	26%
EST (%)	95.16	97.71	Min 96%
Humidité (%)	3.83	2.29	Max 4%

Les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur les poudres de lait montrent que :

- Le pourcentage de la matière grasse déterminé par la méthode Acido-butyromètre permis d'obtenir des résultats conformes aux normes de AFNOR, cela indique que la standardisation de la matière grasse a été bien menée et s'explique par un bon écrémage du lait lors de sa fabrication et des bonnes conditions de stockage.
- L'acidité nous renseigne sur le degré de fraîcheur du lait avant le séchage et sur sa richesse en diverses substances (protéines, phosphore, glucides...), Les résultats obtenus 16.5 et 15°D sont conformes aux normes.

- Les résultats montrent que le taux d'humidité est inférieur à 4%, ce qui est conforme aux normes exigées par **AFNOR**, cette conformité est due à une bonne dessiccation du lait.

I-4. Résultats des analyses de l'eau de procès

I-4-1. Résultats des analyses physico chimiques de l'eau de procès

Tableau 16 : Résultats des analyses physico chimiques de l'eau de procès

Analyses	Résultats	Norme
PH	6.61	6.5-9
TA (mg/l en CaCO ₃)	0	0
TAC (mg/l en CaCO ₃)	400	500
TH (mg/l en CaCO ₃)	200	200
Cl (mg/l)	216.55	500

À partir des résultats du tableau 16, nous remarquons que :

- ◆ l'eau analysée est caractérisée par un pH qui est de 6.61, ces résultats sont conformes aux normes établies par **AFNOR**, ce qui va donner une bonne neutralité à l'eau de procès à une température ambiante.
En effet, l'acidité de l'eau provoque une corrosion des tuyauteries métalliques conduisant à une augmentation des concentrations de certaines substances métalliques, et la basicité de l'eau entraîne un dépôt de calcaire dans les canalisations et aussi une diminution de l'efficacité du processus de désinfection au chlore (**Claisse et al., 2006**).
- ◆ Le TA et le TAC sont de 0°F et 400 (mg/l en CaCO₃) respectivement, donc ils sont conformes aux valeurs exigées par **AFNOR**, cela est expliqué par le fait que cette eau est une eau naturelle qui n'a subi aucun traitement (l'unité utilise une eau de source qui se situe à côté de la société).
- ◆ Pour le TH est conforme aux normes, cela s'explique par l'efficacité de l'adoucissement.

I-4-2. Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de procès

Tableau 17 : Résultats des analyses microbiologiques de l'eau de procès

Germes recherchés	Unité1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 5	Valeur indicatif	Normes
E.coli 44°C	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS/250ml	NA6822
Enterocoques 37 °c	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS/250ml	NA6820
Spores anaérobies sulfito-reductrices 37°C	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS/250ml	NA6831
Coliformes totaux 20-25°C	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS/250ml	NA6822
Pseudomonas aéruginosa	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS/250ml	NA6835

Les analyses microbiologiques de l'eau de procès montrent que l'eau utilisée est de bonne qualité microbiologique avec absence total de tous les germes pathogènes, cela permet de donner un lait reconstitué de bonne qualité bactériologique.

Ainsi, ces résultats témoignent le degré de la maîtrise des pratiques d'hygiène et de sécurité, qui permet de garantir la qualité du produit par l'utilisation d'une eau de bonne qualité bactériologique, ainsi pour éviter toute contamination qui met en danger la santé du consommateur.

I-5. Résultats des analyses des sels de fonte

Tableau 18 : Résultats des analyses des sels de fontes (type 3392)

Analyse	Résultats	Norme
PH	9.11 ± 0.1	9.2

Les résultats de détermination de PH des sels de fonte est de 9.11, et cette valeur est conforme à la norme fixée par AFNOR.

I-6. Résultats des analyses de la farine d'avoine

Tableau 19 : Résultats des analyses de la farine d'avoine

Analyse	Résultats	Norme Codex Alimentarius
Humidité (%)	8.29	< 16%

Godon et Willm. (1998) définissent la teneur en eau comme étant la quantité en grammes d'eau rapportée à 100 g de substance sèche (teneur en eau en % MS). Elle nous permet donc de ramener tous nos résultats à une même échelle de grandeur à savoir la matière sèche.

Le dosage de l'humidité permet de statuer sur les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage des aliments. C'est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques notamment la prolifération des microorganismes (**Feillet**, 2000).

La farine d'avoine sur laquelle nous avons travaillé présente une humidité de 8.29% (tableau 18), ceci implique que nos échantillons ont une teneur en eau normale et dans les normes.

II- Résultats des analyses des fromages fondus à base de lait de soja

II-1. Résultats des analyses physico chimiques des fromages fondus à base de lait de soja

Les résultats des analyses physico-chimiques sont regroupés dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Résultats des analyses physico-chimiques des fromages fondu à base de lait de soja

Produit	FU	FF	FS15	FS20	FS25	FS30	FS45	Norme AFNOR
Analyses								
pH	5.80	5.70	5.76	5.78	5.80	5.82	5.85	5.6-5.85
MG (%)	13	11	10.5	10.63	10.75	10.88	11.13	-
EST (%)	37.14	36.17	36.16	36.19	36.20	36.20	36.22	Min 31 %*
MG /EST	35	30.41	29.04	29.37	29.70	30.06	30.73	25-30%*
protéines	-	11.17	11.47	11.57	11.65	11.74	12.03	10-17

* : pour ces deux paramètres nous allons suivis la norme Codex Alimentarius.

La variation de différents paramètres de qualité en fonction du taux d'incorporation de lait de soja, est donnée par les histogrammes suivants :

➤ Variation de pH :

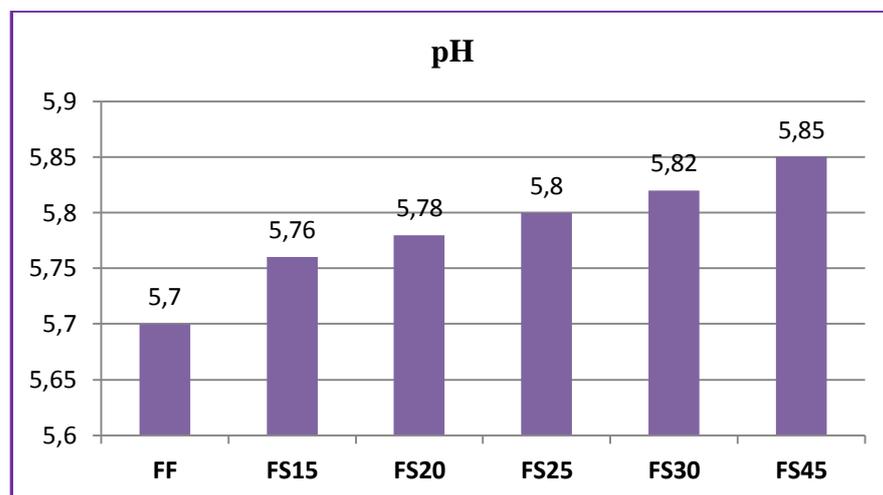


Figure 12 : Variation du pH en fonction du taux d'incorporation de lait de soja.

La valeur du pH des recettes élaborées variée de 5.70 à 5.85, et ces valeurs trouvées sont incluses dans l'intervalle de la norme AFNOR qui est 5.6-5.85.

D'après la figure 12, nous remarquons une augmentation de la valeur du pH en fonction du taux d'incorporation de lait de soja, par exemple pour le fromage FF (0% lait de soja) le pH=5.7 et pour le fromage FS45 (45% lait de soja) le pH = 5.85.

On a ajouté dans notre fromage le lait de soja qui a un pH de 6.5, automatiquement la moyenne des pH des matières premières augmente avec l'augmentation de la quantité de lait de soja.

➤ **Variation de la matière grasse (MG)**

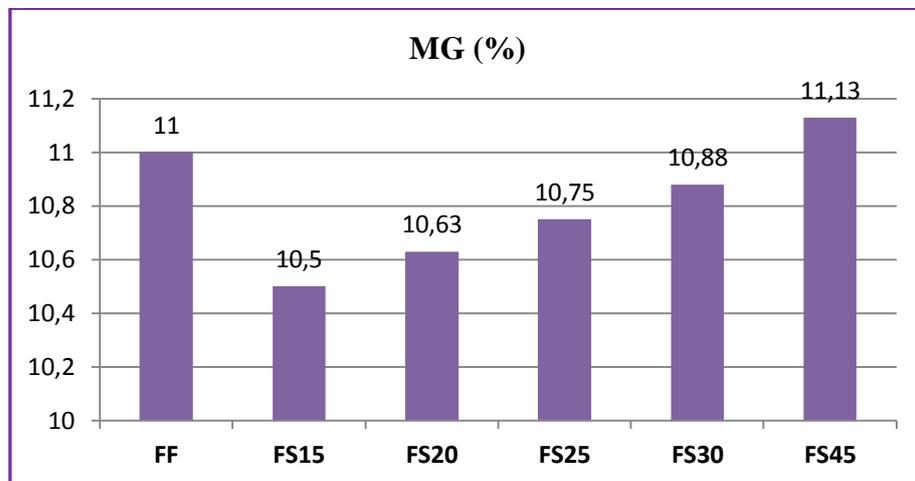


Figure 13 : Variation de la teneur en matière grasse en fonction du taux d'incorporation de lait de soja.

D'après la figure 13, on remarque une légère augmentation (de 0.13) de la teneur en matière grasse en fonction de taux d'incorporation de lait de soja, ce dernier contient environ 1.3% de matière grasse et cette valeur influence légèrement sur le produit fini.

Ces valeurs trouvées varient de 10.5 à 11.13% qui ne sont pas loin de la valeur cible qui est 11%.

