

République Algérienne Démocratique Et Populaire

**Ministère De L'Enseignement Supérieur Et La Recherche
Scientifique**

Faculté Des Sciences Agro-Vétérinaires et Biologiques

Département

Des Sciences Agronomiques

**Impact De La Substitution Du Sodium Sur La
Qualité Du Fromage Fondu**

Mémoire de Fin d'Etude en vue de l'obtention
Du diplôme de Master en Sciences de La Nature et de La Vie

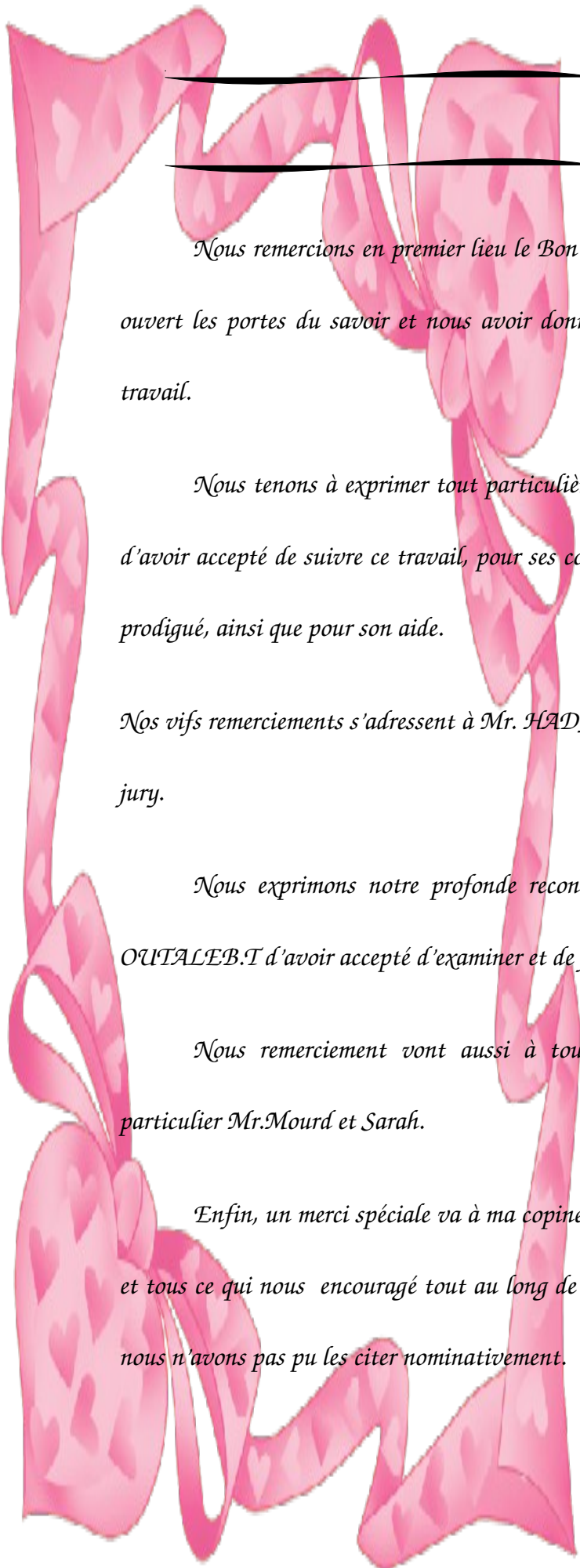
Option : Sciences Alimentaires

M^{LLE} BENTCHIKOU Khadidja

Devant le jury composé de :

Mr. HADJ SADOK. T	Maître de conférences B	USDB	Président de jury
Mme. ACHEHEB.H	Maître Assistante A	USDB	Promotrice
Mme. ADBELLAOUI.Z	Maître Assistante A	USDB	Examinatrice
Mme. OUTALEB. T	Maître Assistante B	USDB	Examinatrice

Année Universitaire 2012/2013



:Au nom d'Allah clément de miséricordieux

Nous remercions en premier lieu le Bon Dieu le tout puissant de nous avoir illuminées et ouvert les portes du savoir et nous avoir donné la volonté et le courage d'élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer tout particulièrement notre gratitude à Madame ACHÉHÉB.H d'avoir accepté de suivre ce travail, pour ses conseils avisés, pour son encouragement qui nous a prodigué, ainsi que pour son aide.

Nos vifs remerciements s'adressent à Mr. HADJ SADOÛT qui nous fait l'honneur de présider ce jury.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à Mme. ABDELLAOUI.Z et Mme. OUTALEB.T d'avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Nous remerciment vont aussi à tous les personnels de l'industrie GOUMIDI en particulier Mr.Mourd et Sarah.

Enfin, un merci spéciale va à ma copine Imen MISSERAOUI qui m'a beaucoup soutenu et tous ce qui nous encouragé tout au long de notre parcours universitaire et académique et que nous n'avons pas pu les citer nominativement.

Résumé :

Le but de ce travail est de déterminer l'impact de la réduction du sodium et de sa substitution par un succédané sur les propriétés physico-chimique, microbiologiques, et sensorielle du fromage fondu.

En premier lieu, le fromage fondu a été substitué par 3 combinaisons (65%KCl, 50% KCl 100%KCl). La substitution à différents pourcentages de sel n'a pas eu d'influence remarquable sur la composition, les activités microbiologiques et enzymatiques.

Il a eu ainsi peu d'influence sur les propriétés fonctionnelles du fromage selon les résultats de l'analyse sensorielle.

Il est donc possible de produire du fromage fondu réduit en sodium ayant une composition et des caractéristiques fonctionnelles comparables à un fromage fondu régulier.

Ce fromage réduit en sodium pourrait être consommé par des gens hypertendus et utilisé comme ingrédient dans des préparations alimentaires sans diminuer la qualité du produit final.

MOTS-CLÉS : Fromage fondu, sel, pression artérielle, réduction et substitution du sodium.

Abstract

The goal of this project is to quantify the impact of sodium reduction and substitution by KCl on the production of cream cheese.

First, the cream cheese was replaced by three terms saline (KCl 65%, 50% KCl 100% KCl). The Substitution at various percentages of salt had no remarkable influence on the composition, microbiological and enzymatic activities.

It had a little influence on the functional properties of cheese as tasters.

Low sodium Cream cheese may be produce without decreasing the quality and functional properties of the cheese.

This reduced sodium cheese could be consumed by hypertensive people and used as an ingredient in food preparations without reducing the quality of the final product.

KEY WORDS: Creeme cheese, salt, blood pressure reduction and substitution of sodium.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هي تحديد تأثير تخفيض الصوديوم و استبداله, على الجودة النوعية و الحسية في الجبن المذاب.

أولا تم استبدال الجبن المذاب بثلاث كميات من المستبدلات على النحو التالي (65% من كلوريد البوتاسيوم مع 35% من كلوريد الصوديوم; 50% لكل من من كلوريد البوتاسيوم و كلوريد الصوديوم; و 100% من كلوريد البوتاسيوم)

لم يلحظ التعويض بنسبه المختلفة أي تأثير فعال على التركيبة أو الأنشطة الميكروبيولوجية

.بينما كان له تأثير ضئيل على الخصائص الوظيفية للجبن المذاب طبقا للنتائج

و بالتالي, فانه من الممكن إنتاج جبن مذاب مخفض من نسبة الصوديوم بتركيبة مماثلة لجبن مذاب عادي, حيث يمكن استهلاكه من قبل مرضى ضغط الدم أو حتى استعماله في التحضيرات الغذائية دون المساس بجودة المنتج النهائي

: الكلمات الاساسية

.جبن مذاب, ملح, ضغط الدم, تخفيض الصوديوم و استبداله

Liste des abréviations :

Abs : absence

ADP : Adénosine Diphosphates

AFNOR : Association française de normalisation

AJR : apport journalier recommandé

AFSSA : L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments

ATP : Adénosine Triphosphates

Aw : activité de l'eau (water)

CaCl₂: chlorure de calcium

DJA : Dose journalière admissible

EDTA : Ethylène diamine tétra-acétique

EST : Extrait sec total

F°: Degré français

FAO: Food and agriculture organisation

h: Heure

H: Humidité

J.O.R.A.: Journal Officiel de la République Algérienne

g : Gramme

G/S : Gras sur sec

K⁺ : potassium

Kcl : chlorure de potassium

Kcal : Kilocalorie

Kg : Kilogramme

L : Litre

ml : Millilitre

mg : Milligramme

MG : Matière grasse

MgCl₂ : chlorure de magnésium

MGLA :matiere grasse laitiere animale

MS : Matière sèche

Na⁺ : sodium

NaCl : chlorure de sodium

NPP : Nombre plus probable

OMS : Organisation mondiale de la santé

PCA: Plat count agar

pH: Potentiel d'hydrogène

Pi : Phosphate inorganique.

SAG : Spores anaérobies gazogènes

S.aureus : Staphylococcus aureus

SM : solution mère

T° : Température

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Titre hydrométrique

TSE : Tryptone sel eau

V : volume

VF : Viande foie

VRBL : Gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre.

Liste des Tableaux :

Tableau n°1: Défauts de fabrication d'origine physique.....	15
Tableau n°2 : Apports suffisants en potassium	21
Tableau n°3 : Apports nutritionnels conseillés de chlorure selon les tranches d'âge.....	23
Tableau n°4: Ingrédients et quantités utilisés pour la fabrication de fromage fondu Okids.....	39
Tableau n°5 : les quantités de sodium et de potassium dans les matières premières.....	40
Tableau n°6 : formulation des essais.....	40
Tableau n°7: les analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements...	45
Tableau n°8: les analyses microbiologiques effectuées sur les différents prélèvements.....	56
Tableau n° 9: résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de lait.....	70
Tableau n°10 : résultats des analyses physico-chimiques du cheddar.....	71
Tableau n°11: résultats des analyses physico-chimiques du Beurre.....	71
Tableau n°12 : résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de process.	72
Tableau n°13 : les résultats physico-chimiques des produits finis.....	73
Tableau n° 14: les résultats microbiologiques de la poudre de lait.....	80
Tableau n° 15 : les résultats microbiologiques du cheddar.....	81
Tableau n° 16 : les résultats microbiologiques du beurre.....	82
Tableau n° 17: les résultats microbiologiques de l'eau de process.....	82

Tableau n °18 : les résultats microbiologiques des produits fini.....	83
Tableau n°19 : Tableau n ° 19: Suivi du pH des produits finis au cours du stockage	84
Tableau n°20: Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte.....	Annexe
Tableau n°21 : Teneur en sodium dans différents aliments.....	Annexe
Tableau n ° 22 : Table de mac-graday (eau).....	Annexe
Tableau n° 23 : Table Mac-Graday.....	Annexe
Tableau n°24 : Analyse de variance du pH.....	Annexe
Tableau n° 25: Analyse de variance des Protéines.....	Annexe
Tableau n°26: Analyse de variance de l'EST.....	Annexe
Tableau n° 27: Analyse de variance de MG.....	Annexe
Tableau n° 28: Analyse de variance de l'humidité.....	Annexe
Tableau n° 29: Analyse de variance du G/S.....	Annexe
Tableau n° 30: Analyse de variance des ions Na ⁺	Annexe
Tableau n° 31: Les groupes homogènes des ions Na ⁺	Annexe
Tableau n° 32: Analyse de variance des ions K. ⁺	Annexe
Tableau n° 33: Les groupes homogènes des ions K ⁺	Annexe

Liste des figures :

Figure n°1 : Phase de la peptisation et formation de paracaseinate de sodium soluble dans l'eau.....	7
Figure n°2: Principales voies de fabrication de la spécialité fromagère fondue.....	11
Figure n° 3 : le fonctionnement de la pompe sodium/potassium.....	24
Figure n°4 : Les étapes de fabrication du fromage fondu selon GOUMIDI.....	36
Figure n°5 : Résultats du pH des essais.....	72
Figure n°6 : Résultats de la teneur en protéines des essais.....	73
Figure n°7 : Résultats de la teneur en Extrait Sec Total des essais.....	73
Figure n° 8 : Résultats de la teneur en Matière grasse des essais.....	74
Figure n°9 : Résultats de la teneur en eau des essais	75
Figure n°10 : Résultats de rapport G/S	75
Figure n°11 : Résultats de dosage des ions Na ⁺ et K ⁺	76
Figure n° 12 : Suivi du pH des produits finis au cours du stockage à 4°C.....	83
Figure n°13 : Les différentes catégories des dégustateurs	83
Figure n°14 : L'essai 1	85
Figure n°15 : L'essai 2.....	85
Figure n°16 : L'essai 3	85
Figure n°17 : Classement des échantillons.....	86
Figure n°18 : Résultats des analyses sensorielles.....	91
Figure n°19 : Représentation schématisée des phénomènes biochimiques de la fonte.....	Annexe
Figure n°20 : Préparation des dilutions pour les produits liquides.....	Annexe

Figure n°21 : Préparation de la dilution mère et les dilutions décimales pour le produit solide.....	Annexe
Figure n° 22: Recherche et Dénombrement des germes aérobies totaux mésophiles.....	Annexe
Figure n° 23: Recherche et dénombrement des sports de Clostridium sulfito-réducteur.....	Annexe
Figure n°24 : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu solide.....	Annexe
Figure n°25: Recherche et dénombrement des coliformes dans un milieu liquide.....	Annexe
Figure n° 26: Recherche et dénombrement de staphylococcus aureus.....	Annexe
Figure n° 27: Recherche et dénombrement des levures et moisissures.....	Annexe
Figure n° 28: Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau.....	Annexe
Figure n°29: Recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau de process.....	Annexe
Figure n° 30: Recherche des streptocoques fécaux dans l'eau de process.....	Annexe
Figure n° 31: Recherche et dénombrement des spores de clostridium sulfito-réducteur dans l'eau de process.....	Annexe
Figure n° 32 : Appareillages et verreries.....	Annexe
Figure n° 33: Les milieux de culture.....	Annexe
Figure n° 34: Matière premières utilisées.....	Annexe

Introduction

Introduction :

Le fromage a toujours été une valeur sûre de l'alimentation humaine, et le fromage fondu est l'un de ses types.

Le fromage fondu est une préparation beaucoup plus récente, qui a permis une stabilisation bien plus poussée des protéines laitières, tout en conservant plus ou moins au produit fini l'aspect d'un fromage. Produit initialement destiné à la consommation directe, c'est encore aujourd'hui un type de fromage parfaitement adapté aux habitudes de consommation. Tartinable, de saveur douce, c'est un aliment énergétique riche en protéines et en minéraux ; parmi ces derniers on trouve le NaCl qui est ajouté au cours de la fabrication.