➤ **Variation de la teneur en extrait sec total (EST) :**

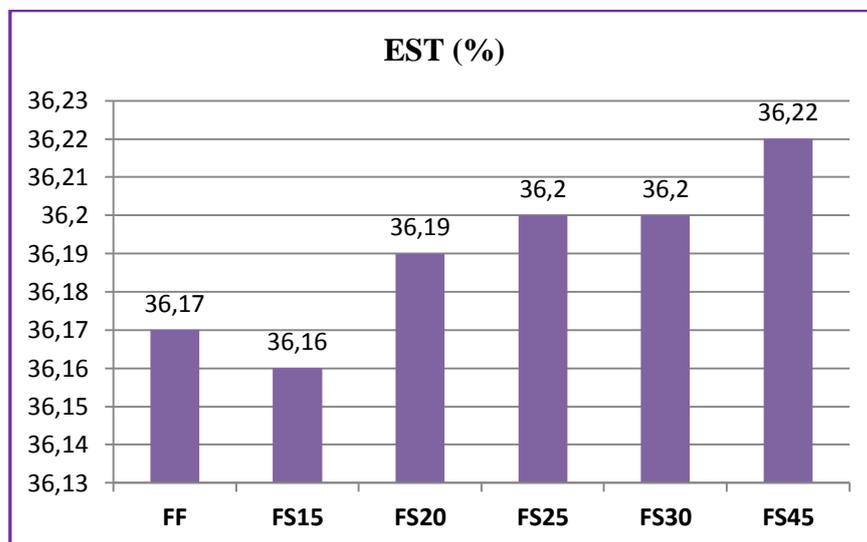


Figure 14 : Variation de la teneur en extrait sec total (EST) en fonction de taux d'incorporation de lait de soja

D'après la figure 14, l'augmentation de l'EST varie de 36.16 à 36.22% (de l'ordre de 0.06) n'est pas significative (si on arrondit les chiffres on peut dire qu'il n'y a pas une augmentation).

L'augmentation de taux d'incorporation de lait de soja (rappelons que le lait de soja contient environ 8% d'EST) n'a aucun effet sur la teneur en EST puisque on a diminué la quantité de la poudre de lait 26% dans les recettes pour atteindre une matière grasse de 11%.

➤ **Variation de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS)**

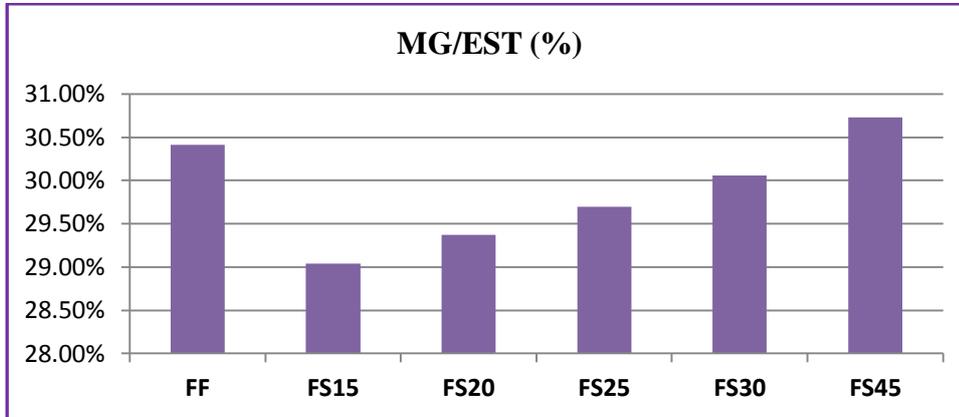


Figure 15 : Variation de la teneur en matière grasse dans la matière sèche (MG/MS).

La variation de la teneur en matière grasse dans la matière sèche change en fonction de la teneur MG et en fonction de l'EST.

D'après le tableau 20, on constate que les valeurs de MG/EST sont conformes à la norme codex alimentarius qui exige que lorsque le fromage fondu a un EST minimum 31% il faut que la teneur de MG/EST soit au maximum 30%.

Dans notre cas, d'après la figure 15 ; on remarque une augmentation de la teneur en matière grasse dans la matière sèche cela peut être expliqué par la légère augmentation de la teneur en matière grasse en fonction de l'augmentation de taux d'incorporation de lait de soja.

➤ **Variation de la teneur en protéines**

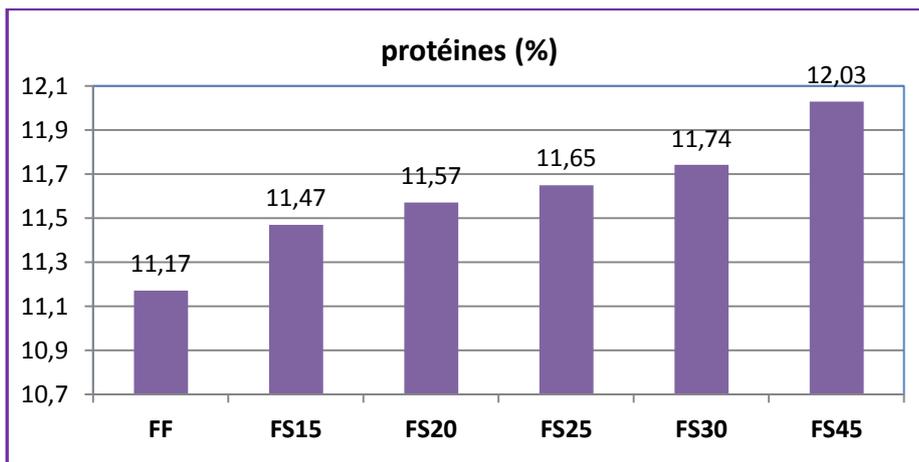


Figure 16 : Variation de la teneur en protéine en fonction de taux d'incorporation de lait de soja.

Les valeurs de la teneur en protéines dans les fromages fondus fabriqués sont entre 11 et 12% et sont conformes à la norme AFNOR.

D'après la figure 16, on remarque une augmentation de la teneur en protéine en fonction de taux d'incorporation de lait de soja cela peut être expliqué par la richesse du lait de soja en protéine d'environ 6%.

II-2. Résultats de l'analyse sensorielle des fromages fondus à base de lait de soja

Les résultats des analyses organoleptiques sont regroupés dans le tableau 21.

Nous remarquons qu'il existe des réponses ex-aequo, nous devons classer ces résultats de manière à ce que la somme des rangs soit la même pour tous les sujets.

Tableau 21 : Résultats des analyses organoleptiques des fromages à base de lait de soja.

Produit sujet	Gout						Couleur						Texture					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
1	6	6	5	5	5	3	6	6	6	5	5	2	5	6	6	5	5	5
2	6	5	4	5	4	3	6	5	6	6	4	3	6	5	5	5	5	4
3	5	6	6	5	5	2	5	6	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4
4	6	6	6	4	4	4	6	5	5	5	4	4	6	5	6	5	4	4
5	6	5	4	4	3	3	5	5	4	3	3	2	5	5	5	5	4	4
6	5	5	5	4	4	3	6	5	5	5	6	4	5	6	6	5	5	5
7	6	6	5	5	4	4	5	6	5	6	5	5	6	5	5	4	5	4
8	6	5	5	5	4	4	6	6	5	5	6	5	5	6	4	5	5	5

La somme des rangs est égale à 21, les rangs ont été déterminés à partir des scores donnés par les panélistes.

La somme des rangs par produit et par l'ensemble des sujets a été calculée. Les résultats sont consignés sur le tableau 22 pour le gout, sur le tableau 23 pour la couleur et sur le tableau 24 pour la texture.

Tableau 22 : Résultats de classement du critère gout.

Sujets	produits						Somme
	A	B	C	D	E	F	
1	1,5	1,5	4	4	4	6	21
2	1	2,5	4,5	2,5	4,5	6	21
3	4	1,5	1,5	4	4	6	21
4	2	2	2	5	5	5	21
5	1	2	3,5	3,5	5,5	5,5	21
6	2	2	2	5	5	5	21
7	1,5	1,5	3,5	3,5	5,5	5,5	21
8	1	3	3	3	5,5	5,5	21
Σ rangs	14	16	24	30,5	39	44,5	168

Tableau 23 : Résultats de classement du critère couleur.

Sujets	produits						Somme
	A	B	C	D	E	F	
1	2	2	2	5	5	5	21
2	2	4	2	2	5	6	21
3	2,5	1	2,5	5	5	5	21
4	1	3	3	3	5,5	5,5	21
5	1,5	1,5	3	4,5	4,5	6	21
6	1,5	4	4	4	1,5	6	21
7	4,5	1,5	4,5	1,5	4,5	4,5	21
8	2	2	5	5	2	5	21
Σ rangs	17	19	26	30	33	43	168

Tableau 24 : résultats de classement du critère texture.

Sujets	produits						Somme
	A	B	C	D	E	F	
1	4,5	1,5	1,5	4,5	4,5	4,5	21
2	1	3,5	3,5	3,5	3,5	6	21
3	2	2	2	5	5	5	21
4	1,5	3,5	1,5	3,5	5,5	5,5	21
5	2,5	2,5	2,5	2,5	5,5	5,5	21
6	4,5	1,5	1,5	4,5	4,5	4,5	21
7	1	3	3	5,5	3	5,5	21
8	3,5	1	6	3,5	3,5	3,5	21
Σ rangs	20,5	18,5	21,5	32,5	35	40	168

Interprétation statistique des résultats (Test de Freidmen)

L'interprétation statistique des résultats s'inspire du test de freidmen basé sur le calcul de F

Test de friedman :

C'est le test non paramétrique le plus employé en évaluation sensorielle car il correspond à une expérience équilibrée où n sujets ont noté chacun les p produits de l'étude. Les données sont donc appariées et la statistique du test utilise les rangs des produits.

Ces rangs peuvent être calculés à partir des notes données par les panélistes.

Le test de Friedman est un test de X^2 d'écart entre la somme des rangs obtenus par chaque produit et une somme des rangs moyenne (celle qu'auraient s'ils étaient classés ex-aequo, soit $n(p+1)/2$)

$$F = \frac{12}{n.p.(p+1)} \sum_{i=1}^p (R_i - \frac{n(p+1)}{2})^2$$

R_i : désigne la somme des rangs affectés au produit i .

On calcule F sous la forme suivante :

$$F = \frac{12}{n.p.(p+1)} [R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_p^2] - 3n(p+1)$$

Avec n : nombre de sujets

P : nombre de produits

$R_1 \dots R_p$: somme des rangs calculés à partir des scores donnés aux produits par les n sujets.

Pour conclure : F doit être comparé à la valeur théorique (s) lue dans la table du X^2 à $p-1$ degré de liberté au niveau 5% (seuil de signification choisi $\alpha=0.05$) ou 1% ($\alpha=0.01$) (voir annexe).

Si F est supérieur à la valeur S on peut conclure à l'existence d'une différence significative globale entre les échantillons.

Si F est inférieure à la valeur S lue sur la table, on peut conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les produits.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère gout :

$$F = \frac{12}{8*6*(6+1)} (14^2 + 16^2 + 24^2 + 30.5^2 + 39^2 + 44.5^2) - 3*8*(6+1)$$

$$F = 26.98$$

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de :

$$S = 11.07$$

$F > S$ du point de vue gout, il y a une différence significative, au seuil 5% entre les 6 produits (A, B, C, D, E et F).

On procédera à une comparaison multiple des sommes des rangs des produits et chaque différence de moyenne doit être comparée à la valeur $\delta = z \sqrt{n * p * (\frac{p+1}{6})}$

Avec : $n=8$: nombre de panélistes

$p=6$: nombre de produits

z : est la valeur lue dans la table gaussienne au niveau de la valeur $2\alpha/p(p-1)$. (Voir annexe)

$$2\alpha/p(p-1) = 2*5\% / 6*(6-1) = 0.33\%$$

$$z = 2.86$$

$$\text{Donc } \delta = 2.86 \sqrt{8 * 6 * (\frac{6+1}{6})}$$

$$\delta = 21.40$$

$|A-B| = |14-16| = 2 < 21.40$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-C| = 10 < 21.40$: les produits A et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-D| = 16.5 < 21.40$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-E| = 16.5 < 21.40$: les produits A et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-F| = 25 > 21.40$: les produits A et F sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-C| = 8 < 21.40$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-D| = 14.5 < 21.40$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-E| = 23 > 21.40$: les produits B et E sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-F| = 28.5 > 21.40$: les produits B et F sont perçus comme étant significativement différents.

$|C-D| = 6.5 < 21.40$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C-E| = 15 < 21.40$: les produits C et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C-F| = 20.5 < 21.40$: les produits C et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D-E| = 8.5 < 21.40$: les produits D et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D-F| = 14 < 21.40$: les produits D et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|E-F| = 5.5 < 21.40$: les produits E et F sont perçus comme étant significativement identiques.

❖ Le test de Friedman nous indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les produits A (fromage à 0% de lait de soja), B (fromage à 15% de lait de soja), C (fromage à 20% de lait de soja), D (fromage à 25% de lait de soja), et E (fromage à 30% de lait de soja), cependant, les produits A et F sont significativement différents.

Donc ces résultats nous montrent que le lait de soja peut être incorporé dans la fabrication de fromage fondu jusqu'à une proportion de 30%.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère couleur :

$$F = \frac{12}{8 \cdot 6 \cdot (6+1)} (17^2 + 19^2 + 26^2 + 30^2 + 33^2 + 43^2) - 3 \cdot 8 \cdot (6+1)$$

$$F = 16.43$$

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de : **S=11.07**

$F > S$ du point de vue couleur, il y a une différence significative, au seuil 5% entre les 6 produits.

Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux :

$$\text{On a : } z = 2.86$$

$$\delta = 21.40$$

$|A-B|= |17-19|= 2 < 21.40$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-C|= 9 < 21.40$: les produits A et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-D|= 13 < 21.40$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-E|= 16 < 21.40$: les produits A et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-F|= 26 > 21.40$: les produits A et F sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-C|= 7 < 21.40$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-D|= 11 < 21.40$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-E|= 14 > 21.40$: les produits B et E sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-F|= 24 > 21.40$: les produits B et F sont perçus comme étant significativement différents.

$|C-D|= 4 < 21.40$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C-E|= 7 < 21.40$: les produits C et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C-F|= 17 < 21.40$: les produits C et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D-E|= 3 < 21.40$: les produits D et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D-F|= 13 < 21.40$: les produits D et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|E-F|= 10 < 21.40$: les produits E et F sont perçus comme étant significativement identiques.

❖ Le test de Friedman nous indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les produits A, B, C, D, et E, donc l'incorporation de lait de soja dans notre fromage fondu à un taux de 30% n'a aucun effet sur la couleur de produit fini.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère Texture :

$$F = \frac{12}{8 \cdot 6 \cdot (6+1)} (20.5^2 + 18.5^2 + 21.5^2 + 32.5^2 + 35^2 + 40^2) - 3 \cdot 8 \cdot (6+1)$$

F= 14.36

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de : **S= 11.07**

F>S → les produits (A, B, C et D) sont perçus comme étant significativement différents.

Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux :

On a : $z=2.86$ et $\delta= 21.40$

$|A-B|= 2 < 21.40$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-C|= 1 < 21.40$: les produits A et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-D|= 12 < 21.40$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-E|= 14.5 < 21.40$: les produits A et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-F| = 19.5 < 21.40$: les produits A et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-C| = 3 < 21.40$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-D| = 14 < 21.40$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-E| = 16.5 < 21.40$: les produits B et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-F| = 21.5 > 21.40$: les produits B et F sont perçus comme étant significativement différents.

$|C-D| = 11 < 21.40$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C-E| = 13.5 < 21.40$: les produits C et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|C-F| = 18.5 < 21.40$: les produits C et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D-E| = 2.5 < 21.40$: les produits D et E sont perçus comme étant significativement identiques.

$|D-F| = 7.5 < 21.40$: les produits D et F sont perçus comme étant significativement identiques.

$|E-F| = 5 < 21.40$: les produits E et F sont perçus comme étant significativement identiques.

❖ D'après le test de Freidman, on remarque qu'il n'y a pas une différence significative entre les produits A, B, C, D, E, et F. Ces résultats nous montrent que le lait de soja peut être incorporé dans un fromage fondu jusqu'à une proportion de 45% et sans aucune influence négative sur la texture de produit fini.

Conclusion :

D'après les résultats obtenus on peut dire que les critères organoleptiques de produit fini ne sont pas influencés par le lait de soja et il n'y a pas une différence significative entre les fromages FS15, FS20, FS25 et FS3. Donc on peut fabriquer un fromage fondu qui peut contenir jusqu'à une proportion de 30% de lait de soja, et avec ce taux on aura un produit de bonne qualité physico chimique, organoleptique et nutritionnelle.

III- Résultats des analyses des fromages fondus à base de lait de soja et la farine d'avoine

III-1. Résultats des analyses physico chimiques des fromages fondus à base de lait de soja et la farine d'avoine

Tableau 25 : Résultats des analyses physico-chimiques des fromages fondus diététiques.

	FSA0	FSA2	FSA4	FSA7	Norme AFNOR
MG (%)	10.77	10.90	11	11.09	-
EST (%)	36.19	37.78	40.20	42.14	Min 31 %*
MG / EST (%)	29.76	28.85	27.37	26.32	25-30%*
Protéine	11.74	11.95	12.22	12.43	10-17

* : pour ces deux paramètres nous avons suivi la norme codex Alimentarius.

D'après les résultats obtenus, on remarque que tous les paramètres sont dans les normes fixées par AFNOR et CODEX Alimentarius.

La variation des différents paramètres de qualité en fonction du taux d'incorporation de la farine d'avoine est donnée par les histogrammes suivants :

➤ Variation de la teneur en matière grasse en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.

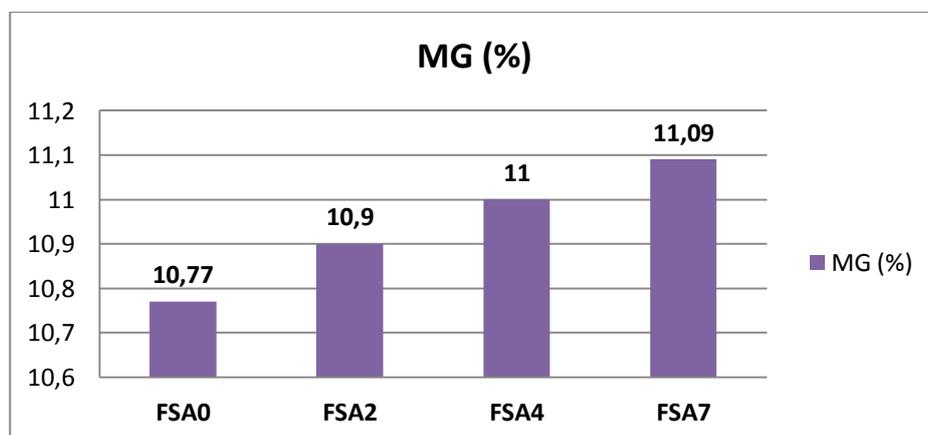


Figure 17 : Variation de la teneur en matière grasse (MG) en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.

D'après la figure 17, on remarque une augmentation de la matière grasse en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine qui variée de 10.09 à 11.09%, et ces valeurs n'ont pas dépassées notre objectif (MG=11%).