Le sodium est un élément omniprésent dans notre environnement et dans notre alimentation, soit par la composition même de l'aliment ou par l'ajout de sel lors de transformations alimentaires. Le sodium est essentiel au bon fonctionnement de l'organisme, notamment pour le maintien du volume et de la composition du liquide extracellulaire. Toutefois, selon l'American Heart association, une surconsommation de sodium a des effets néfastes sur la santé, dont l'hypertension et divers problèmes cardio-vasculaires (**Sacks, 2001**).

Pour l'industrie fromagère, le sel est très important et il a des rôles tant technologiques que gustatifs.

Lors d'une production fromagère, le sel abaisse l'activité de l'eau (A_w), contribue à la préservation du produit, module les réactions microbiologiques et enzymatiques, influence la saveur et les propriétés fonctionnelles du produit final (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002 ; Hardy, 2004**).

Des études ont été menées pour vérifier l'impact du remplacement (total ou partiel) du NaCl par d'autres sels, principalement le KCl, dans certains fromages dont les fromages cheddar, feta, halloumi et le Mozzarella qui a été fait par docteur Emilie Thibaudeau, 2011. Ces études montrent qu'un remplacement partiel est possible sans affecter la qualité du produit fini, selon différents taux de substitutions.

Selon le type de fromage, une substitution plus grande pouvait entraîner des problèmes, notamment au niveau des caractéristiques gustatives (**Lindsay *et al*, 1982; Reddy et Marth, Fitzgerald et Buckley, 1985; Reddy et Marth, 1994 ; Katsiari *et al*, 1997;**).

Introduction

Dans le présent travail nous voulons montrer la possibilité de produire un fromage fondu réduit en sel qui pourra remplacer le fromage fondu régulier pour les gens hypertendus et même non hypertendus, et qui pourra être aussi ajouté dans les préparations culinaires sans altérer la qualité originale.

Ainsi l'étude est articulée au tour de trois axes :

- une Synthèse Bibliographique.
- une partie Matériel et Méthode.
- Et une partie Résultats et discussion.

Objectif :

Notre objectif est fondé sur la réduction et la substitution de chlorure de sodium (NaCl) par le chlorure de potassium (KCl) à différents pourcentages afin de déterminer son effet sur le fromage fondu et aboutir à un fromage réduit en sel qui pourra être consommé par des individus hypertendus ou même des personnes préférant des produits alimentaires moins salés.

I- Lieu de Stage :

L'ensemble de notre travail a été effectué au sein de l'atelier de fromage fondu, au niveau du laboratoire d'analyses microbiologiques et physico-chimiques et à la salle des essais d'appréciation de produit de la laiterie «Gouday- Okids- située à la zone industrielle de Ouled yaiche à Blida durant la période allant du mois de Février au mois de Mai 2013. Où s'est réalisé la fabrication, la caractérisation microbiologique et physico-chimique ainsi les séances d'évaluation sensorielle.

Les dosages des protéines, de K⁺ et de Na⁺ ont été fait au laboratoire privé.

II- Matériel**II-1- Matériel biologique**

Au cours de la réalisation de ce travail nous avons utilisé les matières premières suivantes : fromage, préfonte, beurre, poudre de lait 26% de MG ; eau de formulation, caséine, sels, et sels de fonte.

II-2- Matériel non biologiques :

Il concerne : les réactifs, la verrerie utilisés pour les analyses physico-chimiques et les additifs alimentaires, les milieux de cultures, les boites de pétri ainsi l'appareillage et l'équipement.

II-2-1- Equipement (voir annexe)**II-2-2- L'appareillage:**

Il Concerne : Centrifugeuse, bain marie, pH mètre, broyeur, pétrin, dessiccateur, balance analytique, étuve ventilé, baguettes en verre, flacons mélangeur, pipette pasteur, butyromètre incubateur réfrigérateur.

II-2-3- Les réactifs: alcool iso amylique, acide sulfurique (d=1.522), (1.825) eau distillée. Milieu de culture VRBL, PCA, BEA, Sabouraud, Baird Parker, VF (additifs alin de fer + sulfure de sodium), Eau Peptone Tamponné, chapman ;Giotti cantonie..

III- Procédé de la fabrication du fromage fondu à okids :

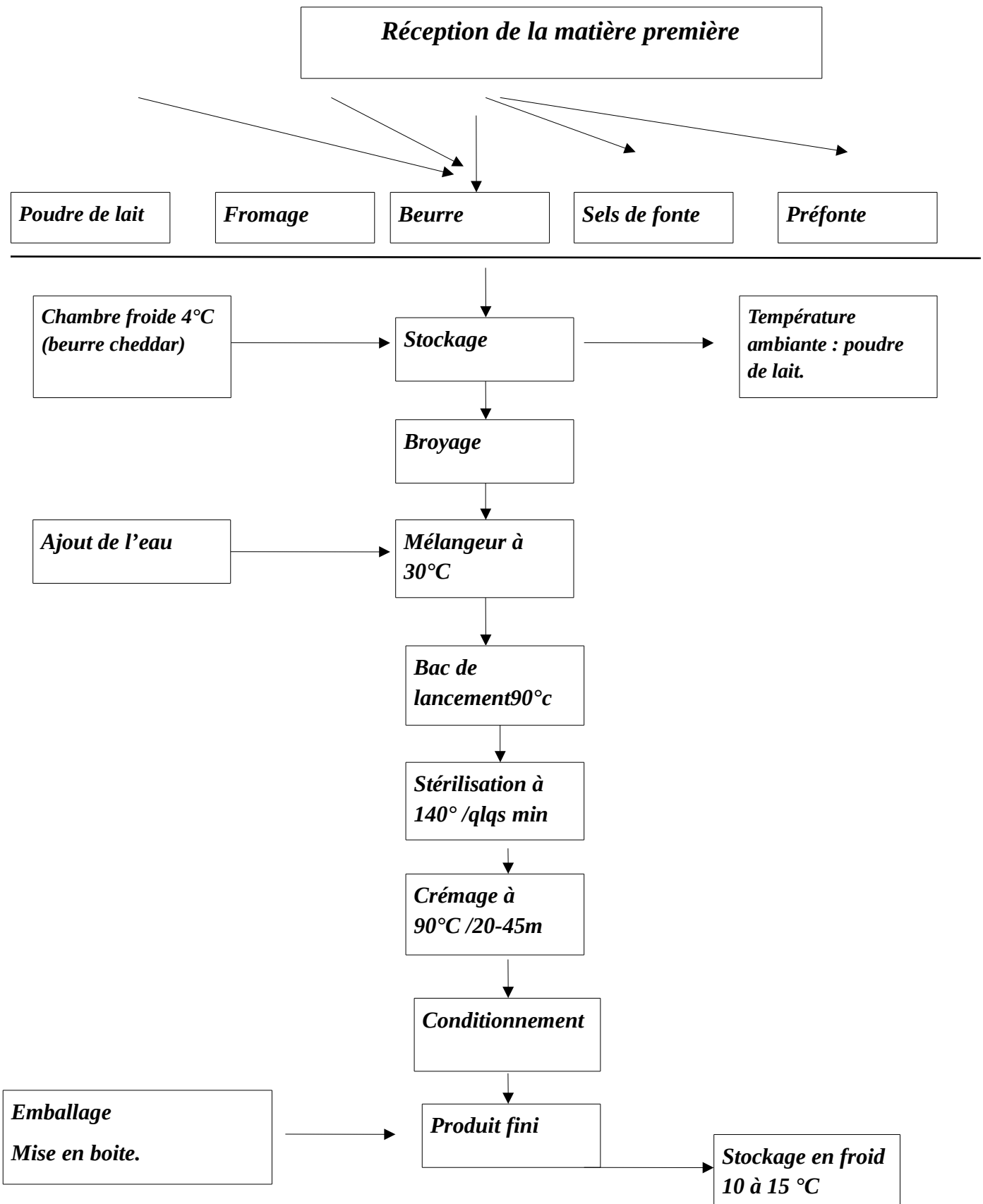


Figure n°4 : Les étapes de fabrication du fromage fondu selon l'entreprise.

IV- Méthodes :**1- Essais de substitution du sel dans le fromage :****1.1- Fromage fondu témoin :**

Le calcul de formulation du fromage fondu est important, non seulement pour respecter la législation (MG, EST et G/S doivent être conformes aux indications déclarée), mais aussi pour assurer la rentabilité des produits (**Kasomel, 1990**). La recette a été fixée par okids de façon à obtenir un produit ayant un : EST, MG, MAT, G/S conforme aux Normes et objectifs physicochimiques. Les différents ingrédients utilisés pour la fabrication de fromage fondu Okids et leurs quantités sont indiquées dans le tableau ci-après.

Tableau n°4: ingrédients et quantités utilisés pour la fabrication de fromage fondu Okids :

Ingrédients	Quantité pour 1kg	%
Poudre de lait	160g	16
Beurre	100g	10
Cheddar	120g	12
Nacl	3 g	0.3
A.Citrique	3g	0.3
Protéines de lait	30 g	3
Eau	550ml	55
Sels de fonte	22g	2.2

Les teneurs en sodium et en potassium des principales matières premières sont sur le tableau suivant :

Tableau n°5 : les quantités de sodium et de potassium dans les matières premières :

Ingrédients :	Quantités de Sodium mg/100g	Quantité de potassium mg/100g
Cheddar	62	98
Poudre de lait	494	1674
Beurre	13	17.8

1-2 Essais de formulation :

La démarche a consisté en une formulation d'un fromage fondu témoin selon la recette Okids et formulation de 3 essais de fromage fondu avec les pourcentages de substitution du(NaCl) suivant : 65% kcl, 50%kcl, et 100% kcl.

2- Problématique :

Substitution partielle du (NaCl) par du (KCl), dans une production de fromage fondu afin de produire un fromage réduit en sodium sans affecter ses propriétés technofonctionnelles et organoleptique.(obtenir un fromage hyposodique ayant un profil (gustatif et fonctionnel).

Le travail consiste à remplacer des quantités de (NaCl) par des quantités de KCl dans la formulation de fromage fondu comme suit :

Tableau n°6 : formulation des essais

Calcul des quantités de KCl à additionner :

	35%NaCl	65%KCl	50%NaCl	50%KCl	0%NaCl	100%KCl
E1	1.05g	2.92g				
E2			1.5g	2.25g		
E3					0g	4.5g

Sachant que :

1 mole NaCl \longrightarrow 58.44g

? \longrightarrow 1 g

1g NaCl \longrightarrow 1.5g kcl

Dont on introduit 3g de NaCl dans la fabrication selon la recette okids. (fromage témoin).

Afin de maîtriser les paramètres de production (qualité et composition de la matière première, standardisation, temps technologiques, etc.) des contrôles simples de composition (extrait sec, matière grasse, pH, sel) sont régulièrement effectués sur les chaînes de production (Eck et Gillis, 1997).

◆ **Sélection de matières premières : ISO 707(V04-150) :**

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

Nous avons effectué un prélèvement pour chaque matière première d'après le même lot introduit dans la fabrication elle-même. Le prélèvement doit s'effectuer dans des conditions de travail aseptiques en utilisant un bec bunsen ou sur le terrain, une lampe à gaz. Il faut éviter les courants d'air, les déplacements et discussions inutiles.

Chaque matière première a sa propre méthode de prélèvement.

3- Prélèvement de la matière première :

Le prélèvement s'effectue à l'aide d'une sonde de prélèvement stérile pour la poudre de lait, un couteau stérilisé pour le beurre et le cheddar, et pour l'eau on la laisse couler quelque instants on flambe le robinet et puis on remplit l'eau à analyser dans des flacons de 225ml.

IV-2 Mélange, fonte et cuisson :

L'ensemble de ces opérations (mélange, fonte, cuisson) est réalisé dans le même appareil appelé cuiseur ou pétrin ou cutter qui travaille en discontinu. Le mélange est porté à 70-95°C dans un cuiseur à double parois afin de bien sauvegarder la température régnant à l'intérieur et peut également apporter un chauffage complémentaire.

Le cuiseur est guidé manuellement par un réglage au préalable de l'appareil, toute en maîtrisant les différents paramètres nécessaires pour la fabrication du fromage fondu :

- ✓ Temps de broyage ;
- ✓ Quantité et temps d'injection d'eau sous formes de vapeur ;
- ✓ Temps et température de cuisson ;
- ✓ Temps et température de crémage ;

IV-3 Mélange :

Les charges sont versées dans des wagonnets et amenées au cuiseur où elles vont subir un deuxième broyage.

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

La réhydratation des poudres avant mélange est favorable à l'obtention d'un mélange homogène facilitant l'action des sels de fonte. **(Eck et Gillis, 1997)**

L'homogénéité du mélange est fondamentale pour assurer une bonne qualité du produit fini. **(Boutonnier, 2000).**

IV-4 Cuisson :

C'est l'étape où est réalisée la fonte proprement dite.

Après l'étape du broyage la température est augmentée par injection directe de vapeur d'eau à une pression de 1,5 bar, celle-ci varie selon la température qu'on veut atteindre. Pour accélérer le processus de cuisson, la température augmente au fur et à mesure que l'étape de cuisson se fait. À noter pour cette étape la quantité d'eau injectée, le temps et la température de cuisson.

En suite, un vide est exercé, ce qui permet d'éliminer certaines odeurs indésirables et d'autre part, il empêche la formation dans le produit de trous d'air, **(Kasomel, 1990).**

Le vide permet aussi de réguler plus facilement le pourcentage d'humidité par l'élimination d'excès d'eau. Le refroidissement du produit à la température 85°C peut être obtenu par injection d'eau froide et par l'utilisation de vide.

IV-5 Crémage :

L'opération de crémage est réalisée aussi dans le cuiseur par recyclage tournant à 800tr/min et par action du racleur qui tourne à raison de 7 à 23 tr/min.

Un fromage fondu à haute température a tendance à surcrémer facilement, contrairement à la fonte à température inférieure à 100°C, où il faut un temps relativement long avant de constater un épaississement de la pâte. Puisque le cuiseur n'est pas doté de viscosimètre, qui informe le patricien du moment auquel la masse doit être pompée vers les couleuses. Ce viscosimètre n'est toujours pas applicable à des températures de fonte inférieures à 100°C. **(Kasomel, 1990)**

De se fait pour vérifier l'épaississement de la pâte et donc sa viscosité, nous ouvrons le cuiseur rapidement à chaque fois et nous vérifions par observation de l'écoulement de la pâte à l'aide d'une spatule et selon la viscosité de la pâte, nous rajoutons le temps de crémage où elle est pompée directement vers les couleuses si la pâte est bien crémée.