La farine d'avoine contient environ 4.9% de MG ce qui explique l'augmentation de la teneur en matière grasse dans notre fromage fondu fabriqué.

- **Variation de la teneur en extrait sec total (EST) en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.**

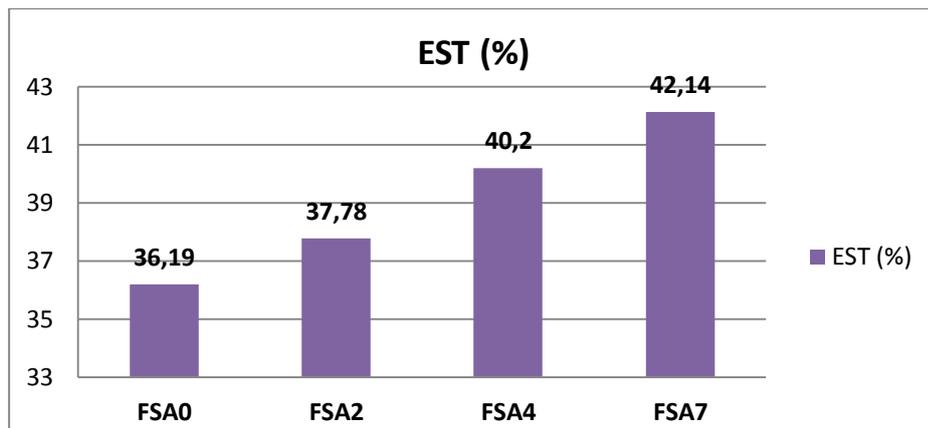


Figure 18 : Variation de la teneur en extrait sec total en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.

D'après la figure 18, on remarque une augmentation de l'extrait sec en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.

Le taux d'extrait sec dans un fromage fondu dépend entre-autre de la quantité de fromage utilisé pour la fonte et du taux d'extrait sec des autres matières premières mises en oeuvre pour la fabrication du fromage fondu (Eck et Gillis, 1997).

- **Variation de la teneur de la MG dans EST en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.**

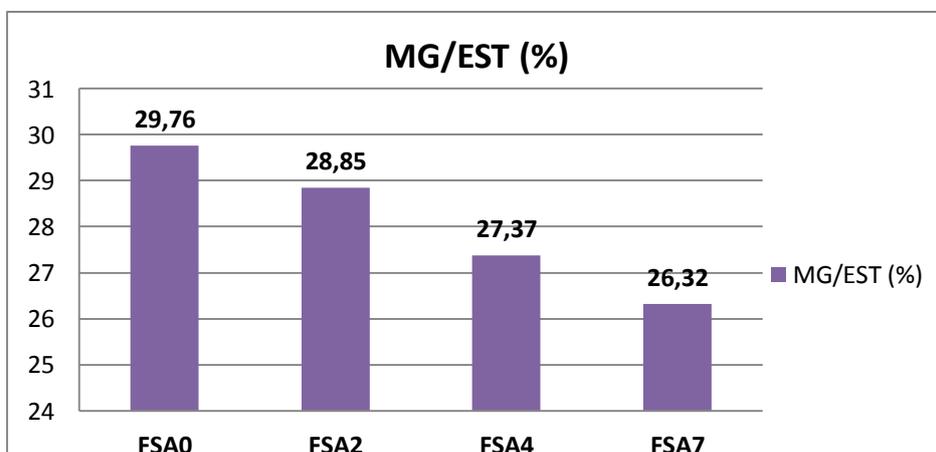


Figure 19 : Variation de la teneur de la MG dans EST en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.

D'après la figure 19, il apparaît que la variation de la teneur en matière grasse par rapport à la matière sèche est bien maîtrisée et que tous les points sont alentours de la valeur fixée par la norme.

➤ **Variation de la teneur protéine en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.**

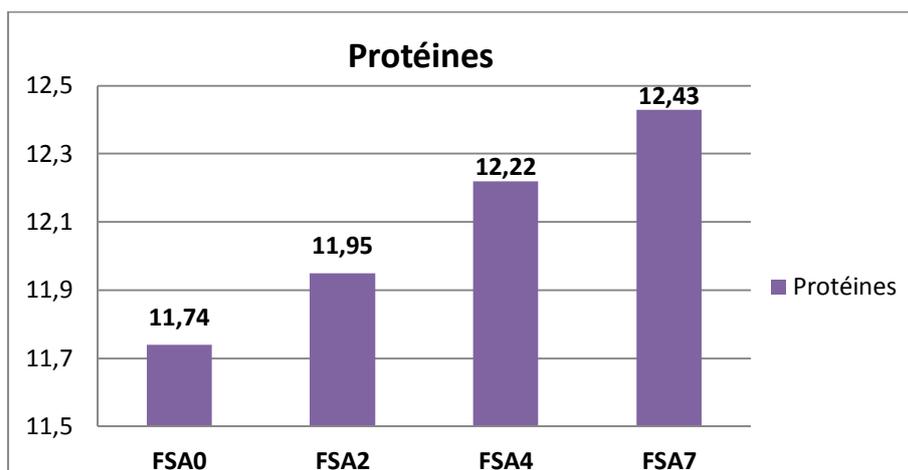


Figure 20 : Variation de la teneur en protéine en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine.

D'après la figure 20, on remarque une augmentation de la teneur en protéine dans nos fromages fondus en fonction de taux d'incorporation de la farine d'avoine qui variée de 11.74 à 12.43%.

Cette augmentation est justifiée par la richesse de l'avoine en protéines d'environ 10.5% ce qui va augmenter la qualité nutritionnelle de notre fromage fondu.

III-2. Résultats des analyses sensorielles des fromages fondus à base de lait de soja et la farine d'avoine

Les résultats des analyses organoleptiques sont regroupés dans le tableau 26.

Nous remarquons qu'il existe des réponses ex-aequo, nous devons classer ces résultats de manière à ce que la somme des rangs soit la même pour tous les sujets.

Tableau 26 : Résultats des analyses organoleptiques des fromages fondus diététiques.

produits Sujets	Couleur				Texture				Gout			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	4	3	2	2	4	4	4	3	4	4	3	1
2	4	4	3	1	4	3	3	3	4	3	2	2
3	3	4	3	2	4	4	2	1	3	4	3	2
4	4	3	2	1	4	4	1	1	4	3	3	1
5	4	4	3	2	3	4	2	1	3	4	2	2
6	4	3	3	3	4	3	2	1	4	4	3	1
7	4	4	2	1	4	4	2	2	3	4	4	2
8	4	3	2	1	4	3	3	1	4	3	2	1
9	4	4	2	2	4	4	2	1	3	4	3	2
10	3	4	3	1	3	4	1	1	4	3	2	1
11	4	3	2	1	4	4	2	2	3	4	3	2
12	4	4	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1

La somme des rangs est égale à 10, les rangs ont été déterminés à partir des scores donnés par les panélistes.

La somme des rangs par produit et par l'ensemble des sujets a été calculée. Les résultats sont consignés sur le tableau 27 pour la couleur, sur le tableau 28 pour la texture et sur le tableau 29 pour le goût.

Tableau 27 : Résultats de classement du critère couleur.

Sujets	produits				Somme
	A	B	C	D	
1	1	2	3,5	3,5	10
2	1,5	1,5	3	4	10
3	2,5	1	2,5	4	10
4	1	2	3	4	10
5	1,5	1,5	3	4	10
6	1	3	3	3	10
7	1,5	1,5	3	4	10
8	1	2	3	4	10
9	1,5	1,5	3,5	3,5	10
10	2,5	1	2,5	4	10
11	1	2	3	4	10
12	1,5	1,5	4	3	10
Σ rangs	17,5	20,5	37	45	120

Tableau 28 : Résultats de classement du critère Texture

Sujets	produits				Somme
	A	B	C	D	
1	2	2	2	4	10
2	1	3	3	3	10
3	1,5	1,5	3	4	10
4	1,5	1,5	3,5	3,5	10
5	2	1	3	4	10
6	1	2	3	4	10
7	1,5	1,5	3,5	3,5	10
8	1	2,5	2,5	4	10
9	1,5	1,5	3	4	10
10	2	1	3,5	3,5	10
11	1,5	1,5	3,5	3,5	10
12	1	2	3	4	10
Σ rangs	17,5	21	36,5	45	120

Tableau 29 : résultats de classement du critère Gout.

Sujets	produits				Somme
	A	B	C	D	
1	1,5	1,5	3	4	10
2	1	2	3,5	3,5	10
3	2,5	1	2,5	4	10
4	1	2,5	2,5	4	10
5	2	1	3,5	3,5	10
6	1,5	1,5	3	4	10
7	3	1,5	1,5	4	10
8	1	2	3	4	10
9	2,5	1	2,5	4	10
10	1	2	3	4	10
11	2,5	1	2,5	4	10
12	1	2	3	4	10
Σ rangs	20,5	19	33,5	47	120

Interprétation statistique des résultats (Test de Freidmen)

L'interprétation statistique des résultats s'inspire du test de freidmen basé sur le calcul de F

Test de friedman :

C'est le test non paramétrique le plus employé en évaluation sensorielle car il correspond à une expérience équilibrée où n sujets ont noté chacun les p produits de l'étude. Les données sont donc appariées et la statistique du test utilise les rangs des produits.

Ces rangs peuvent être calculés à partir des notes données par les panélistes.

Le test de Friedman est un test de X^2 d'écart entre la somme des rangs obtenus par chaque produit et une somme des rangs moyenne (celle qu'auraient s'ils étaient classés ex-aequo, soit $n(p+1)/2$)

$$F = \frac{12}{n.p.(p+1)} \sum_{i=1}^p (R_i - \frac{n(p+1)}{2})^2$$

R_i : désigne la somme des rangs affectés au produit i.

On calcule F sous la forme suivante :

$$F = \frac{12}{n.p.(p+1)} [R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_p^2] - 3n(p+1)$$

Avec n : nombre de sujets

P : nombre de produits

R_1, R_2, \dots, R_p : somme des rangs calculés à partir des scores donnés aux produits par les n sujets.

Pour conclure : F doit être comparés à la valeur théorique (s) lue dans la table du X^2 à $p-1$ degré de liberté au niveau 5% (seuil de signification choisi $\alpha=0.05$) ou 1% ($\alpha=0.01$) (voir annexe).

Si F est supérieur à la valeur (s) on peut conclure à l'existence d'une différence significative globale entre les échantillons.

Si F est inférieure à la valeur (s) lue sur la table, on peut conclure qu'il n'y a pas de différence significative entre les produits.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère couleur :

$$F = \frac{12}{12 \cdot 4 \cdot (4+1)} (17.5^2 + 20.5^2 + 37^2 + 45^2) - 3 \cdot 12 \cdot (4+1)$$

F= 26.03

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de : **S= 7.81**

F>S du point de vue couleur, il y a une différence significative, au seuil 5% entre les 4 produits (A, B, C et D).

On procédera à une comparaison multiple des sommes des rangs des produits et chaque différence de moyenne doit être comparée à la valeur

$$\delta = z \sqrt{n \cdot p \cdot \left(\frac{p+1}{6}\right)}$$

Avec : **n=12** : nombre de panélistes

p=4 : nombre de produits

z : est la valeur lue dans la table gaussienne au niveau de la valeur **$2\alpha/p (p-1)$** . (Voir annexe)

$$2\alpha/p (p-1) = 2 \cdot 5\% / 4 \cdot (4-1) = 0.83\%$$

$$z = 2.63$$

$$\delta = 2.63 \sqrt{12 \cdot 4 \cdot \left(\frac{4+1}{6}\right)}$$

$$\text{Donc } \delta = 16.63$$

$|A-B| = 3 < 16.63$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-C| = 19.5 > 16.63$: les produits A et C sont perçus comme étant significativement différents.

$|A-D| = 27.5 > 16.63$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-C| = 16.5 < 16.63$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-D| = 24.5 > 16.63$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement différents.

$|C-D| = 8 < 16.63$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

❖ Le test de Friedman nous indique qu'il n'y a pas une différence significative entre le produit A (0% de farine d'avoine) et le produit B (2% farine d'avoine), cependant les produits A, C, D sont significativement différents.

Ces résultats nous montrent que la farine d'avoine peut être incorporer dans un fromage jusqu'à une proportion de 2%, et au-delà de 2% la couleur sera influencer.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère texture :

$$F = \frac{12}{12 \cdot 4 \cdot (4+1)} (17.5^2 + 21^2 + 36.5^2 + 45^2) - 3 \cdot 12 \cdot (4+1)$$

$$F = 25.23$$

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de : **S = 7.81**

$F > S$ du point de vue texture, il y a une différence significative, au seuil 5% entre les 4 produits (A, B, C et D).

Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux :

On a : $z = 2.63$ et $\delta = 16.63$

$|A-B| = 3.5 < 16.63$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-C| = 19 > 16.63$: les produits A et C sont perçus comme étant significativement différents.

$|A-D| = 27.5 > 16.63$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-C| = 15.5 < 16.63$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-D| = 24 > 16.63$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement différents.

$|C-D| = 8.5 < 16.63$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

❖ Les résultats obtenus à partir de test de Friedman nous indique qu'il n'y a pas une différence significative entre le fromage témoin A et le fromage B, mais les produits C et D sont significativement différents au fromage A.

Donc le farine d'avoine peut être incorporée dans un fromage fondu jusqu'à une proportion de 2%.

Calcul de la valeur de F du test de Friedman pour le critère gout :

$$F = \frac{12}{12 \cdot 4 \cdot (4+1)} (20.5^2 + 19^2 + 33.5^2 + 47^2) - 3 \cdot 12 \cdot (4+1)$$

$$F = 25.63$$

La valeur lue sur la table X^2 (voir annexe) à degré de liberté 5% est de : **S = 7.81**

$F > S \rightarrow$ les produits (A, B, C et D) sont perçus comme étant significativement différents.

Détermination des couples d'échantillons qui diffèrent entre eux :

On a : $z=2.63$ et $\delta= 16.63$

$|A-B|= 1.5 < 16.63$: les produits A et B sont perçus comme étant significativement identiques.

$|A-C| = 13 > 16.63$: les produits A et C sont perçus comme étant significativement différents.

$|A-D|= 26.5 > 16.63$: les produits A et D sont perçus comme étant significativement différents.

$|B-C|= 14.5 < 16.63$: les produits B et C sont perçus comme étant significativement identiques.

$|B-D| = 28 > 16.63$: les produits B et D sont perçus comme étant significativement différents.

$|C-D|= 13.5 < 16.63$: les produits C et D sont perçus comme étant significativement identiques.

❖ Le test de Friedman nous indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les produits A et B, mais les produits C et D sont significativement différents au produit A.

Donc la farine d'avoine peut être incorporée dans un fromage fondu jusqu'à un taux de 2%, au-delà de ce taux le critère gout sera influencer et le produit ne sera pas apprécié par le consommateur.

Conclusion

Les résultats de l'analyse organoleptique des différents fromages fondus montrent que :

- La texture la plus adoptée par les dégustateurs est celle du fromage incorporé de 2% de farine d'avoine.
- Le gout le plus adopté par les dégustateurs est celui du fromage incorporé de 2% de farine d'avoine.
- La couleur la plus adoptée par les dégustateurs est celle du fromage incorporé de 2% d'avoine.

D'après les résultats de l'analyse sensorielle obtenus, on constate que : Le fromage incorporé de 2% de farine d'avoine est le plus adopté par les dégustateurs, Grâce à l'effet de l'avoine sur le fromage qui améliore la qualité organoleptique.

IV- Etude économique

Après la fabrication et la caractérisation de fromage fondu diététique, il est nécessaire de calculer son prix de revient.

Les prix d'achat des différents ingrédients et matières premières sont regroupés dans le tableau 30.

Les prix de revient de différents fromages fondus sont regroupés dans le tableau 31.

Tableau 30 : les prix d'achats des ingrédients d'un fromage fondu.

Ingrédients	Prix unitaire en DA / Kg
Cheddar	900
Poudre de lait 26% de MG	465
Sels de fonte	460
Sels de table	25
carraghénane	1400
Acide citrique	16
Lait de soja	200
Farine d'avoine	150

Le prix de revient d'un fromage fondu est égal à la somme des prix d'achat des matières premières, des prix de l'énergie et le prix de la main d'œuvre.

Tableau 31 : les prix de revient des fromages fondus fabriqués

Fromages fondus	Prix de revient en DA / Kg
Fromage fondu de l'unité	324.00
Fromage Fondu témoin	300.00
Fromage fondu à base de lait de soja (30%)	316.00
Fromage fondu diététique (à base de lait de soja+ farine d'avoine)	340.00

Interprétation :

Le prix de revient de la recette de fromage fondu témoin proposée par l'unité est de 324.00DA, alors que le prix de revient de la recette modifiée de fromage fondu témoin est de 300.00DA.

Les prix de revient de fromage à base de lait de soja et de fromage diététique sont respectivement 316.00DA et 340.00DA, sont légèrement supérieurs au prix de revient de fromage témoin.

A partir des résultats trouvés on peut dire que la recette de notre fromage fondu diététique est intéressante pour toutes les fromageries qui veulent fabriquer des produits diététiques.



Conclusion et Perspectives

Conclusion et perspectives

Notre étude avait pour objectif la fabrication d'un fromage fondu diététique afin de réduire les risques cardiovasculaires et équilibrer le taux de glycémie pour les diabétiques ainsi que faciliter la digestion.

Le présent travail est divisé en trois étapes principales :

- Extraction du lait de soja et caractérisation physico chimique de ce dernier.
- Incorporation du lait de soja dans un fromage fondu à différents taux
- Incorporation de la farine d'avoine dans le fromage fondu à base de lait de soja.

A cet effet plusieurs recettes ont été réalisées au laboratoire pour fixer le taux d'incorporation de lait de soja et la farine d'avoine afin de produire un fromage fondu qui a des critères organoleptique satisfaisantes. Et au cours de ce travail nous avons étudié l'évolution des paramètres physico chimiques en fonction de taux d'incorporation de lait de soja et de la farine d'avoine, afin de voir l'effet de ces substances sur la qualité de fromage fondu.

A partir des différentes résultats obtenus, nous pouvons **conclure que** :

Le lait de soja extrait est de bonne qualité physico-chimique et tous les résultats obtenus sont conformes aux normes fixées par l'OMS, et sa pauvreté en matières grasse (1.3%) nous a permis de le conseiller aux personnes diabétiques et qui ont une pathologie cardiaque.

Les résultats des analyses physico chimiques effectuées sur les différents fromages fondus incorporés de lait de soja et de farine d'avoine sont conformes aux normes exigées par AFNOR et par Codex Alimentarius.