IV-6 Conditionnement :

Le prélèvement est effectué, juste à la fin de crémage dans des TPS stériles pour les analyses physicochimiques et dans des sachets stomacher pour les analyses microbiologiques de l'étude de stabilité et dans des flacons stériles pour le test sensoriel.

IV-7 Refroidissement du produit fini :

Le mode de refroidissement du fromage fondu varie selon le format et le type du produit. Le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte. (**Boutonnier, 2000**).

Le produit est refroidi à la température de 15-20°C. Le refroidissement doit être uniforme et relativement rapide pour obtenir une consistance régulière et pour quitter rapidement la zone de température de 30-37°C favorable au développement des bactéries indésirables.

Le crémage n'est stoppé complètement que lorsque la température du fromage atteint 20°C dans la masse c'est le cas pour le fromage fondus à couper (**Kasomel, 1990**).

Dans notre cas le fromage a subi un refroidissement à la température ambiante dans des boîtes stériles.

IV-8 Conservation :

Pour faire l'analyse sensorielle, nous avons pris pour chaque essai un échantillon dans des boîtes stériles. Une fois que le temps de refroidissement est terminé, l'échantillon doit être mis à froid (réfrigérateur). Le froid a pour but d'arrêter la réaction de crémage.

V Analyses physicochimiques et microbiologiques :

V-1 Les analyses physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques ont pour avantage de signaler toute erreur de fabrication, toute modification des paramètres au cours du processus de fabrication et renseigner sur la correction à porter.

Tableau n°7 : les analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements :

Echantillons	EST %	MG%	H°	G/S %	pH	Protéines
Poudre de lait	+	+	+	+	+	-
Beurre	+	+	+	+	+	-
Cheddar	+	+	+	+	+	-
Produits finis	+	+	+	+	+	+

V-1-1Détermination de l'extrait sec :

Norme : AFNOR, (1986).

Définition :

L'extrait sec c'est la proportion de matières sèche entrant dans la composition des aliments ayant subie une dessiccation totale à l'étuve ($103^{\circ} \pm 1$ pendant plusieurs heures), afin de définir les différents types de fromage (**Luquet 1981**).

a- Principe :

C'est une dessiccation jusqu'au poids constant de l'échantillon.

b- Mode opératoire :

➤ Pour la poudre de lait :

Dans la coupelle d'aluminium stérile sèche et tarée on pèse 2g de poudre de lait puis l'introduire dans l'étuve à 103°C pendant 3h.

➤ Pour le beurre :

Dans la coupelle d'aluminium stérile sèche et tarée on pèse 5 g, on introduit dans l'étuvée à 103° pendant 5 h.

On met ensuite la coupelle dans le dessiccateur en verre pendant 45 min afin qu'il se refroidisse et pour l'absorption des traces d'eau par le gel de silice.

➤ Pour le fromage :

Dans la coupelle d'aluminium stérile sèche et tarée on pèse 3 g, puis on introduit dans l'étuve à 103° pendant 5 h.

c- Calculs et expression des résultats :

L'extrait sec est exprimé en % massique est égale à :

$$\frac{(M1-Mo)}{(M2-Mo)} \cdot 100$$

Où :

Mo = masse en gramme de la coupelle

M1 = masse en gramme de la coupelle et du résidu après dessiccation.

M2 = masse en gramme de la prise d'essai.

V-9-1-2 Détermination de l'humidité :

La teneur en eau appelée aussi taux d'humidité s'exprime en pourcentage de masse de produit elle est déterminée selon la formule suivante :

$$H\% = 100 - EST$$

V-1-3 Détermination de matière grasse :

Norme : NF VO4 -287, (2002)

a-Définition :

La matière grasse proprement dite ou lipides neutres constituée de glycérides ou acylglycérols présente 98 %, elle est solide à température ambiante se trouve en fine dispersion dans les globules gras (Charles Alais, 2003).

b-Principe :

Basé sur l'attaque d'un acide sulfurique des matières non grasses qui sont dissoutes puis suivie d'une séparation par centrifugeuse (1110 tours/min) en présence d'alcool isoamylique.

c- Mode opératoire :

- Pour la poudre de lait :

- Dans un Butyromètre on introduit 10 ml d'acide sulfurique de densité 1.825.
- Ajouter 10 ml d'eau distillée, 2.5 g de poudre de lait et 1 ml d'alcool iso-amylque.
- Fermer le butyromètre avec un bouchon sec et propre
- Déposer le butyromètre dans un bain marie à température 65 ° C pendant 5 min.
- Centrifuger à 1110 tours / min durant 10 min.
- On prolonge le butyromètre verticalement, bouchon vers le bas dans le bain marie 65°C et on le laisse 5 min.
- Lire la valeur de MG sur le tube de butyromètre.
- Pour le beurre :
 - Peser dans un godet du butyromètre préalablement taré, 5 g de beurre.
- Introduire le godet contenant la prise d'essai dans le butyromètre et fixer le bouchon.
- Ajouter délicatement et dans l'ordre : 10 ml d'acide sulfurique de densité 1.820 puis 1 ml d'alcool iso-amylque.
- Ajuster le niveau par l'eau distillée jusqu'à la graduation 85.
- Boucher le butyromètre et opérer des retournements successifs jusqu'à dissolution complète de beurre.
- Centrifuger le butyromètre pendant 10 min dans une centrifugeuse Gerber.
- Sertir le butyromètre, faire si nécessaire un premier ajustement de la colonne de la matière grasse et placer au bain marie à 65° C.
- Après 5 min on procède rapidement à la lecture.
- Pour le Fromage :
 - Dans un butyromètre on introduit 10 ml d'acide sulfurique de densité 1.522.
 - On ajoute 3 g du fromage par la suite on agit le butyromètre avec précaution mais énergiquement et rapide.

-Mettre le butyromètre dans un bain marie à 65° C pendant 45 min jusqu'à avoir un fondu du fromage.

-On ajoute l'acide sulfurique jusqu'à atteindre 40% du butyromètre et 1 ml d'alcool iso-amylque.

-Le remettre dans le bain marie pendant 5 min après une bonne agitation.

-On centrifuge 10 min à une vitesse de 1030 tours /S.

-Remet dans le bain marie à 65°C pendant 5 min et on fait la lecture.

d-Calcul et expression des résultats :

On maintient le butyromètre verticalement et on fait la lecture rapidement.

$$MG = B - A$$

B = la valeur de matière grasse lue sur l'extrémité supérieur de butyromètre.

A = la valeur de matière grasse lue sur l'extrémité inférieur de butyromètre.

Le résultat est exprimé en % massique.

V-1-4 Calcul du rapport G/S :

La teneur en matière grasse dans la matière sèche exprimée en gramme pour 100 g de matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$R = G/S (\%) = (M G / EST) \times 100$$

R = rapport

G = Matière grasse

S : matière sèche

V-1-5 Détermination du pH :

a- Définition :

C'est le potentiel chimique des ions dans une solution. Il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, équipé d'une sonde de température et une sonde de pH.

b- Principe :

Repose sur la différence de potentiel chimique entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H.

c- Mode opératoire :

Etalonner le pH mètre en plongeant l'électrode dans une solution tampon, puis l'introduire dans l'échantillon à analyser et attendre jusqu'à la stabilité du pH et lire la valeur affichée.

Préparation de la matière première :

➤ Poudre de lait

• Mode opératoire

Dans un bécher, peser $3 \pm 0,003$ g de l'échantillon, ajouter 30 ml d'eau distillée fraîchement bouillie et refroidie, bien mélanger à l'aide d'une baguette de verre, jusqu'à complète dispersion de la prise d'essai, placer pendant 3-4 heures dans le réfrigérateur, effectuer la mesure électrique à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ tout en agitant le contenu du bécher.

➤ Cheddar

• Mode opératoire

Peser 10g de fromage cheddar, qui sont dissous dans 90ml d'eau distillé à l'aide d'un agitateur magnétique, puis filtré la suspension à l'aide du papier filtre placer dans un entonnoir sur un bécher, le pH est déterminé sur le filtrant par potentiomètre à l'aide d'un pH mètre.

V-6 Les analyses physico-chimiques de l'eau :**V-6-1 Détermination du titre alcalimétrique :**

Norme : AFNOR, (1986)

a- Définition :

Le TA mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates alcalins caustique (**Rodier, 2005**).

b- Mode opératoire :

-Dans un bécher de 200 ml verser 100 ml d'eau à analyser ajouter 2 gouttes de phénophtaléine, une coloration rose doit se développer.

-Le cas contraire (pas de coloration) TA = 0, correspond aux eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8.3.

-Verser ensuite doucement l'acide à l'aide d'une burette en agitant jusqu'à décoloration complète de la solution.

c- Expression des résultats :

Si on n'a pas de coloration : TA= 0

Sinon V exprime le titre alcalimétrique en degré français (F°)

V=volume nécessaire pour la décoloration de la solution.

V-1-6-2 Détermination du titre alcalimétrique complet : (TAC) :

Norme : AFNOR, (1986)

a- Définition :

Le TAC est la teneur de l'eau en alcalis libérée, carbonates et hydrogénocarbonates (**Rodier, 2005**).

b- Mode opératoire :

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou s'il n'y'a pas eu coloration ajouter 2 gouttes de méthylorange de nouveau avec le même acide, on titre jusqu'à virage du jaune au jaune orange (pH = 4.3). S'assurer qu'une goûte d'acide provoque le passage du jaune orange ou rouge orange (pH =4).

c- Expression des résultats :

Soit V le volume d'acide nécessaire à la neutralisation.

$$\text{TAC}=\text{V (F}^\circ\text{)}$$

V-1-6-3 Détermination du titre hydrométrique :

Norme : AFNOR, (1986)

a- Définition :

Le titre hydrométrique est basé sur le titrage par complexométrie du Ca^{++} et Mg^{++} avec une solution aqueuse de sel désodique d'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA). La solution de pH =10, indicateur coloré noir erichrome, donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions de calcium et de magnésium.

Lors du titrage l'EDTA réagit d'abord avec les ions Ca^{++} et Mg^{++} libérés en solution, puis au point d'équivalent avec les ions Ca^{++} et Mg^{++} . Le Mg^{++} libéré et provoque un changement de couleur de violet au bleu.

On a besoin d'une solution tampon pH = 10, EDTA 0.02N et un indicateur coloré (noir erichome).

b- Mode opératoire :

Dans un bécher de 200 ml on introduit 100 ml à analyser puis on ajoute 10 ml de solution tampon (K10) et 2 gouttes de l'indicateur coloré. La solution se colore en violet, on titre ensuite avec l'EDTA en agitant jusqu'au virage du violet au bleu.

c- Expression des résultats :

$$TH = V (F^\circ)$$

Soit nécessaire à la titration donc la dureté totale est exprimée en degré français (F°).

V-1-6-4 Détermination de chlorure Cl^- :

Norme : AFNOR, (1986)

a- Mode opératoire :

Dans un bécher on introduit 10 ml d'eau à analyser puis on ajoute 10 gouttes de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$) à 10%, on titre avec la solution de nitrate d'argent (AgNO_3) jusqu'au virage du jaune au rouge brique.

b- Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 100ml.

$$CL = V \times 10 \times 35,5.$$

D'où :

V = volume nécessaire pour le titrage.

Les chlorures sont exprimés en mg Cl-/l d'eau (mg/l).

V-1-7 Dosage de Na^+ et K^+ par photométrie de flamme (ISO-9964/3- 1993)**Principe :**

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normal (on dit que les atomes sont excités par la flamme). Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendue au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit une gamme étalon pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme.

Appareillage :

Photomètre : EPPENDORF + Servotrace

Réglage :

- Sensibilité du photomètre 300 mV.
- Sensibilité servotrace 250 mV.
- Pression de l'Acétylène : 450 mm d'eau.
- Pression d'air : 0.45 kgp/cm²

Réactifs :

- Solution mère de sodium et de potassium :

Dissoudre dans l'eau distillée 25.434 g de chlorure de sodium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12h puis refroidit au dessiccateur.

Dissoudre simultanément 3.823 g de chlorure de potassium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12h puis refroidit au dessiccateur.

Compléter le tout à 1000ml par de l'eau distillée.

On obtient une solution contenant 10000mg/l en Na⁺ et 2000 mg/l en K⁺.

- Solution étalon en Na⁺ et K⁺ :

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000ml :

50, 40, 30, 20, 10, 5, et 2ml de la solution mère en Na⁺ et k⁺ compléter à 1000 ml par

de l'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement :

500, 400, 300, 150, 100, 50, et 20 mg/l de Na⁺.

100, 80, 60, 40, 30, 20, 10, et 4 mg/l de k⁺.

V-1-8 Détermination du teneur en Matière Azoté Total (MAT) par la méthode de référence KJEDAHN (NA 15009-2002)

◆ Principe

Cette méthode se repose sur une minéralisation qui consiste en une transformation de l'acide organique en azote minéral par chauffage en présence d'acide fort et de catalyseur, suivi d'une distillation qui correspond à un déplacement d'ammoniaque par la vapeur dans une solution de piégeage à base d'acide borique et se termine par une titration par l'acide sulfurique (**Pointurier, 2003**).

◆ Mode opératoire

Première étape : la minéralisation

- ✓ Peser la Prise d'essai dans un papier exempt de l'azote à 0.1 mg après introduire chaque PE dans un matras KJEDAHN ;
- ✓ Ajouter dans chaque matras, 2 comprimés catalyseurs composés de 6g de sulfate de potassium et 0.025g de sulfate de cuivre par 100g de catalyseur ;
- ✓ Ajouter 20ml de l'acide sulfurique concentré et homogénéiser l'ensemble rigoureusement ;
- ✓ Introduire les matras dans le minéralisateur. Préchauffé à 230°C, puis augmenter graduellement la température de system de minéralisation pendant 20 minutes à 420 °C, pour éviter la formation de mousse et le surchauffage de paroi des matras ;
- ✓ Fixer la température de minéralisation pendant 1h45 ou 2h30 selon le produit à analyser jusqu'à l'obtention d'une solution limpide (bleu clair à vert pour la PE)
- ✓ Laisser refroidir le minéralisateur pendant 25 mn à température ambiante ;

Cette étape permet la transformation de l'azote organique en sulfure d'ammonium sous l'action de H_2SO_4 et en présence de catalyseur

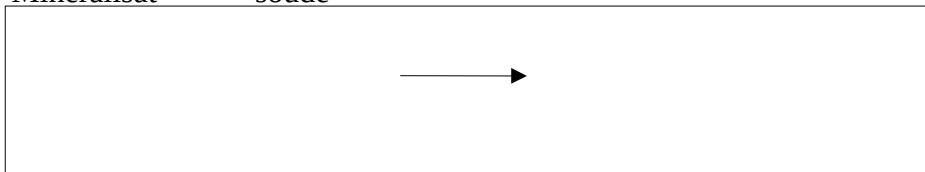


- ✓ Diluer le minéralisât avec 85ml d'eau distillé en rinçant bien les parois. Agiter précautionneusement par rotation pour dissoudre complètement les sulfates ;
- ✓ Laisser à nouveau refroidir à température ambiante ;

Deuxième étape : la distillation

- ✓ Relier le matras à l'appareil à distiller ou distillateur
- ✓ Placer sous le tube d'écoulement du distillât un récipient de 250 ml contenant 50 ml d'acide borique ;
- ✓ Alcaliniser le minéralisât en introduisant 65ml de lessive de soude à 33% ;
- ✓ Distiller de façon à récupérer environ 150 ml de distillat. Les réactions réalisées au cours de la distillation sont respectivement ;

Minéralisat + soude



Réaction avec l'acide borique



Troisième étape: le titrage

- ✓ Titrer le distillat avec l'acide chlorhydrique à N/10, jusqu'à l'apparition de la première trace rose dans le distillat ;
- ✓ Le titrage est équipé d'un pH-mètre. Le point final de titrage est atteint a pH= 4.6 qui correspond au point d'inflexion de la courbe de titrage ;

◆ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en pourcentage et donné par la formule suivant :



X : Descente de la burette (ml)

Y : La prise d'essai par rapport à la matière sèche. (g).