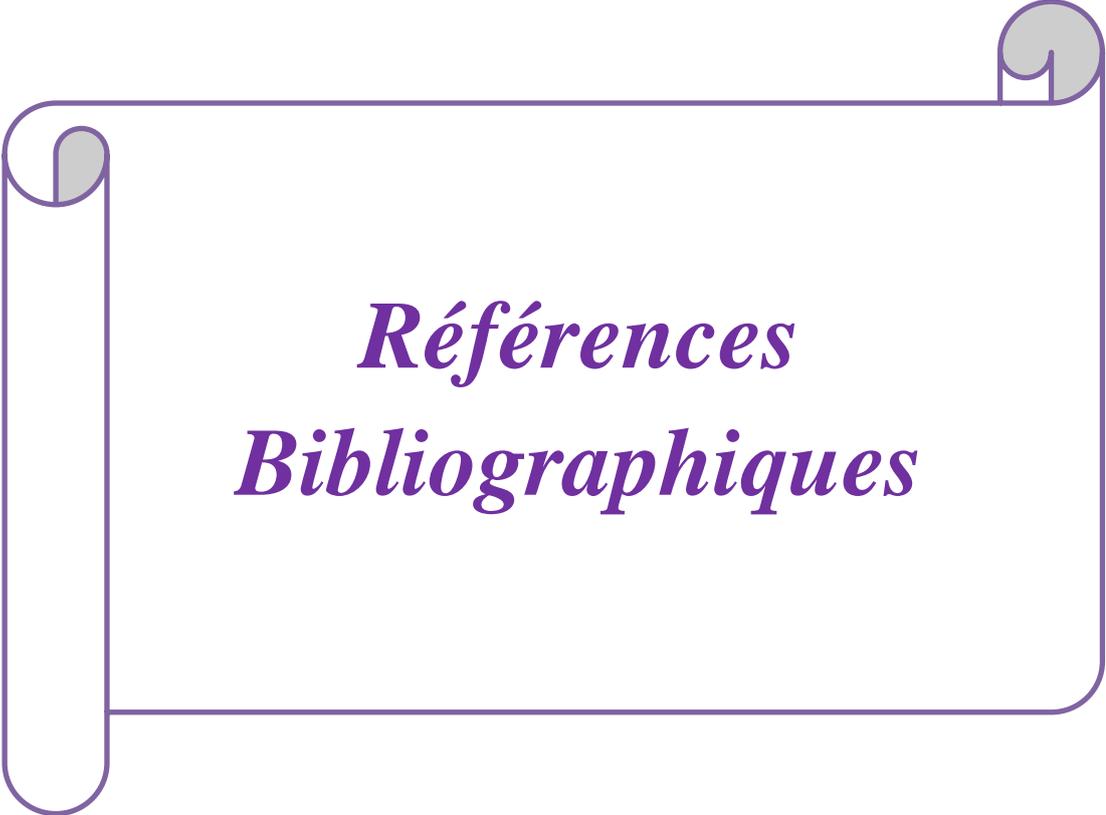
D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que l'ajout de lait de soja et la farine d'avoine dans notre fromage fondu augmente sa qualité nutritionnelle en augmentant la teneur en protéines de 11.74 à 12.43% et la teneur en matières grasses de 10.77 à 11.09%.

Sur le plan organoleptique, le fromage fondu incorporé de 30% de lait de soja et 2%de farine d'avoine présente une meilleure consistance, une couleur attirante avec un bon gout, et ce dernier est largement adopté par les dégustateurs.

D'après tous ces résultats nous pouvons dire que notre fromage diététique présente une bonne qualité physico-chimique et organoleptique et qui répond aux besoins du consommateur.

Perspectives :

Nous aurions pu aller plus loin dans notre recherche, mais le manque de moyens nécessaires à une étude plus poussée nous en a empêché (détermination de la teneur en fibres alimentaires, la teneur en acides gras insaturés et faire une analyse in vivo sur notre fromage diététique). C'est la raison pour laquelle nous souhaitons que notre travail servira de base pour d'autres études dans l'avenir.



***Références
Bibliographiques***

Références Bibliographiques

- **Afssa/Afssaps. (2005).** Sécurité et bénéfices des phyto-estrogènes apportés par l'alimentation.
- **Afssa/Afssaps. (2005).** Sécurité et bénéfices des phyto-estrogènes apportés par l'alimentation.
- **Alais C. (1975).** Science du lait principe des techniques litières.3ème édition. Paris, pp : 1-60. Science du lait principe des techniques litières.3ème édition. Paris, pp : 1-60).
- **Alais C. et Linden G. 1997.** Abrégé de biochimie alimentaire. 4^{ème} édition, Masson, 248p
- **Alekel DL, Van Loan MD. (2010).** The soy isoflavones for reducing bone loss (SIRBL) study: a 3-y randomized controlled trial in postmenopausal women.
- **Alla Nesterenko,(2012) :** thèse de doctorat, Étude et fonctionnalisation de protéines végétales en vue de leur application en microencapsulation,
- **Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P., Simpson R et Turgeon H., (2002).** Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse du lait In VIGNOLA C.L, Science et technologie du lait, École polytechnique de Montréal, (600 pages).
- **Anderson J.W., Bridges S.R., (1993)** Hypocholesterolemic effects of oat bran in humans., Oat Bran (ed. P.J. Wood). Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, MN, pp. 139–197.
- **Anderson JW, Johnstone BM, (1995).** Cook-Newell ME. Meta-analysis of the effects of soy protein intake on serum lipids.
- **Belaid dj., (1987).** Etude de la fertilisation azotée et phosphatée (Hedba3) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magistère. I.N.A 108p.
- **Belaid dj., (2016).** Algérie : production de flocons d'avoine. Collection Brochures agronomiques.
- **Bennetau-Pelissero, C., Sauvant, P., Peltre, G., Auriol, P., Rocca, A., & Rancé, F. (2004).** phyto-oestrogènes du soja : problèmes posés chez le nourrisson allergique au lait de vache et consommant des formules à base de soja.pp.24-32.
- **Bensalem M., (1998).** La qualité de céréale dans la région méditerranéenne, série A N° 22.
- **Berk Z. (1993).** « Technologie de production de farine alimentaire et de protéique issus du soja », Bulletin des services agricoles de la FAO, 97, Rome/Italie, 133 p.
- **Boutonnier J.L. (2002).** Fabrication du fromage fondu. Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire.
- **Boutonnier, J. L. (2000).** Fabrication du fromage fondu, Techniques de l'Ingénieur.
- **Bull. Soc. (1947).**Science Hygiène Alimentaire, XXXV: 159.
- **Business Insight (2014).**Global protein ingredient market by value.
- **Bylund G., (1995).** Dairy processing handbook-Tetra pak processing systems, Sweden.(436 pages).
- **Caric M., (2000).** Processed cheese. In, FRANCIS F.J., Encyclopedia of Food Science and Technology.
- **Caron A., ST-Gelais D. et Pouliot Y. (1997).** « Coagulation of milk enriched with ultrafiltered or diafiltered, microfiltered milkretentate powders», International Dairy journal.

- **CETIOM/AFNOR, (1987).** Guide pratique l'analyse des graines oléagineuses p 237. Denmark. Journal of the American Oil Chemists' Society (75) : 1079–1083. diététique Ed Lavoisier, 2005.
- **Chatenet, C. (2007).** Le soja, une plante étonnante, un aliment incontournable. 469p pages.
- **Cheftel J-C., Lorient D. (1985).** Les protéines alimentaires, propriétés fonctionnelles, leur valeur nutritionnelle .Edition Tec &Doc. Lavoisier, PARIS.
- **Chemache L. (2011).** Qualité de deux spécialités fromagères fabriquées et commercialisées en Algérie, thèse de Magister en Technologies Alimentaires, Université Mentouri Constantine.122p
- **Cherki S. ; Hadji H. (2018).** Effets de l'ajout de la farine et flocon d'avoine sur les qualités physicochimiques et organoleptiques des yaourts brassés, thèse de master en agronomie, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
- **Choisy C., Desmaeaud M., Gueguen M., Lenoir J., Schmidt J., et Tourneur C. (1997).** Les phénomènes microbiens, Dans Le fromage, 3ème ed., Tec et Doc. Lavoisier. pp 377.
- **Choisy C., Desmazeaud M., Gripon J.C., Lamber G., et Lenoir J. 1997 (b).** Biochimie de l'affinage. Dans Le fromage, 3ème ed. Tec et Doc. Lavoisier. pp 89.
- **Chouraqui, J.-P., Dupont, C., Bocquet, A., Bresson, J.-L., Briend, A., Darmaun, D., . . . Vidailhet, M. (2008).** Alimentation des premiers mois de vie et prévention de l'allergie.
- **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.
- **Commission européenne. (2013).** Alimentation et activité physique.
- **Conseil International de Céréales (CIC). (2013),** page officiel
- **Czubaszek, A., & Karolini-Skaradzińska, Z. (2005).** Effects of wheat flour supplementation with oat products on dough and bread quality. Polish journal of food and nutrition sciences.
- **Dacosta Y. (1990).** « Lait de soja et tofu », Actualités scientifiques et technique en Industries Agro-alimentaire N°45, Paris/France, 102 p.
- **Darlington L.G., Ramsey N.W. et Mansfield J. (1986).** Placebo controlled, blind study of dietary manipulation therapy in rheumatoid arthritis. Lancet,.
- **Daviau C.M.H. Famelart A. Pierre H. Gouedranche J.L. Maubois. (2000).** Rennet coagulation of skim milk and curd drainage: Effect of pH, casein concentration, ionic strength and heat treatment, Lait, 80.
- **Davis M.K. (2001).** Breastfeeding and chronic disease in childhood and adolescence. Pediatr. Clin.
- **Debry G.,** Lait, nutrition et santé, Tec et Doc,
- **Décret N88-1206 du 30 décembre 1988** code de la consommation.
- **Deforges J, Derens E, Rosset R et Serrand M.(1999).** Maîtrise de la chaîne du froid des produits laitiers réfrigérés. Edition : Cemagref. Tec et Doc, Paris.108p.,
- **Delaveau, P. (2003).** Voyage en botanique. pharmathemes Editions.
- **Département Fédéral de l'Intérieur (D.F.I) (2009).** Ordonnance sur les denrées alimentaires d'origine animale. Suisse. 48 p.