0,0007 : Coefficient de correction de l'acide sulfurique « La matière protéique est calculée en multipliant la quantité de l'azote total par le coefficient 6,25 ».

V-2 Analyse microbiologiques :

Le tableau n°8 indique les différents germes recherchés et dénombrés dans les différentes matières :

Tableau n°8 : les analyses microbiologiques effectuées sur les différents prélèvements :

Germes recherchés	Poudre de lait	Cheddar	Beurre	Eau de process
Germes totaux	+	+	+	+
Coliformes	+	+	+	+
S. aureus	-	+	+	-
Levures et moisissures	+	+	+	-
Clostridium sulfito-réducteur	+	+	+	+
Streptocoques fécaux	-	-	-	+

Le tableau englobe les germes recherchés dans le contrôle microbiologique avec les milieux utilisés et conditions d'incubation sur les matières premières (Voir tableau n°22 en annexe).

V-2-1. Préparation des dilutions :

Norme NF V 08-057-2 : microbiologie alimentaire directive générale pour la préparation des dilutions en vue de l'examen microbiologique.

La consistance et la texture des produits font la différence entre produit liquide et de produit solide.

❖ Cas des produits liquides : la solution mère «SM» égale à 1.

•Dilution 10^{-1} : introduire aseptiquement à l'aide d'une pipette stérile, 1 ml de SM, dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de TSE, mélanger soigneusement et doucement.

•Dilution 10^{-2} : changer la pipette et prendre toujours aseptiquement, 1 ml de la dilution 10^{-1} dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de TSE, mélanger soigneusement et doucement.

•Dilution 10^{-3} : changer la pipette et prendre toujours aseptiquement 1 ml de la dilution 10^{-2} dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de TSE, mélanger soigneusement et doucement.

Dans ce cas, nous disposons d'une solution mère et de trois dilutions décimales, comme le montre la figure n°20 dans l'annexe.

❖ Cas de produits solides : la dilution mère «DM» égale 10^{-1} dont on introduire aseptiquement 25g de produit à analyser dans un flacon stérile contenant au préalable 250 ml de TSE homogénéiser pendant 6 à 8 min selon la texture de produit.

•Dilution 10^{-2} : introduire aseptiquement à l'aide d'une pipette stérile, 1 ml de DM, dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de TSE, mélanger soigneusement et doucement.

•Dilution 10^{-3} : changer la pipette et prendre toujours aseptiquement 1 ml de la dilution 10^{-2} dans un tube à vis stérile contenant au préalable 9 ml de TSE, mélanger soigneusement et doucement.

Dans ce cas, nous disposons d'une solution mère et de trois dilutions décimales, comme le montre la figure n°21. (Annexe).

V-2-2 Recherche et dénombrement des germes totaux mésophiles

Norme NF V 08-051, (1999) : Relative au dénombrement des micro-organismes par méthode de comptage des colonies. (Voir figure n°22 dans l'annexe)

✓ **But :**

Il s'agit de compter les micro-organismes aptes à se multiplier à l'air, dont la température optimale de croissance est entre 25 et 40°C.

a- **Principe :**

Le dénombrement est réalisé sur gélose PCA, par ensemencement en profondeur ou en masse comptage des colonies lenticulaire obtenues (**Joffin et joffin, 1985**).

b- **Mode opératoire :**

A partir des dilutions décimales allant de 10^{-2} et 10^{-3} , on introduit aseptiquement 1 ml dans une boîte de pétrie, complétée avec environ 15 ml de gélose PCA fondu puis refroidie à 47°C , homogénéisé par des mouvements circulaires ; laisser solidifier, puis incuber les boîtes inversées à 30°C pendant 72 heures.

a- Lecture :

Retenir les boîtes contenant moins de 300 colonies et plus de 15 au niveau de deux dilutions successives.

- Les colonies sont en masse.
- Les résultats sont exprimés en UFC/g de produit analysé (unité formant colonie sur ml), le nombre des micro-organismes est obtenu par l'application de la formule suivante :

$$N = \frac{\sum C}{1,1d}$$

$\sum C$: somme des colonies dans les deux boîtes de dilution successives.

d : la première dilution.

V-2-3 Recherche et dénombrement des spores de clostridium sulfito-réducteur (figure n°23 en l'annexe)

Norme : AFNOR V08-407, (2011).

✓ **But :**

Détermination de l'existence ou non d'une contamination fécale ancienne car les spores de clostridium sulfito- réducteur sont très résistantes, ce qui permet de savoir si l'aliment présente un risque pour la santé du consommateur (**Joffin et Joffin, 1985**).

a- Mode opératoire :

La recherche et le dénombrement des spores de clostridium sulfito- réducteur sont effectués à partir des dilutions 10^{-1} et 10^{-2} .

- On prélève aseptiquement 1 ml de chaque dilution dans un tube à vis stérile.

- Porter les quatre tubes à 80°C pendant 8 à 10 min et refroidir brutalement sous l'eau de robinet.
- Ajouter environ 15 ml de gélose viande foie préalablement fondu et refroidie à 45°C, additionné d'une ampoule d'alun de fer ainsi que d'une ampoule de sulfite de sodium.

b- **Lecture :**

Les colonies noires de spores qui se développent en anaérobiose sont des colonies des bactéries clostridium sulfito- réducteur produisent à partir des sulfites, des sulfures qui ont précipité avec les ions de fer (**Joffin et Joffin, 1999**).

V-2-4 Recherche et dénombrement des coliformes par comptage des colonies : (voir annexe figure n°24)

Norme : NF ISO 4832, (2006)

✓ **But :**

Cette méthode, consiste à la recherche et le dénombrement des coliformes dans les produits destinés à la consommation humaine et animale.

Les coliformes sont des bactéries qui appartiennent à la famille des enterobacteriaceae, ce sont des bacilles Gram⁻ (BGN), aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaries et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 35 et 37°C. Les coliformes thermotolérants (fécaux) possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes mais à 44°C (fermentation de lactose). Les coliformes sont recherchés dans les aliments, car ils sont de bons marqueurs de l'hygiène des manipulations de ces aliments, ils sont d'origine fécale on les retrouve donc dans les eaux usées et le sol. Les coliformes sont des bactéries vivantes dans les intestins d'animaux à sang chaud ou humains.

a- **Principe**

Le principe est basé sur la propriété des coliformes de fermenter rapidement le lactose à 32°C pendant 24 à 48 heures avec dégagement de gaz, pour cela on utilise les milieux de culture contenant de lactose comme source de carbonate et d'énergie. Pour notre étude nous avons utilisé un milieu solide qui est le VRBL.

b- Ensemencement :

Ensemencement dans un milieu VRBL.

c- Incubation

Coliforme totaux à 37°C durant 24h.

Coliformes fécaux à 44°C durant 24h.

d- Lecture

Les coliformes apparaissent en masse sous formes de petites colonies de couleur rouge et de 0,5 mm de diamètre. Le nombre de colonies trouvé sera multiplié par l'inverse de la dilution correspondante. Le nombre des colonies doit être compris entre 30 et 300 (**Giraud et Galzy, 1980**).

V-2-5 Recherche et dénombrement des coliformes par le nombre le plus probable (NPP)

(voir l'annexe figure n°25) :

Norme : NF ISO 4831, (2006)

✓ But :

L'intérêt de la recherche et le dénombrement des coliformes totaux et fécaux est la détermination d'une contamination fécale d'un produit testé. Notons qu'E.coli représente un indice de contamination fécale récente (**Joffin et Joffin, 1985**).

✓ Mode opératoire :

Le dénombrement de ces germes s'effectué en milieu liquide, bouillon lactose bilié au vert brillant (BLBVL) par la technique de NPP, cette méthode fait appel à deux tests consécutifs à savoir : test de présomption suivi de test de confirmation.

• Test de présomption :

-préparer dans un portoir une série de tube contenant le milieu sélectif (VBL) à raison de 3 tubes par dilution.

-A partir des dilutions décimales 10^{-3} à 10^{-1} , porter aseptiquement 1 ml dans chacun des tubes correspondant à une dilution donnée.

-Classer le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

-L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

✓ **Lecture :**

Les tubes considérés comme positifs sont ceux qui présentent à la fois un dégagement gazeux dans la cloche de Durham (an1/10 de son volume) et trouble microbien ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu. La lecture se fait selon la prescription de la table de Mac-Grady (voir annexe).

Le résultat final est expliqué en germes/ml ou g de produit. Cette recherche est un indice de présence probable de coliformes fécaux, pour cela on procède au test confirmatif «Test de Makenize».

• **Test de confirmation :**

A partir des tubes (BVBVL) trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux, un repiquage à l'aide d'une anse est fait dans à la fois :

- Un tube de VBL munie d'une cloche.
- Un tube d'eau peptoné exemple d'indole (EPEI).

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait à 44°C pendant 24heures.

✓ **Lecture :**

Les tubes considérés comme positifs sont les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux dans les tubes VBL.
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par E.coli après adjonction de deux à trois gouttes du réactif de Kovacs dans les tubes d'EPEPI.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de table de Mac-Grady.

- Remarque : Etant donné que les coliformes fécaux font partie des coliformes totaux, il est pratiquement impossible de trouver plus de coliformes fécaux que coliformes totaux.
- **V-2-6 Recherche et dénombrement des staphylococcus aureus:** (voir annexe, figure n°26).

Norme : (ISO 6888-1).

✓ **But :**

La recherche et le dénombrement des staphylococcus aureus, seules à produire éventuellement une entérotoxine protéique qui cause une intoxication alimentaire, permettant donc de savoir si le produit à analyser présente des risques pour le consommateur, vu par **Joffin et Joffin, (1999)**.

a- Mode opératoire :

-Enrichissement dans un milieu Giolitti Cantoni Tellurite de potasium.

-L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48heures.

-Les tubes considérés comme positifs sont les tubes noirs.

-A partir des tubes positifs on va faire un isolement sur milieu Chapman par étalement en strie.

-L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48heures.

b- Lecture :

Après incubation il y'a apparition des colonies lisses légèrement bombées jaunâtres.

V-2-7 Recherche et dénombrement des levures et moisissures: (Figure n°27 en annexe)

Normes : XP V 08-059 : dénombrement des micro-organismes par comptage des colonies à 22°C.

✓ **But :**

Cette méthode consiste à la recherche et le dénombrement des levures et des moisissures dans toutes les catégories des denrées alimentaires. La recherche et le dénombrement sont réalisés pour deux causes :

- Leur aptitude à provoquer des altérations d'ordre organoleptique important au niveau de l'aliment.
- La propriété qu'ont certaines moisissures à produire des mycotoxines, notamment les altérations peuvent nuire à la santé du consommateur (**Guirland, 2003**).

a- Mode opératoire :

Les levures et les moisissures sont recherchées et dénombrées dans toute catégorie de denrée alimentaire selon le protocole suivant :

- A partir de chaque dilution, on transfère 1 ml dans une boîte de pétrie déjà préparée qui contient la gélose sabouraud coulé et refroidie, on forme le râteau et on homogénéise le milieu.
- On incube à 22°C pendant 5 jours.

b- Lecture :

Après la période d'incubation, on peut également compter toutes les colonies de 2 dilutions successives présentent entre 15 et 150 colonies par boîte et on applique la formule suivante :

$$N = \frac{\sum C}{1,1d}$$

D'où le nombre sera présenté en micro-organisme par ml ou mg.

V-2-8 Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau:

Norme : NF V 08-051 : relative au dénombrement des micro-organismes par méthode de comptage des colonies. (Voir annexe, Figure n°28)

a- Principe :

La recherche et le dénombrement des germes totaux se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les micro-organismes à tendance psychrophiles soit à 20°C et ceux franchement mésophile soit 37°C.

b- Mode opératoire :

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 2 fois 1 ml dans deux boites de pétri vides préparées à cet usage et numérotées. Compléter ensuite chacune des boites avec environ 20 ml de gélose PCA fondu puis refroidie à 45±1°C.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme de «8» pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose.

Laisser solidifier sur pailleasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5ml, cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses.

c- Incubation :

- La première boite sera incubée, couvercle en bas à 20°C.
- La seconde sera incubée couvercle en bas à 37°C, pendant 72heures avec :
 - première lecture à 24 heures.
 - deuxième lecture à 48 heures.
 - troisième lecture à 72 heures.

d- Lecture :

Les germes totaux se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires poussant en masse.

e- Dénombrement :

Il s'agit de dénombrer toutes les colonies en tenant compte des deux remarques suivantes :

- 1- Ne dénombrer que les boites contenant entre 15 et 300 colonies.
- 2- Le résultat sera exprimé par millilitre d'eau à analyser à 22°C et à 37°C.

V-2-9 Recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau:

Même protocole que sur le produit fini cité avant. (Voir figure n°29 dans l'annexe).

V-2-10 Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau (Figure n°30) :✓ **But :**

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau a pour but de destiner une consommation fécale de l'eau.

a- **Mode opératoire :**

D'après Rodier 1996, la recherche et le dénombrement sont réalisés en deux tests :

• Test de présomption : ensemercer successivement :

- Un flacon de milieu Rothe (50ml), D/C par 50 ml d'eau à analyser.
- Flacon de milieu Rothe D/C par 10 ml d'eau à analyser.

Incuber les tubes à 37°C pendant 24 heures.

b- **Lecture :**

Les tubes présentant un trouble microbien après incubation, sont considérés comme positifs.

• **Test de confirmation** : A partir des tubes positifs, on transfère à l'aide d'une pipette stérile 3 à 4 gouttes sur milieu Eva litsky.

Incuber les tubes à 44°C pendant 24 heures.

✓ **Lecture :**

Les tubes présentant une pastille violette au fond de tube avec un trouble microbien ; sont considérés comme positifs, donc présence des streptocoques fécaux.

V-2-11 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteur dans l'eau de process : (Voir figure n°31)

Norme : AFNOR, (1986)

a- **Mode opératoire :**

Un échantillon de 25 ml d'eau de process à analyser est placé dans un flacon stérile, et porté au bain marie à 80°C pendant 10 min. L'eau est ensuite refroidie brutalement à l'eau de robinet.

Porter aseptiquement l'eau traitée dans un tube stérile, ajouter 15ml de gélose viande foie en surfusion à 45°C additionnée de 5ml de la solution de sulfite de sodium et 1 ml de la solution d'alun de fer.

Après solidification du milieu à température ambiante, les tubes sont incubés à 46°C/72h en effectuant la lecture chaque jour.

b- Lecture :

-Considérer comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice.

-Toutes colonies noires entourées d'un halo noir.

-Les résultats sont exprimés en nombre de spores par 100ml d'eaux de procès à analyser.

VI : Entreposage :

Une augmentation de la température de stockage accélère au cours du temps la chute du pH, qui influe sur les réactions chimiques et biochimiques par conséquent sur les microorganismes et qui est responsable de l'agglomération et la précipitation des caséines, pour cela, on effectue un entreposage à 4° pendant une semaine, puis on note les valeurs du pH.

VII : Evaluation sensorielle :

Notre analyse sensorielle consiste à étudier d'une manière ordonnée et structurée les propriétés d'un produit afin de pouvoir le décrire, le classer ou de l'améliorer d'une façon extrêmement objective et rigoureuse. Cette évaluation est faite sur des consommateurs durant deux tests consécutifs :

1- Test descriptif :

Consiste à décrire un produit selon un ensemble de descripteurs, qui repose sur chacun de nos sens.

- La vue : l'observation d'un aliment nous renseigne sur sa forme, sa couleur son état et sa consistance.
- L'odorat : L'odorat nous apporte de nombreux renseignements sur l'état d'un aliment et sur sa comestibilité.
- Le goût : l'analyse stricte du goût se fait principalement sur la langue (faux pas confondre saveur et parfum), dès le contact physique. Les principaux goûts sont : sucré, salé, acide, amer, astringence.

- Le toucher : Le contact physique avec un aliment nous apporte beaucoup d'informations.

2- **Test de classement :**

Cette épreuve consiste à comparer les échantillons du point de vue de l'intensité d'un critère sensoriel donné. Il consiste à présenter d'une manière anonyme trois échantillons différents des fromages fabriqués, à des personnes qui devront les classer par ordre de préférence.

Conduite de l'analyse sensorielle :

❖ **Sujets :**

Du fait des différences interindividuelles de sensibilité ou d'acceptabilité, l'évaluation sensorielle demande toujours de faire appel à plusieurs sujets.

Ces sujet doivent remplir un certain nombre de conditions, afin de ne pas influencer les résultats de l'analyse sensorielle, dans le cas du fromage fondu fabriqués les dégustateurs doivent être non fumeurs.

Les dégustateurs doivent aussi avoir l'habitude de consommer du fromage fondu au moins une fois par mois.

Notre analyse sensorielle a été réalisé sur une population homogène comportant des adultes, des personnes âgées, et des enfants qui remplissent les conditions citées ci-dessus, le nombre de dégustateur est de 30 personnes, parmi eux les étudiants du département sciences agronomiques, de Biologie, Des médecins, des consommateurs et les professionnels du Laboratoire Okids.

Les conditions de présentation de l'échantillon influent sur la perception du produit, donc les échantillons doivent être présentés d'une façon anonyme, les échantillons ne doivent pas porter des marques ou emballages qui permettent leur identification. L'analyse sensorielle suppose des réponses indépendantes, donc les sujets doivent être écartés les uns des autres pour qu'il n'ait pas d'influence extérieure. Après la dégustation de chaque échantillon les sujets doivent se rincer la bouche par de l'eau pour éliminer le goût de l'échantillon précédent. Au cours de chaque test les dégustateurs doivent remplir les fiches appropriées de dégustations.

VIII- Analyse Statistique :

Dans le but de déterminer les valeurs moyennes des résultats obtenus et les écarts types, nous avons utilisé le logiciel Excel 2007.

Afin de déterminer l'effet significatif ou pas de la substitution du NaCl par le KCl à différentes doses, nous avons procédé à une analyse de la variance (ANOVA) avec le logiciel STATISTICA 7.

Chapitre I : Fromage fondu

I.1. Définition

Le fromage fondu est un produit obtenu par le mélange de fromage de différentes origines et à différents stades d'affinage avec des sels de fonte ; ce mélange est broyé puis chauffé sous vide partiel et agitation constante, jusque à l'obtention d'une masse homogène qui est conditionnée dans un emballage protecteur ; on peut ajouter d'autres matières premières d'origine laitière (beurre, la poudre de lait) ou incorporer des ingrédients aromatiques (**Eck, 1997** et **vierling, 1999**), il présente plusieurs avantages parmi lesquels :

- C'est un produit stabilisé par le traitement thermique .ceci lui confère d'excellente qualité de conservation et une bonne commercialisation même dans des zone à climat chaud (**Mahaut et al, 2000**)
- Il a une excellente valeur nutritionnelle
- C'est un produit à goût doux et régulier .Il possède une large possibilité de présentation, d'usage et d'aromatisation.

I.2. Composition biochimique du fromage fondu

Selon **Eck et Gillis(1997)** les fromages fondus sont de vrais bâtisseurs de l'organisme avec leurs protéines, sels minéraux et matières grasses.

I.2.1.Les protéines : les fromages fondus sont des aliments très riches en protéines qui proviennent de la caséine modifiée dont une partie importante se trouve dégradée et solubilisée en oligopeptides et acides aminés sous l'influence d'une série d'enzyme.

I.2.2.Les glucides : les fromages affinés sont pratiquement dépourvus de glucides (2g) car la faible quantité de lactose restant dans le caillé après égouttage est transformée en acide lactique au cours de l'affinage.

I.2.3. Les lipides : les lipides conditionnent l'onctuosité de la pâte du fromage .les lipides du lait " triglycérides_phosphoglycérides_sphingosides" se trouve dans le fromage avec une teneur de 22g sous forme émulsionnée ce qui les rend plus digestives.

I.2.4. La composition minérale :

a) sodium : une partie du sodium du fromage fondu provient des sels de fonte notamment des polyphosphates de sodium dont la teneur est de 1625mg.

b) calcium, phosphore : les fromages fondus constituent d'excellentes sources de calcium et de phosphate qui sont bien assimilés par l'organisme dont la teneur est respectivement de 880mg et 900mg.

c) Autres éléments minéraux : ils sont aussi une source de potassium, zinc, iode et de sélénium. En revanche ils sont pauvres en fer et en magnésium.

I.3. Les différents types de fromages fondus :

D'après **Boutonnier (2002)** ce produit issu de fonte de fromage peut être regroupé en cinq familles classées ci-après par ordre chronologique d'apparition sur le marché mondial.

- **fromage fondu type bloc** : le traitement thermique subi est modéré et donne au produit fini une élasticité marquée. Pour assurer sa stabilité, sa teneur en matière sèche est élevée et il est fondu à partir du citrate de sodium. L'objectif est de trouver l'aspect d'un fromage à pâte pressée
- **fromage fondu type coupe** : moins ferme que le bloc, il n'est pas pour autant tartiner. Il contient trois à quatre points de moins de matière sèche que le précédent, ce qui le rend plus agréable à la dégustation.
- **fromage fondu à tartiner** : c'est le processus de crémage qui permet en particulier d'obtenir la consistance du produit fini et de lui conférer une certaine tartinabilité.
- **fromage fondu pour fonte** : origine d'Amérique du nord, il se présente généralement sous forme de tranches adaptées à une utilisation dans les cheeseburgers.
- **fromage fondu thermostable** : C'est un fromage fondu qui ne doit pas fondre lorsqu'on le soumet à une nouvelle source de chaleur. Il subit un crémage très poussé.

I.4. Les différentes étapes de la fabrication des fromages fondus :

Le fromage fondu stérilisé et le pasteurisé comportent les phases suivantes

I.4.1. Nettoyage de la surface des fromages :

Le cheddar, fromage de fonte reçu sous forme de grands blocs sous film plastique doit être déshabillé puis débarrassé de son film plastique à l'aide d'un couteau ou d'un grattoir.

I.4.2. Découpage et broyage du fromage :

Pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de fonte, il est impératif de fragmenter les fromages, le broyage est une étape importante du traitement des matières premières car il est indispensable de dissocier finement les fromages pour obtenir un

fromage fondu homogène Le broyage du beurre et du cheddar s'effectue dans un broyeur qui permet leurs hachages. Ce broyage grossier sera complété lors de la cuisson dans le cuiseur **(Botonnier, 2000)**.

I.4.3.Mélange des ingrédients :

Le fromage broyé est agité avec les autres composants (eau, sel de fonte et éventuellement de la poudre de lait et de la matière grasse) dans des mélangeurs spécialement conçus .Au cours de cette étape, le pH de cheddar dans le mélange passe de 5.2 à 6. Le mélange obtenu dans des proportions déterminées est en fonction du produit fini désiré.

I.4.4.Cuisson, fonte :

Selon **Eck (1997)** c'est l'étape la plus importante dans le processus d'où le nom de fondu .le mélange acquiert son état homogène puisque le traitement thermique influe sur la fonte et l'échange d'ions.

Le traitement thermique passe par deux phases pour le fromage fondu stérilisé, Préchauffage à 85°C avant la stérilisation proprement dite, Stérilisation : le produit préchauffé arrive à travers une tuyauterie en acier inoxydable au niveau de stérichoc où la température atteint 140°C pendant 4 à 20 secondes.

Un traitement thermique de 85 à 90 ° pendant 10 mn pour le fromage fondu pasteurisé. Au moment de la cuisson se déroule deux phénomènes qui sont Les phases de la fonte:

I.4.4.1. la phase de peptisation :

Après avoir broyé finement les matières premières fromagères et dès leur mise en contact avec l'eau et les sels de fonte, on assiste au démarrage de l'étape de **destruction**. Cette étape va se poursuivre et s'accroître lors de traitement thermique, les sels de fonte chélatent le calcium lié à la protéine et transforment ainsi le paracaséinate de calcium insoluble en paracaséinate de sodium soluble.

Après l'échange de calcium contre le sodium les chaînes peptidiques sont en partie déroulées et dissociées ; c'est le stade de peptisation, le mélange fromager initial est transformé lors de cette étape en une solution colloïdale homogène.

Les protéines moins calcifiées sont devenues plus hydrophiles, ce qui induit une augmentation de la viscosité de la phase aqueuse.

Sous l'action de la température et de l'agitation, la matière grasse est dispersée dans la solution colloïdale et stabilisée par la formation à l'interface, de gouttelettes lipidiques, d'une membrane protéique incluant les protéines précédemment peptisées. (**Figure n°1**).

I.4.4.2. crémage - la phase de restriction :

Simultanément à la phase de destruction au cours des étapes de chauffage et de crémage, de nouvelles réactions inter intra protéique apparaissent ; cette étape est due à un épaissement de produit qui a deux origines :

- ✓ La peptisation des protéines qui permet l'hydratation des chaînes, aboutit à un gonflement du milieu et à une augmentation de la viscosité.
- ✓ Les poly phosphates de CA formé au cours du traitement thermique ont une taille qui leur permet de s'insérer entre les chaînes protéiques pour former les liaisons ioniques inter et intra protéique ce qui entraîne la gélification du réseau.

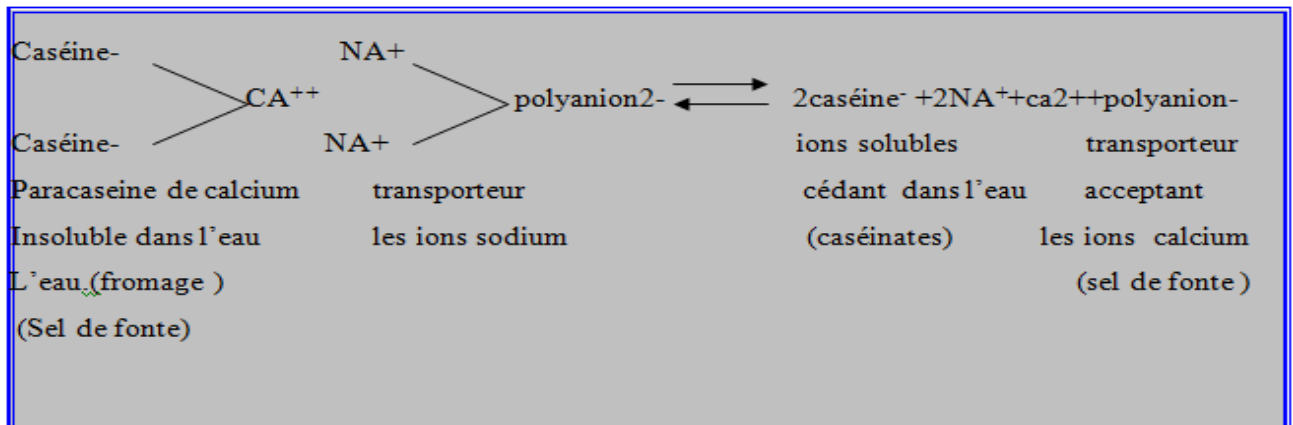


Figure n°1 : Phase de la peptisation et formation de paracaseinate de sodium soluble dans l'eau.

I.4.5. Homogénéisation :

Dans le cas des produits à teneur élevée en matière grasse, une homogénéisation est éventuellement nécessaire, cette dernière améliore la stabilité de l'émulsion des matières

grasses en diminuant la taille des globules gras, elle améliore également la consistance, la structure, l'apparence et l'onctuosité des fromages fondus (Eck et Gillis ,1997).

I.4.6.Le conditionnement :

Il vient tout naturellement à l'esprit que le conditionnement des fromages en vue de leur vente bien évidemment, assure leur protection contre les agents extérieurs, (Eck ,1987)

I.4.7.Refroidissement de fromage fondu :

Le mode de refroidissement du fromage fondu varie selon le format et le type du produit. Le fromage fondu conditionné à chaud doit être refroidi rapidement afin d'éviter les risques de brunissement enzymatique de la pâte. (Boutonnier, 2000)

Le produit est refroidi à la température de 15-20°C. Le refroidissement doit être uniforme et relativement rapide pour obtenir une consistance régulière et pour quitter rapidement la zone de température de 30-37°C favorable au développement des bactéries indésirables.