- **Direction des Services Agricoles, 2016.**
- **Dore, C., & Varoquaux, F. (2006).** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Paris: institut national de la recherche agronomique.
- **ECK .A. (1987).** Le fromage. 2ème édition. Technique et documentation. Lavoisier, paris 390p.
- **Eck A et Gillis J.C, (1997).** Le fromage. 2ème édition, Lavoisier. Techniques et documentation.
- **ECK A. et Gillis J.C. (1997).** Le Fromage, De la science à l'assurance-qualité ; 3ème édition-Paris, 891p.
- **Etude de Groupe d'Etude et de Promotion des Protéines Végétales Perception des protéines végétales, 2015**
- **Evelyne, (2018).**Conseils Santé, Les Aliments, Paris, (566 pages).
- **Evette J.L. (1975).** La fromagerie.- Paris : Presses universitaires de France, 140 p.
- **FDA. , (2006).** Food and Drug Administration Américaine.
- **Fillet., (2000).** La graine de blé composition et utilisation ; INRA paris p46, 82 Hachette livre.
- **Fox P.F. et Mcsweeney P.L.H. (1998).** Dairy Chemistry and Biochemistry. Ed. Thomson Science, 396 p.
- **Fox P.F., Law J., Mcsweeney P.L.H. and Wallace J. (1993).** Biochemistry of cheese ripening. pp. 389-438. In Cheese: Chemistry, physics and microbiology, volume 1, General aspects, second edition. (Ed. P.F. FOX), Springer-Science+Business Media, B.V., 601p.
- **Frédéric Maton, (2018).** Bénéfices et risques du Soja sur la santé, article
- **Frederique Fallone,(2013).**Thèse de doctorat en pharmacie : le soja : influence de sa consommation sur la santé humaine et consequences de l'expansion de sa culture au niveau mondial
- **Fredot E., (2006).** Connaissance des aliments-Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Tec et Doc, Lavoisier: 25 (397 pages).
- **Gaucheron F., (2004).** Minéraux et produits laitiers, Tec et Doc, Lavoisier:783 (922 pages).
- **Godon B., (1985).** Protéines végétales, , Technique et documentation (Lavoisier).
- **Godon. B. (1996).** Protéines végétales 2ème édition Tec &Doc, Lavoisier, PARIS.
- **Gomez-Andre, S.-A., Deschildre, A., Bienvenu, F., & Just, J. (2012).** Un allergène émergent : le soja. (E. Masson, Éd.) Revue française d'allergologie(52), pp. 448-453.
- **Grappin, R., Pochet, S. (1999).** Le lait, P 3 – 22.
- **Hanzen, CH., (1999).** Pathologie de la glande mammaire de la vache laitière: Aspects individuels et d'élevage. 4ème Edition Université de Liège, 235 p.
- **Hoenselaar, R. (2012).** Saturated fat and cardiovascular disease: the discrepancy between the scientific literature and dietary advice. Nutrition
- **Hubert, J. (2006).** Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja. Thèse de doctorat, École doctorale des Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bio ingénieries , Qualité et sécurité des aliments, Toulouse.
- **Imram, N., Gomez, I., & Soh, V. (2003).** Soya Handbook: Tetra Pak - Centre of Expertise Soya.
-

- **Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P. et Brule G., (2008).** Les produits laitiers ,2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier: 1-3-13-14-17 (185 pages).
- **Jou HJ, Wu SC, et al. (2008).**Effect of intestinal production of equol on menopausal symptoms in women treated with soy isoflavones.
- **Juillard, V., Richard, J., (1996).** Le lait, P 24 – 26.
- **Karjalainen J., Martin J.M., Knip M. et al. (1992)** A bovine albumin peptide as a possible trigger of insulin dependent diabète mellitus.
- **Kousmine C.** Soyez bien dans votre assiette jusqu'à 80 ans et plus. 1 vol., 1980, Tchou édit. Paris, 334 pages.
- **Liukkonen, K.H., Montfoort, A., Laakso, S.V., (1992).** Water- induced lipid changes in oat processing. J. Agric. Food Chem.
- **Luquet F.M. 1990.** Lait et produits laitiers : vache, brebis chèvre. Tome II, Tech. Et Doc., 2ième édition, Lavoisier, Paris.
- **Luquet, F-M. (1985).** « Lait et produits laitiers: vache, brebis, chèvre». 3 volumes, Paris, Technique et documentation, Lavoisier, 150 p.
- **Ma DF, Qin LQ, et al. (2008).** Soy isoflavone intake increases bone mineral density in the spine of menopausal women: meta-analysis of randomized controlled trials. Clin Nutr.
- **Mapaq, (2009).** Monographie de l'industrie des grains au Québec.
- **Martin prevel p., (1984).** L'analyse végétal dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales, pp 653-667.
- **Mathieu, J., (1998).** « Initiation à la physico-chimie du lait». Edition Lavoisier, Technique et documentation, Paris, 220 p.
- **Meharg, AA et al. (2008).** Inorganic arsenic levels in rice milk exceed EU and US drinking water standards. Journal of Environmental Monitoring.
- **Mekliche A., (1983).** Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut Chélif. Mémoire de magistère. I.N.A. Alger .81p.
- **Messina, M. (1999).** Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects.
- **Meyer A. (1973).** Processed Cheese Manufacture, Food Trade Press Ltd., London, 201 p.
- **Mietton B. (1995).** La typologie des fromages, Symposium organisé par la fondation des Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agriculture et Agroalimentaire Canada, 245p.
- **Mietton B.M., Desmazeaud H. Roissart et Weber. (1994).** Transformation du lait en fromage, Bactéries lactiques, vol.2, Chap.IV, 3è édition, Lorica, 133p.
- **Monro J., CARINI C. et Brostoff J. -** Migraine is a food allergy disease. Lancet, 1984
- **Osborne T.B., (1924)** The vegetable proteins, Green and Co.
- **Pereira, PC, (2014).** Milk nutritional composition and its role in human health.
- **Pougheon, S., et Goursaud, J., (2001).** « Le lait et ses constituants caractéristiques physicochimiques», In : DEBRY, G. Lait, nutrition et santé, Tec & Doc, Paris, 342 p.

- **Qin LQ, Xu JY, et al. (2006).** Soyfood intake in the prevention of breast cancer risk in women: a meta-analysis of observational epidemiological studies. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*.
- **Ramarson (2002).** « Etude de faisabilité technico-économique du Soyourt ou lait de soja fermenté », Mémoire d'ingénieur en Agronomie option IAA, Madagascar, 68 p.
- **Ramet J.P. (1985).** La fromagerie, les variétés de fromages du bassin méditerranéen. Collection. Production et santé Animales. FAO, Rome, Italie.187p.
- **Ramet J.P. (1987).** La préparation du caillée, 1- : La présure et les enzymes coagulantes.
- **Ramet J.P., (1997).** La préparation du caillée : La présure et les enzymes coagulantes (p. 101-107). Dans *Le fromage*, 3^{ème} ed. Tec et Doc. Lavoisier.
- **Remeuf F., Cossin V., Dervin C., Tomasson R. (1991).** Relation entre les paramètres physico-chimiques des laits et son aptitude fromagère. *Lait* 71, 397-421.
- **Renane F et Saadi C, (2010).** Influence de la concentration des sels de fonte sur la qualité physicochimique et organoleptique du fromage fondu. Mémoire de fin d'études d'ingénieur d'état en technologie alimentaire. Université M'Hamed Bougarra, Boumerdès, 96p.
- **Ribadeau-Dumas, B., ET Grappin, (1989).** « Milk protein analysis » *Lait*, 416p.
- **Scott .R., Richard .K.R., Wilbey .A. (1998).** *Cheese making practice*. 3rd edition. Springer, 449p.
- **Seignalet Jean, (2004).** *L'alimentation ou la troisième médecine*, 5^{ème} édition, 658p.
- **Setchell K.D.R., Cassidy A. (1999).** Dietary isoflavones: biological effects and relevance to human health
- **Setchell KD, Lydeking-Olsen E. (2003).** Dietary phytoestrogens and their effect on bone: evidence from in vitro and in vivo, human observational, and dietary intervention studies.
- **Sirodot.G-E., (2016).** L'avoine, description, classification, Etude du grain des variétés Françaises et Etrangères.
- **Soltner, (1988).** *Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles*, Ed. 16^{ème} éditions 464P.
- **Swank R.L.** Multiple sclerosis fat-oil relationship. *Nutrition*, 1991.
- **Trock BJ, Hilakivi-Clarke L, Clarke R. (2006).** Meta-analysis of soy intake and breast cancer risk.
- **TU Viêt PHu, (2010).** « pour moi, le gout de soja n'est pas une barrière à la consommation. et pour vous ? » thèse de doctorat en science de l'alimentation, p50, université de bourgogne.
- **Ulrike Gonder, (2016).** Qualités nutritionnelles du lait et des boissons végétales: différences et similitudes.
- **Vidailhet, M. (2008).** Alimentation des premiers mois de vie et prévention de l'allergie. (E. M. SAS, Éd.) *Archives de Pédiatrie*(15), pp. 431-442.
- **Vignola C.L., (2002).** *Science et technologie du lait –Transformation du lait*, École polytechnique de Montréal, (600 pages).
- **Wieser H., Seilmeier W., Belitz H.D. (1980).** Vergleichende Untersuchungen über partielle Aminosäuresequenzen von Prolaminen und Glutelinen verschiedener Getreidearten. *Lebensm. Unters. Forsch.*
- **Wu AH, Yu MC, et al. (2008).** Epidemiology of soy exposures and breast cancer risk.
- **Zhang D. et Mahoney A.W. (1991).** Iron fortification of process Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, volume 74, p. 353–358.