Le crémage n'est stoppé complètement que lorsque la température du fromage atteint 20°C dans la masse, c'est le cas pour le fromage fondus à couper et des blocs ou un crémage complémentaire et un durcissement sont souhaités (Kasomel, 1990).

I.4.8. Stockage de produit :

Le produit doit être stocké dans des entrepôts dont la température se situe autour de 8 à 12°C (Luquet, 1990). Le froid a pour but d'arrêter la réaction de crémage.

I.5.Ingrédients utilisés en fabrication :

I.5.1. Matières premières

- **La poudre de lait 26% de MG :**

C'est une poudre de lait à 26% de MG, elle apporte des protéines et du lactose, ce dernier étant considéré le glucide du lait. La teneur en lactose doit être comprise entre 5,2% et 5,8% dans le produit fini ; une augmentation au-delà de 5,8% engendre la caramélisation du produit induite par l'interaction entre le sucre et les protéines. La poudre de lait permet aussi d'apporter les protéines sériques ayant un pouvoir émulsifiant considérable en plus de leur pouvoir hydratant.

- **Le beurre :**

Le beurre contient la matière grasse qui assure l'aspect onctueux de la pâte, il doit être de bonnes qualités organoleptiques et ne pas présenter des défauts d'oxydation et de rancissement, défaut qui se retrouverait alors dans le fromage fondu. **(Gaucheron, 2004).**

- **Cheddar :**

Le cheddar constitue la source protéique majeure, riche en protéines natives (micelle libre), qui sont des agents émulsifiants, texturants.

Il est utilisé pour la structuration du produit fini en raison de leur richesse en caséine intacte **(Boutonnier, 2000).**

- **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. La préfonte doit être de bonne qualité texturale, c'est-à-dire «crémeuse» et non surcrémée, son rôle est d'accélérer le crémage et stabiliser l'émulsion **(Boutonnier, 2000).**

- **Caséine :**

Elle permet d'obtenir une quantité minimum des caséines intactes, non soumises à la dégradation enzymatique, indispensable à l'obtention du fromage fondu homogène et gélifié **(Gaucheron, 2004).**

- **Eau de formulation :**

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-organisme et en contaminants chimiques tel que le nitrate **(Boutonnier, 2000).**

- **Sel :**

Le salage exerce un effet sélectif sur les microorganismes, les enzymes et sur de nombreux autres facteurs, il modifie les propriétés de l'eau, agit sur l'hydratation des protéines, change la solubilité d'autres sels minéraux et bien sûr intervient dans l'appréciation sensorielle des aliments, à **EST=100%****(Gaucheron, 2004).**

- **Sels de fonte :**

Les sels de fonte utilisés dans la fabrication du fromage fondu sont essentiellement les sels de sodium de l'acide phosphorique et de l'acide citrique **(voir tableau n° Annexe).**

✓ Les sels de l'acide phosphorique : les phosphates

On distingue : Les monophosphates : plus communément appelés orthophosphates, obtenus par neutralisation progressive d'acide phosphorique avec de la soude. ces phosphates alcalins constituent d'excellents tampons pour le pH. Les polyphosphates linéaires : ils sont obtenus à partir d'orthophosphates très pur par condensation à haute température, les diphosphates (ou pyrophosphates) et les tripolyphosphates sont obtenus conformes à une formule chimique bien déterminée (**Eck et Gillis, 1997**).

✓ Les sels de l'acide citrique : Les citrates

Se sont de bons séquestrant du calcium mais ils n'ont aucune action structurante au cours du « crémage », ce qui ne permet pas l'obtention d'une pâte fondu courte recherchée dans les fromages fondus à tartiner. Ils sont souvent à l'origine de défauts de marbrure dus en général à des cristallisations avec le calcium (**Eck et Gillis, 1997**). C'est le dihydrate citrate trisodique qui convient le mieux pour la fabrication et qui est le plus stable au stockage (**Botonnier, 2000**).

➤ Technologie de la fonte : (voir annexe figure n°19)

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

La fabrication du fromage fondu passe par plusieurs étapes ; le schéma suivant montre les différentes voies de la production.

Etapas de fabrication du fromage fondu :

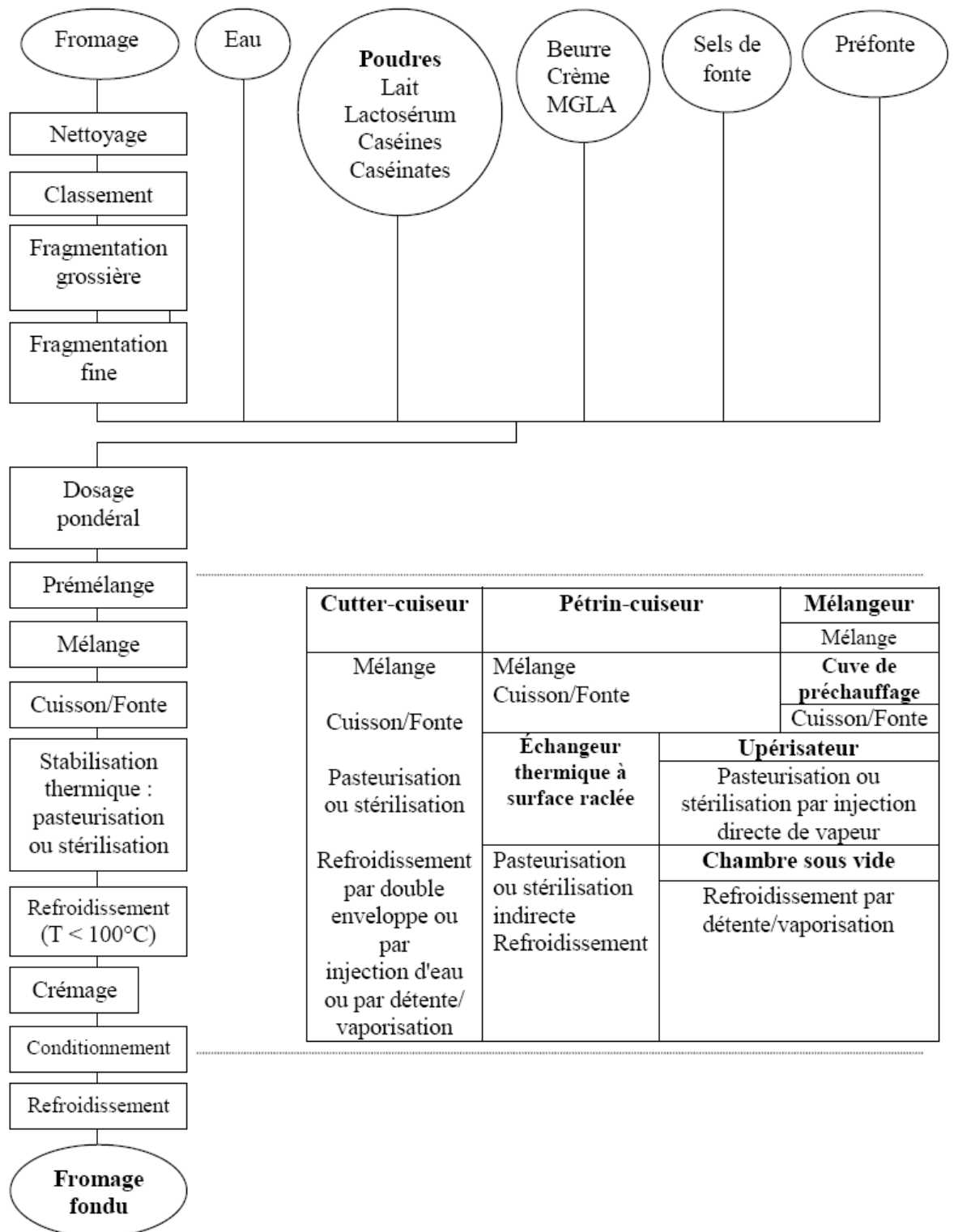


Figure n°2: Principales voies de fabrication du fromage fondu (Boutonnier, 2000).

I.6.Défauts de fabrications du fromage fondu :

Les défauts de fabrication du fromage fondu dans une production bien suivie techniquement et réalisée avec une matière première de bonne qualité, les défauts sont relativement rares. Deux types de défaut sont généralement rencontrés ; il s'agit des défauts d'origine microbiologiques et physicochimiques.

I.6.1. Défauts d'origine microbiologique :

Défauts d'origine microbiologiques vont apparaître sous forme d'altération. Ces dernières à leurs tours peuvent être divisées en deux origines. On note des altérations d'origine bactériennes et d'origine fongiques.

I.6.1.1. Altérations d'origine bactérienne :

Ce genre d'altération se manifeste seulement par des gonflements. Souvent trois types de sont rencontrés :

a) Gonflement précoce :

D'après **Mahaut et al, (2000)** ce phénomène peut se rencontrer dans tous les types de fromages dès le début de la fabrication. Il se traduit par l'apparition d'une multitude de petits trous dans la pâte molle qui prennent l'allure d'une éponge débordante du moule.

Les accidents de gonflement sont dus à la multiplication des microorganismes gazogènes (levures, bactéries lactiques, hétéro fermentaires et coliformes). Ce dégagement de gaz est traduit par la production de CO_2 et les ions H^+ à partir de la fermentation du lactose, du citrate ou encore d'autre sucre.

b) Gonflements tardifs (gonflement butyrique) :

C'est un des plus grave accidents qui apparaît entre 10 jours à 2 mois. Il est rencontré dans tous les types de fromage ; mais surtout les fromages à pâte pressée cuite ou non cuite et dans le fromage fondu.

C'est le résultat d'une fermentation butyrique, celle-ci est provoquée principalement par la présence d'une bactérie sporulée du genre *Clostridium* (*Clostridium tyrobutyricum*) c'est une bactérie anaérobie dont les spores sont thermorésistantes (**Mahaut et al, 2000**).

c) Gonflement traduit en un défaut de saveur :

Ce type d'altération a plusieurs origines, parmi lesquelles celles d'origine bactériennes .elles sont souvent dues au métabolisme de ces organismes .en effet, certains germes (bactérie lactique) produisent de manière tardive des enzymes lipolytiques et des enzymes protéolytiques .les enzymes lipolytiques conduisent à un défaut assez fréquent l'amertume .cette dernière est le résultat de l'accumulation de peptides de petite taille très hydrophobe, des acides aminés, ou des amides.

I.6.1.2. Altérations d'origine fongique :

Ce sont les levures et les moisissures qui sont responsables de ce types d'altérations .elles ne possèdent pas un pouvoir pathogène, mais leur développement peut causer des altérations du produit .Généralement ce sont les gonflements qui se produisent, alors que certain germes d'altération se traduisent par l'apparition des goûts ou des odeurs anormaux ; on note par exemples des taches jaunâtre causées par les moisissures.

I.6.1.3. les altérations d'origines microbiennes :

On peut les diviser en trois classes :

A-les microorganismes pathogènes :

➤ Salmonelles :

Selon **Guiraud et Jeun (2003)** les infections à salmonella peuvent donner lieu à trois types de manifestation cliniques :

- Les fièvres typhoïdes.
- Les toxi-infections alimentaires qui sont des gastroentérites.
- Des troubles non digestifs.

➤ Staphylococcus aureus :

Le pouvoir pathogène de cette bactérie est lie à la production d'un grand nombre de substance diffusible, ou associée à la paroi (les enterotoxines) (**Bourgeois et al, 1996**).

Ces germes sont responsables des infections de la peau et des muqueuses des abcès des poumons et des septicémies .Plus fréquemment elle cause des toxi-infections par l'ingestion d'un aliment contaminé par les enterotoxines préformées. Leur incubation est courte après, le repas elle évolue sans fièvre (**Bourgeois et al, 1996**).

B-les bactéries témoin d'une contamination fécale :

➤ **les coliformes :**

La présence de ce genre de bactéries ou plus particulièrement les coliformes thermorésistants coliformes fécaux est un indice de contamination fécale qui est due à une négligence technologique et hygiénique.

Les coliformes se caractérisent par le dégagement de gaz qui est la cause du gonflement des fromages .il peut aussi être le responsable des toxi-infections causées par Escherichia- Coli (**Guiraud, 1998**).

➤ **Les clostridium sulfito-réducteurs :**

Peuvent produire des problèmes sanitaires par leur pouvoir pathogène. Ainsi que des défauts technologiques par leurs capacités à sporuler. Dans les fromages fondus pasteurisés les altérations traduisent par le gonflement .on considère comme une preuve de contamination fécale deux types de clostridium recherchés.

- Clostridium botulinum
- Clostridium perfringens

➤ **Les streptocoques fécaux (de groupe D) :**

Les streptocoques de groupe d'sont abondants dans les matières fécales de l'homme et des animaux.

6-2-Défauts d'origine physique :

Les défauts qu'on pourrait rencontrer sont extrêmement rares pour le fromage fondu et en tous cas beaucoup plus rare que pour les autres fromages. ces défauts peuvent apparaître au cours de processus technologique qu'au cours de stockage. Le tableau nous présente les origines possibles de ces défauts, ainsi que les remèdes possibles à envisager. (**Berger, 1989**). (voir tableau n°1).

Tableau n°1: défauts de fabrication d'origine physique :

Aspect de la pâte	Origine possible	Remèdes conseillé
La pâte n'est pas homogène.	<ul style="list-style-type: none"> - La valeur de pH est trop basse. -On a employé trop peu de sels de fonte. -Le temps de fonte a été très court 	<ul style="list-style-type: none"> -augmenter le pH. -augmenter la dose. -augmenter la durée
La pâte fondue est très liquide.	<ul style="list-style-type: none"> -Les sels de fonte employés n'ont pas les facteurs crémants voulus Le mélange contient trop de l'eau -le mélange contient une quantité élevée d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> -Changer le sel de fonte par un autre sel écrémant. -vérifier la quantité d'eau.
<p>A l'ouverture de pétrin</p> <p>La pâte formes des fils au niveau du brassoir.</p>	<p>Mauvais crémages du à :</p> <ul style="list-style-type: none"> -L'emploi d'un sel non adéquat -une température de fonte trop courte. -Un sous dosage de sels de fonte. -Une vitesse trop lente du brassoir. 	<ul style="list-style-type: none"> -Choisir le sel de fonte approprié. -Augmenter le temps de fonte. -Augmenter la concentration des sels augmenter la vitesse de brassoir.
La pâte très brillante et claire.	La valeur de pH est trop élevée.	Réduire la valeur de pH.
La pâte apparaît épaisse.	La valeur de pH est trop faible.	Augmenter la valeur de pH.
Pendant le stockage le fondu a un goût prononcé de fromage.	Cela tient dans la plupart des cas à un emploi des quantités élevées de fromage trop vieux, ou une	Si c'est possible mélanger la première à du fromage plus jeune.

	valeur élevé de du pH.	Réduire la quantité de sels de fonte en remplaçant la différence par du citrate de sodium qu'a la facilité de couvrir le goût indésirable.
--	------------------------	--

II.1. Le sel au quotidien:

Le sel est connu depuis la Préhistoire pour ses caractéristiques d'assaisonnement et de conservation des aliments. Il possède ainsi une fonction d'exhausteur de gout qui explique largement son utilisation en cuisine. Un exhausteur de gout est une substance qui augmente l'intensité de la perception olfacto-gustative. Le terme olfacto-gustatif englobe la flaveur d'un aliment, laquelle est formée par la saveur, l'arome et les sensations trigémინées.

En production fromagère, le sel est un élément indispensable du point de vue gustatif et qualitatif mais Un excès de sel nuit à la santé. Une consommation excessive de sel peut ainsi contribuer au développement d'hypertension artérielle et l'hypertension artérielle est un facteur de risque pour des maladies cardiovasculaires. En même temps, trop de sel est également un facteur de risque pour le cancer de l'estomac et l'ostéoporose. **(Thibaudeau, 2011)**

✓ Importance du sel pour l'organisme :

Le sodium et le chlorure permettent de réguler la pression artérielle, de maintenir l'équilibre hydrique et d'assurer le bon fonctionnement des muscles et des nerfs. Le sodium facilite l'absorption des nutriments tels que le glucose et les acides aminés.

L'organisme d'un adulte moyen contient environ 90 g de sodium dont la moitié est présente dans le sang et dans les autres liquides corporels, plus d'un tiers dans les os et le reste dans les cellules.

La réduction des apports en sel figure au rang des priorités des initiatives de santé publique engagées contre l'hypertension en raison de sa capacité à faire baisser la pression artérielle et partant, à infléchir la répartition de cette pathologie au sein de la population.

L'Institute of Medicine (IOM) recommande les « apports suffisants » (AS) quotidiens suivants en ce qui a trait au sodium:

- 1 000 milligrammes (mg) pour les enfants de 1 à 3 ans
- 1 200 mg pour les enfants de 4 à 8 ans
- 1 500 mg pour les personnes de 9 à 50 ans
- 1 300 mg pour les adultes de 51 à 70 ans

- 1 200 mg pour les aînés de plus de 70 ans

La surconsommation de sodium et de sel est bien plus courante et peut mener à l'hypertension, qui à son tour augmente le risque des attaques cardiaques et des congestions cérébrales. L'apport nutritionnel recommandé (ANR) en sel est de 2,4 grammes par jour. Toutefois, les experts en santé cardiaque recommandent aux personnes qui souffrent d'hypertension d'en manger moins de 1,5 g par jour. **(Busch et al, 2010).**

Les carences en sodium sont particulièrement rares, car nous en absorbons généralement plus que la normale à travers notre alimentation. Les rares cas où on se retrouve en carence de sodium sont lors de l'effectuation d'un travail manuel au soleil pendant une longue durée et quand les bébés ont la diarrhée. Les conséquences peuvent être méningites, problème cardiaque, inflammation des reins **(Anonyme 1).**

- ✓ Les aliments riches en sodium: **Voir annexe: tableau n°21.**

Parmi les principales sources de sel, les fromages (9 à 11%), a titre d'exemple:

- Fromage edam avec 965 mg de NaCl/100g.
- Fromage à tartiner Romano 1 200 mg
- Fromage fondu, préparation, cheddar 1 596 mg
- Fromage fondu à tartiner à base de cheddar 1 625 mg
- Fromage cheddar 621 mg
- Fromage cottage sans sel, Fromage cottage pressé, non crémeux 13 mg
- Mozzarella 600 mg.

Il est à noter que 5 ml (1 c. à thé) de sel de table (NaCl) équivalent à 2 325 mg de Na⁺. **(Anonyme 1).**

II.2. Potassium:

Dans notre organisme, le potassium se trouve essentiellement dans les cellules.

Le potassium permet de maintenir un équilibre électrolytique (équilibre entre le sodium et le potassium intra et extracellulaire) et l'intégrité de nos cellules, tout en facilitant les réactions biochimiques. Il participe également aux influx nerveux et aux contractions musculaires.

Il est possible qu'un lien puisse être fait entre la tension artérielle et la prise de potassium. Autrement dit, des études montrent qu'une consommation accrue de potassium (soit sous forme de suppléments ou d'aliments) favoriserait une diminution de la tension artérielle et préviendrait ainsi les maladies cérébro-vasculaire et cardio-vasculaires.

Les autorités de santé du Canada et des États-Unis ont en 2004 nettement augmenté les apports recommandés en K^+ pour : abaisser la tension artérielle compenser les effets néfastes de l'excès de sodium sur la tension artérielle, réduire le risque de calculs rénaux et possiblement réduire la perte osseuse

Les apports recommandés varient d'un pays à l'autre. En suisse par exemple, l'apport quotidien minimum recommandé estimé est de 2 000 mg pour les adultes (comparativement à 4 700 mg/jour pour le Canada et les États-Unis).

C'est un Macro-élément dont plus de 98% se retrouve à l'intérieur des cellules. Se retrouve dans les aliments d'origine végétale et animale, il agit comme antagoniste du sodium.

Le potassium et le sodium travaillent ensemble dans l'organisme. Si l'alimentation est trop riche en sodium, le besoin en K^+ augmente afin de maintenir le pH du corps à un taux acceptable. **(Anonyme, 2004).**

✓ Sources de potassium :

Le potassium se trouve en très grande quantité dans la plupart des fruits et des légumes frais. Les pommes de terre, les épinards, le cantaloup, les tomates, le jus d'orange, bananes, etc., contiennent tous de bonnes quantités de potassium. Même le yogourt (produit laitier) et toute la famille des fèves (viande et substitut) sont riches en potassium en consommant beaucoup de fruits et de légumes on prévient de l'hypertension.

La teneur en K^+ est exprimée en mg pour 100g de partie comestible. Selon leur teneur en K^+ , les aliments peuvent être classés en trois groupes :

1. Aliments contenant peu ou pas de potassium <100mg/100g

- Eau, café
- Matières grasses : beurre, huiles, margarines.
- Sucre blanc, confiture, miel.

2. Aliments (moyennement) riches en potassium 100-350mg/100g

- Céréales raffinées et produits dérivés (pain blanc, riz blanc, pâtes blanches) :

100-150mg

- Légumes : 300mg.
- Fruits frais : 200mg sauf les bananes, cassis, datte fraîche, avocat
- Fruits en compote ou au jus (sans jus) : 100-150mg sauf abricots.
- Produits laitiers (lait, yaourt, fromages) :170mg, sauf fromages fondus : 400mg.
- Viandes, volailles, poissons : 300-350mg
- Œufs : 150mg

3. Aliments très riches en potassium > 400mg/100g :

- Pommes de terre : 500mg.
- Céréales complètes : pain gris, intégral, biscottes aux céréales, riz brun, pâtes complètes,...
- d-Fromages fondus : 400mg (à condition de manger 100g).

La prévention de l'HTA passant par un rapport sodium/potassium optimal dans l'organisme, il est important de réduire notre consommation de sel. Mais d'assurer en même temps, des apports en potassium suffisants.

Comme tout est une question d'équilibre, mieux vaut se procurer un sel appauvri en sodium et contenant du potassium K^+ . **(Anonyme, 2008)**.

En l'absence de données scientifiques adéquates, les autorités ont fixé, non pas un apport nutritionnel recommandé (ANR), mais un apport suffisant (AS). l'apport suffisant en potassium repose sur les apports moyens chez Nord-Américain en bonne santé.

Ces apports sont basés sur les quantités jugées nécessaires pour abaisser la tension artérielle, compenser les effets néfastes de l'excès de sodium sur cette dernière, et, possiblement, réduire la perte osseuse.

Tableau n°2 : Apports suffisants en potassium :

Apport suffisant en potassium	
de 0 à 6 mois	400 mg
de 7 à 12 mois	700 mg
de 1 à 3 ans	3 000 mg
de 4 à 8 ans	3 800 mg
de 9 à 13 ans	4 500 mg
14 ans et plus	4 700 mg
Femmes enceintes	4 700 mg
Femmes qui allaitent	5 100 mg

(Anonyme, 2008)

II.3. Le Chlorure :

Le chlorure est un oligo-élément. Cependant, il est relativement bien présent dans l'organisme. On le retrouve dans pratiquement tous les liquides de l'organisme : le sang, la lymphe, et surtout dans le liquide cérébro-spinal et les sucs gastriques. Le

chlorure en excès est destructeur de la vitamine E. Il faut donc veiller à ne pas en abuser.

✓ Rôle physiologique :

L'absorption du chlorure se fait de manière passive avec le sodium tout le long du tube digestif. Il joue des rôles importants au niveau de l'organisme :

Pression osmotique : la pression osmotique exercée dans les cellules est maintenue par le chlorure. Les mouvements d'eau sont régulés par l'association chlorure-sodium et permet de garantir l'intégrité de la structure membranaire.

Acidité gastrique: l'estomac sécrète les sucs gastriques qui permettent la digestion des aliments. Le chlorure permet la formation de ces sucs en se combinant avec l'hydrogène.

Système sanguin: le chlorure rend possible le transport du dioxyde de carbone dans le sang. Il contribue également au maintien de l'équilibre acido-basique dans l'organisme.

- Cerveau: le liquide entourant le cerveau est appelé liquide cérébro-spinal. Ce liquide est principalement constitué de chlorure. **(Philippe Chappuis)**.

✓ Sources alimentaires de chlorure :

Pratiquement tous les aliments contiennent un minimum de chlorure. Cependant, le sel de cuisine en est la source principale. Les aliments d'origine animale en sont les plus riches, les végétaux en contiennent également mais en quantité moindre. L'apport journalier recommandé est de 800 mg / jour. A noter que les aliments contenant le plus de chlorure sont également ceux qui contiennent le plus de sodium.

Apports nutritionnels conseillés :

Le chlorure n'étant pas synthétisé par l'organisme, il doit être apporté en quantité suffisante par notre alimentation, et notamment par la consommation des produits riches en Apports.

Tableau n°3 : Apports nutritionnels conseillés de chlorure selon les tranches d'âge.

Chlorure / Tranche D'âge.	Enfant 1-3	Enfant 4-6	Enfant 7-9	Enfant 10-12	Ado. 13-15 Garçon	Ado 13-15 Filles	Ado 16-19 Et Homme adulte	Ado 16-19 Et Femme Adulte	Femme Enceinte (3 ^e Trimestre)	Femme Allaitante	Personne âgée >75 ans
Apports Conseillés (g/jour)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5-2	1.5-2	2.5	2.5	2

Les besoins en chlorure diffèrent légèrement en fonction des variations climatiques, ethniques, des habitudes alimentaires et du mode de vie des individus. Les recommandations concernant les apports nutritionnels conseillés évoluent donc continuellement en raison des changements rapides de nos modes de vie et nos habitudes alimentaires. **(Anonyme, 2003)**.

✓ Carences et signes de carences

La carence en chlorure est un phénomène extrêmement rare :

-Troubles nerveux : des crises d'épilepsie ou de tétanie peuvent faire leur apparition. Une agitation permanente accompagnée d'une fatigue intense est également observée. Si la carence est prolongée, la personne peut alors sombrer dans un coma profond.

-Troubles physiques : la perte des cheveux et des dents est couramment observée.

-Troubles digestifs : des diarrhées, des vomissements accompagnés d'une transpiration excessive apparaissent également. **(Chappuis)**.

II.4. Rapport Na⁺/K⁺:

Le cation potassium, K⁺, est le principal cation des fluides intracellulaires, le cation sodium, Na⁺, étant le plus important cation extracellulaire. Vu Leur bon rapport est essentiel au fonctionnement du système nerveux, du cœur et des muscles en général. Celui-ci est assuré par la pompe sodium-potassium ou Na⁺-K⁺ATPase qui

permet d'échanger les ions sodium issus du milieu intracellulaire avec les ions potassium issus du milieu extracellulaire dans un rapport précis ($3 \text{ Na}^+ / 2 \text{ K}^+$). Cette pompe est responsable du rétablissement de l'équilibre initial après un potentiel d'action. (Figure n°3).

La Na^+/K^+ ATPase est une enzyme transmembranaire dont l'activité utilise l'énergie issue de la dégradation de l'ATP en ADP et phosphore inorganique, P_i , pour transporter des ions potassium et sodium contre leur gradient de concentration.

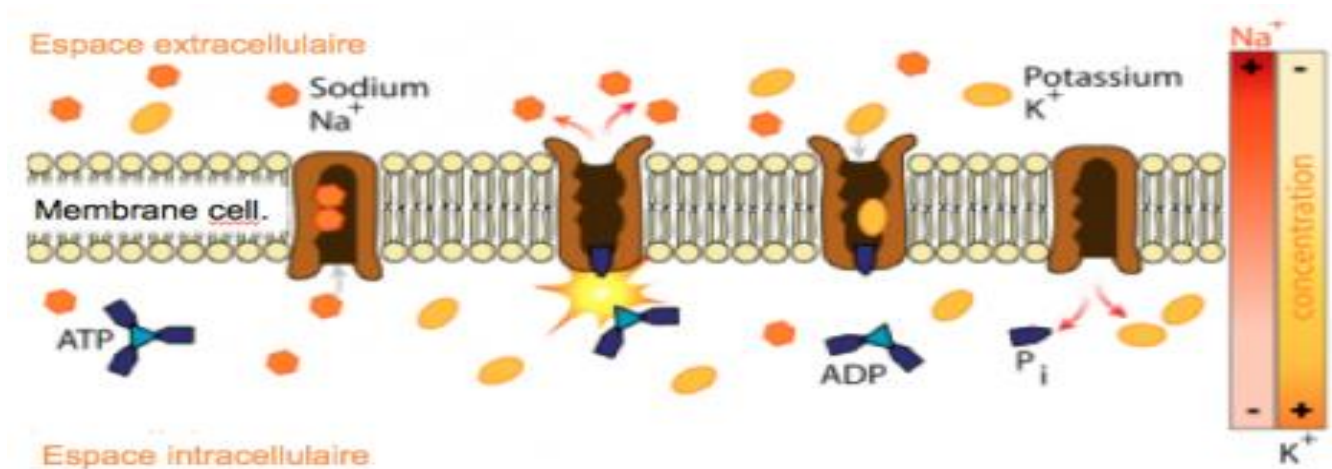


Figure n° 3 : le fonctionnement de la pompe sodium/potassium

Le mécanisme de transport actif d'ions par les ATPases de type P s'explique par l'alternance de deux états conformationnel et l'existence de plusieurs équilibres d'affinité entre les espèces ioniques, l'ATP et la pompe dans ses deux états :

- la pompe en associant une molécule d'ATP, lie 3 ions Na^+ intracellulaires,
- l'ATP est hydrolysée, menant à phosphorylation d'un résidu aspartate et formation d'une molécule d'ADP,
- un changement conformationnel de la pompe permet le transfert des ions Na^+ vers l'extérieur du fait d'une faible affinité de la pompe phosphorylée pour des ions Na^+ ,
- la pompe lie 2 ions K^+ extracellulaires, induisant la déphosphorylation de la pompe, la ramenant à son état conformationnel initial, transportant les ions K^+ dans la cellule,
- la forme non phosphorylée de la pompe possède une affinité plus élevée pour les ions Na^+ que pour les ions K^+ , ce qui permet le relargage de ces deux ions. La liaison

d'une molécule d'ATP assure le démarrage d'un nouveau cycle. (site internet rapport du pompe sodium potassium) (**Anonyme, 2013**).