Annexes

Annexe 1 : Présentation de l'unité

La fromagerie « ZERIFI » est située à la cité Ben Bekhta commune de corso w. Boumerdes (02 Km au sud de wilaya de Boumerdes, et 42 Km à l'EST d'Alger). Elle occupe une surface de 420 m².

L'activité principale de la fromagerie ZERIFI est la production et la commercialisation du fromage, préparation fromagère, préparation alimentaire et sauces.

La fromagerie ZERIFI a été créée en 2007 par son patron ZERIFI ABDELKADER.

Composition de l'unité :

- 03 chambres froides pour le stockage.
- Magasin de stockage de l'emballage et un magasin de prés stockage des matières premières.
- Atelier de fabrication, Atelier d'encartonnage.
- Vestiaires.
- Administration.
- Laboratoire de contrôle de qualité.

Le personnel composé de 36 éléments : 01 responsable principal, 02 chefs d'équipes, 02 préparateurs, 04 conducteurs clippeuses, 20 polyvalents et manutentionnaires, 02 chauffeurs, et 01 laborantines.

Annexe 2 : Matériel non biologique

Matériel	Réactifs
<ul style="list-style-type: none">• Bain marie avec support pour Butyromètre à la température de 65°C• Bêchers• Burettes graduées• Butyromètre à fromage (Van Gulik)• Butyromètre à lait (Funk Gerber)• Bain marie• Capsules• Centrifugeuse• Papier buvard• PH mètre (Funk Gerber)• Pipettes de 1 ml, 10 ml, et 11 ml• Thermomètre	<ul style="list-style-type: none">• Acide CH₂SO₄• Acide sulfurique H₂SO₄ à 0.1 N.• Acide sulfurique concentré.• Alcool iso-amylique (Méthyle-3Butamol-1) d = 0.813• Bicarbonate de potassium (K₂CrO₄).• EDTA 0.01M.• Hydroxyde de sodium 0.1N (NaOH).• Méthylorange.• Nitrate d'argent 0.1N (AgNO₃).• Noir enriochrome trituré.• Phénolphtaléine à 1 %.• Solution Tampon.

Annexe 3 : Table de X^2

DDL α	10%	5%	2.5%	1%	1‰
1	2.71	3.84	5.02	6.63	10.83
2	4.61	5.99	7.38	9.21	13.82
3	6.25	7.81	9.35	11.34	16.27
4	7.78	9.49	11.14	13.28	18.47
5	9.24	11.07	12.83	15.09	20.52
6	10.64	12.59	14.45	16.81	22.46
7	12.02	14.07	16.01	18.47	24.32
8	13.36	15.51	17.53	20.09	26.13
9	14.68	16.92	19.02	21.67	27.88
10	15.99	18.31	20.48	23.21	29.59
11	17.27	19.67	21.92	24.72	31.26
12	18.55	21.03	23.34	26.22	32.91
13	19.81	22.36	24.74	27.69	34.53
14	21.06	23.68	26.12	29.14	36.12
15	22.31	25.00	27.49	30.58	37.70
16	23.54	26.30	28.84	32.00	39.25
17	24.77	27.59	30.19	33.41	40.79
18	25.99	28.87	31.53	34.80	42.31
19	27.20	30.14	32.85	36.19	43.82
20	28.41	31.41	34.17	37.57	45.32
21	29.61	32.67	35.48	38.93	46.80
22	30.81	33.92	36.78	40.29	48.27
23	31.01	35.17	38.08	41.64	49.73
24	33.20	36.41	39.37	42.98	51.18
25	34.38	37.65	40.64	44.34	52.62
26	35.56	38.88	41.92	45.64	54.05
27	36.74	40.11	43.19	46.96	55.48
28	37.92	41.34	44.46	48.28	56.89
29	39.09	42.56	45.72	49.59	58.30
30	40.26	43.77	46.98	50.89	59.70

Annexe 4 : Table de distribution normale

x	α	z	α								
0,00	0,5000	1,00	0,1587	2,00	0,0228	0,00	1,0000	1,00	0,3174	2,00	0,0456
0,02	0,4920	1,02	0,1539	2,02	0,0217	0,02	0,9840	1,02	0,3064	2,02	0,0434
0,04	0,4840	1,04	0,1492	2,04	0,0207	0,04	0,9680	1,04	0,2984	2,04	0,0414
0,06	0,4761	1,06	0,1446	2,06	0,0197	0,06	0,9522	1,06	0,2892	2,06	0,0394
0,08	0,4681	1,08	0,1401	2,08	0,0188	0,08	0,9362	1,08	0,2802	2,08	0,0376
0,10	0,4602	1,10	0,1357	2,10	0,0179	0,10	0,9204	1,10	0,2714	2,10	0,0358
0,12	0,4522	1,12	0,1314	2,12	0,0170	0,12	0,9044	1,12	0,2628	2,12	0,0340
0,14	0,4443	1,14	0,1271	2,14	0,0162	0,14	0,8886	1,14	0,2542	2,14	0,0324
0,16	0,4364	1,16	0,1230	2,16	0,0154	0,16	0,8728	1,16	0,2460	2,16	0,0308
0,18	0,4286	1,18	0,1190	2,18	0,0146	0,18	0,8572	1,18	0,2380	2,18	0,0292
0,20	0,4207	1,20	0,1151	2,20	0,0139	0,20	0,8414	1,20	0,2302	2,20	0,0278
0,22	0,4129	1,22	0,1112	2,22	0,0132	0,22	0,8258	1,22	0,2224	2,22	0,0264
0,24	0,4052	1,24	0,1075	2,24	0,0125	0,24	0,8104	1,24	0,2150	2,24	0,0250
0,26	0,3974	1,26	0,1038	2,26	0,0119	0,26	0,7948	1,26	0,2076	2,26	0,0238
0,28	0,3897	1,28	0,1003	2,28	0,0113	0,28	0,7794	1,28	0,2006	2,28	0,0226
0,30	0,3821	1,30	0,0968	2,30	0,0107	0,30	0,7642	1,30	0,1936	2,30	0,0214
0,32	0,3745	1,32	0,0934	2,32	0,0102	0,32	0,7490	1,32	0,1868	2,32	0,0204
0,34	0,3669	1,34	0,0901	2,34	0,0096	0,34	0,7338	1,34	0,1802	2,34	0,0192
0,36	0,3594	1,36	0,0869	2,36	0,0091	0,36	0,7188	1,36	0,1738	2,36	0,0182
0,38	0,3520	1,38	0,0838	2,38	0,0087	0,38	0,7040	1,38	0,1676	2,38	0,0174
0,40	0,3446	1,40	0,0808	2,40	0,0082	0,40	0,6744	1,40	0,1616	2,40	0,0164
0,42	0,3372	1,42	0,0778	2,42	0,0078	0,42	0,6600	1,42	0,1556	2,42	0,0156
0,44	0,3300	1,44	0,0749	2,44	0,0073	0,44	0,6456	1,44	0,1498	2,44	0,0146
0,46	0,3228	1,46	0,0721	2,46	0,0069	0,46	0,6312	1,46	0,1442	2,46	0,0138
0,48	0,3156	1,48	0,0694	2,48	0,0066	0,48	0,6170	1,48	0,1388	2,48	0,0132
0,50	0,3085	1,50	0,0668	2,50	0,0062	0,50	0,6170	1,50	0,1336	2,50	0,0124
0,52	0,3015	1,52	0,0643	2,52	0,0059	0,52	0,6030	1,52	0,1286	2,52	0,0118
0,54	0,2946	1,54	0,0618	2,54	0,0055	0,54	0,5892	1,54	0,1236	2,54	0,0110
0,56	0,2877	1,56	0,0594	2,56	0,0052	0,56	0,5754	1,56	0,1188	2,56	0,0104
0,58	0,2810	1,58	0,0571	2,58	0,0049	0,58	0,5620	1,58	0,1142	2,58	0,0098
0,60	0,2743	1,60	0,0548	2,60	0,0047	0,60	0,5486	1,60	0,1096	2,60	0,0094
0,62	0,2676	1,62	0,0526	2,62	0,0044	0,62	0,5352	1,62	0,1052	2,62	0,0088
0,64	0,2611	1,64	0,0505	2,64	0,0041	0,64	0,5222	1,64	0,1010	2,64	0,0082
0,66	0,2546	1,66	0,0485	2,66	0,0039	0,66	0,5092	1,66	0,0970	2,66	0,0078
0,68	0,2483	1,68	0,0469	2,68	0,0037	0,68	0,4966	1,68	0,0930	2,68	0,0074
0,70	0,2420	1,70	0,0446	2,70	0,0035	0,70	0,4840	1,70	0,0892	2,70	0,0070
0,72	0,2358	1,72	0,0427	2,72	0,0033	0,72	0,4716	1,72	0,0854	2,72	0,0066
0,74	0,2296	1,74	0,0409	2,74	0,0031	0,74	0,4592	1,74	0,0818	2,74	0,0062
0,76	0,2236	1,76	0,0392	2,76	0,0029	0,76	0,4472	1,76	0,0784	2,76	0,0058
0,78	0,2176	1,78	0,0375	2,78	0,0027	0,78	0,4354	1,78	0,0750	2,78	0,0054
0,80	0,2119	1,80	0,0359	2,80	0,0026	0,80	0,4238	1,80	0,0718	2,80	0,0052
0,82	0,2061	1,82	0,0344	2,82	0,0024	0,82	0,4122	1,82	0,0688	2,82	0,0048
0,84	0,2005	1,84	0,0329	2,84	0,0023	0,84	0,4010	1,84	0,0658	2,84	0,0046
0,86	0,1949	1,86	0,0314	2,86	0,0021	0,86	0,3898	1,86	0,0628	2,86	0,0042