II.5. Pression artérielle – effets contrastants du sodium et du potassium :

De nombreux arguments sont avancés en faveur du rôle délétère de l'excès de sodium dans l'alimentation. Les premiers dits « observationnels » montrent qu'il existe une relation positive entre la consommation habituelle de sel et la pression artérielle dans les populations étudiées et que les déplacements de population avec changement des habitudes alimentaires s'accompagnent de modifications de la pression artérielle. Le deuxième type d'arguments dits « interventionnels » montrent que les réductions de la consommation de sel aussi bien aiguës que chroniques entraînent la diminution de la pression artérielle à la fois chez l'Homme et l'animal. A ces arguments s'ajoute l'opinion que la consommation actuelle de sel paraît inadaptée à notre patrimoine génétique, tout en remarquant que la sensibilité au sel (réponse de la pression artérielle au changement d'apport) est variable avec les individus. La consommation de sel en France par exemple a été évaluée à partir de la mesure de l'excrétion urinaire de sodium et à partir d'enquêtes alimentaires. Elle peut être estimée à 7-10 g en moyenne par jour à comparer à des besoins physiologiques qui n'excèdent pas 3 g par jour. Le sel est pour l'essentiel présent dans le pain, les laitages et fromages, les charcuteries, les plats cuisinés et les conserves industrielles.

Le rôle que l'excès de sel et plus généralement de sodium, dans l'alimentation peut avoir sur la santé fait toujours l'objet d'un débat. Alors que les scientifiques ou médecins pris à titre individuel ont des opinions souvent contradictoires, les institutions publiques et les associations médicales internationales ou étrangères qui se sont saisies de ce problème ont constamment conclu à la nécessité de restreindre l'apport quotidien de sel alimentaire. C'est le cas de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), du « Scientific Advisory Committee on Nutrition » au Royaume Uni, du « Nutrition Committee of the American Heart Association » aux Etats-Unis et de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) en France. Tout récemment, les agences de sécurité alimentaires de 16 pays européens (ceux de la Communauté européenne plus la Norvège) ont diffusé un communiqué commun reconnaissant que la consommation de sel s'établissait à un niveau préoccupant et demandant la mise en œuvre d'une politique de réduction significative de cette consommation. Ces prises de position sont basées sur des arguments

expérimentaux et épidémiologiques tendant à prouver que le contenu en sel de l'alimentation augmente la prévalence de l'hypertension artérielle dans une population. Le sel alimentaire a été également incriminé en tant que facteur associé d'autres maladies comme l'ostéoporose ou les cancers digestifs. Alors que les données dans le domaine cardiovasculaire sont considérées par l'OMS comme « convaincantes », celles dans les deux autres domaines cités sont de l'ordre du « probable » ou du « possible ».

Nombreuses études ont montré qu'il existe un lien entre la consommation de sodium et l'hypertension artérielle. Lorsque l'apport de sodium augmente chez les personnes prédisposées, la pression artérielle tend à s'élever. L'hypertension artérielle est habituellement diagnostiquée chez les personnes de plus de 31 ans. Or, selon les données tirées de l'ESCC (Nutrition réalisée en 2004, 6 % des personnes de 31 à 50 ans ont déclaré avoir reçu ce diagnostic. Chez les personnes de 51 à 70 ans et chez les 70 ans et plus, les taux correspondants se fixent à 27 % et à 47 %, respectivement.

Lorsque la présence de sodium était moins évidente, notamment dans le cas d'aliments auxquels il est préincorporé, le niveau d'apport chez les adultes hypertendus se rapprochait de celui des personnes non hypertendues.

Si la pression artérielle s'élève en fonction de l'accroissement de l'apport en sodium, une augmentation de l'apport en potassium peut contribuer à l'abaisser **(Busch et al, 2010)**.

Par contre, l'augmentation des apports en potassium permet de faire fléchir la pression artérielle, phénomène qui pourrait s'expliquer par l'aptitude du potassium à augmenter l'excrétion du sodium et par ses effets vasoactifs sur les vaisseaux sanguins. **(Anonyme, 2006)**.

L'intérêt du potassium ne se limite sans doute pas au contrôle de la pression artérielle et cet élément a sans doute des effets protecteurs, par exemple, pour améliorer la tolérance aux glucides.

La maîtrise d'apports suffisamment importants en potassium ne concerne pas seulement les sujets à risque et doit être recommandée tout au long de la vie et chez tous ses sujets.

II.6. Aperçu physiologique du bilan potassique :

Le potassium est un cation essentiellement intracellulaire et les modifications de sa concentration plasmatique ne reflètent pas toujours la teneur globale de l'organisme en potassium. Si la concentration en potassium dans les liquides extracellulaires est faible et relativement stable, comprise entre 3,5 et 5,0 mmol/l, la teneur intracellulaire varie entre 120 et 150 mmol/l, en fonction du bilan potassique et de l'équilibre acide-base.

Le fait que la kaliémie (c'est-à-dire la concentration extracellulaire en potassium) est peu influencée par l'importance de l'apport alimentaire en potassium s'explique par la sécrétion postprandiale accrue d'insuline qui favorise une entrée rapide du potassium ingéré dans les cellules musculaires. L'adaptation rénale à l'ingestion du potassium (c'est-à-dire l'augmentation de son excrétion urinaire) est plus lente mais d'une grande efficacité puisque les reins éliminent 90 à 95 % du potassium apporté par l'alimentation. Chez les sujets en bonne santé, présentant donc une fonction rénale normale, cette grande capacité de l'adaptation rénale permet le maintien d'un bilan potassique équilibré même en cas de surcharge orale dépassant de plusieurs fois l'apport alimentaire normal en potassium. Cependant, cette capacité des reins d'éliminer des surcharges alimentaires en potassium diminue avec l'âge. Les besoins nutritionnels en potassium sont compris chez l'adulte entre 3,1 et 3,5 g par jour (donc entre 78 et 88 mmoles) (**Anonyme, 2006**).

Dans un contexte de transformation alimentaire, le NaCl pourrait être remplacé par d'autres ingrédients qui ont la capacité de modifier le profil de saveur d'un aliment pour que ce dernier ressemble à sa version originale, tout en diminuant la quantité de sodium dans l'aliment.

Des succédanés du chlorure de sodium renferment d'autres sels et additifs alimentaires dont le chlorure de potassium (KCl) et le chlorure de magnésium (MgCl₂). Le KCl semble être le remplaçant le plus probable pour conserver le goût du NaCl. Cependant, quand le KCl substitue complètement le NaCl, il induit un goût désagréable à certains, plutôt amer (**Fregly, 1981**).

II.7. Le NaCl dans le fromage:

De la production jusqu'à l'affinage, le sel joue, directement ou indirectement, plusieurs rôles importants. Lors de la production, il favorise l'égouttage sous l'effet de la pression osmotique, réduit la teneur en humidité et abaisse l'activité de l'eau (Aw).

II.7.1 L'intérêt du NaCl en fromagerie:

Les fromageries se retrouvent dans une situation délicate, puisque le sel est l'élément indispensable pour l'obtention d'un fromage désirable. Le sel a un rôle sur le goût, la texture et sur la vie du produit.

- _ Il offre une barrière contre les agents pathogènes ;
- _ Il régule l'activité de l'eau en orientant et en freinant les développements microbiens et les actions enzymatiques indésirables ;
- _ Il contribue à donner aux différentes variétés de fromage leur goût particulier.
- _ Il aide certaines flores bactériennes secondaires à exercer leur action positive lors du processus d'affinage.
- _ Il intervient dans la texture et les propriétés fonctionnelles du produit fini.

II.7.2. Influence du NaCl sur la microbiologie et les réactions enzymatiques :

Le sel influence directement et indirectement la croissance des micro-organismes. L'action principale du NaCl sur la croissance des micro-organismes est l'abaissement de l'activité de l'eau. Le sel permet de limiter et/ou de ralentir la croissance des micro-organismes sensibles au sel. L'abaissement de l' A_w intervient dans les réactions enzymatiques, telles la protéolyse et la lipolyse au cours de l'affinage. La protéolyse est un facteur important dans l'évolution des fromages. Lors de l'affinage d'un fromage, une fraction de caséines est convertie en composés azotés solubles de plus petite taille, tels que des peptides et des acides aminés. La protéolyse primaire dans un fromage provient de l'action du coagulant (chymosine). Le ferment lactique intervient surtout lors de la protéolyse secondaire (**Kindstedt et al, 1999**). La teneur en NaCl influence le taux de protéolyse et le type de peptides libérés dans le fromage. Le NaCl diminue la capacité de la chymosine à hydrolyser la caséine- β et l'inhibe si la teneur en NaCl excède 5 % (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002 ; Hardy, 2004**). L'effet inhibiteur du NaCl sur l'hydrolyse de la caséine- β permet de limiter l'apparition de composés peptidiques amers dans le fromage au cours de l'affinage (**St-Gelais et Tirard-Collet, 2002 ; Guinee et Fox, 2004**). La lipolyse est moins influencée que la protéolyse par la teneur en NaCl dans les fromages et la diminution de l' A_w .

II.7.3. Influence du NaCl sur la structure du fromage :

Le sel modifie la structure et il interagit avec le réseau protéique et la phase aqueuse de la matrice fromagère. La présence de sels influence fortement la capacité d'hydratation des protéines avec des variations selon les anions et les

cations présents dans le milieu en fonction de la densité de charge ou du champ électrique qu'ils génèrent (**Hardy, 2004**). L'augmentation de l'hydratation donne une apparence plus translucide à la matrice fromagère (**Guinee et Fox, 2004**). Comparativement à un fromage salé, un fromage non salé peut présenter une humidité élevée et une protéolyse élevée, ce qui peut entraîner des problèmes d'affinage, tels que le développement d'un corps mou et faible, une forte adhésion et un goût indésirable. Comparativement à un fromage salé, les fromages non salés sont généralement faibles, mous et adhérents avec l'âge. Au contraire, un fromage à fort taux de NaCl entraîne une contraction, un assèchement et un durcissement (**Guinee et Fox, 2004**).

II.7.4. Influence du NaCl sur la texture des fromages :

L'influence du sel sur la texture des fromages est probablement causée par ses effets sur la composition (teneur en humidité et l'humidité sur matière sèche dégraissée), sur l'hydratation/solubilité de la para-caséine et sa conformation, sur le pH et la protéolyse liée à l'âge des fromages. Selon **Gunasekaran et Ak, (2003)**, les paramètres ayant un impact (du plus important au moins important) sur le profil de texture TPA (texture profile analysis) sont les suivants : le contenu (%) en protéines, en NaCl, en humidité, le pH et la matière grasse.

Un fromage à fort taux en sel sera plus sec et ferme. Celui-ci sera plus facilement fracturable qu'un fromage équivalent avec un moindre taux de sel (**Guinee, 2004**). Un taux de sel plus élevé diminue la protéolyse dans le fromage et le rend plus ferme (**Kindstedt, 1993 ; Guinee, 2004**). Il y a diminution de la fermeté et de la cohésion du fromage avec l'augmentation de la protéolyse (**Lucey et al, 2003 ; Kindstedt, 2004a; Upadhyay et al, 2004**). Une hausse du contenu en humidité entraîne une augmentation de l'adhérence d'un fromage (**Gunasekaran et Ak, 2003**).

II.7.5. Influence du NaCl sur les propriétés fonctionnelles des fromages :

- **Capacité de rétention de la phase aqueuse :**

L'hydratation des protéines ou la capacité de rétention de la phase aqueuse augmente au cours de l'entreposage. Cette capacité augmente considérablement durant les premières semaines après la production, car l'eau libre est habituellement absorbée rapidement par la matrice protéique (Kindstedt et al. 1995). L'augmentation de l'hydratation des caséines en présence de NaCl pourrait être attribuée à la liaison du Na⁺ avec les caséines. La diffusion du sel dans le fromage augmente la force ionique et la pression osmotique de la phase aqueuse, ce qui peut rendre plus

difficile l'extraction de la phase aqueuse lorsqu'une faible pression est appliquée (**Lucey et al, 2003**).

- **Étalement à la fonte :**

L'étalement à la fonte est le comportement physique d'un fromage lorsqu'il est soumis à une température et à un temps donnés. La qualité de la fonte est influencée par la composition du fromage (teneur en matières grasses, en humidité et en sel) et le temps d'entreposage (protéolyse). L'étalement à la fonte augmente avec le taux de la matière grasse sur la matière sèche et le temps d'entreposage (**Tunick et al, 1995**). Une teneur en NaCl élevée (>1,78-2 %) diminue l'étalement à la fonte (**Kindstedt, 1993b; Rowney et al. 1999; Gunasekaran et Ak, 2003**). Un fromage mou (haute teneur en humidité, augmentation de la protéolyse durant l'entreposage) augmente la capacité d'étalement à la fonte du fromage (**Gunasekaran et Ak, 2003; Kindstedt, 2004a**).

II.7.6. Influence du NaCl sur les saveurs :

Le NaCl intervient dans le développement des saveurs, et la teneur en sel dans le fromage intervient sur l'appréciation du produit fini par les consommateurs. En plus d'avoir un goût acide, les fromages à faible teneur en sel peuvent présenter un goût amer, ce qui est souvent associé à un défaut de saveur (**Guinee, 2004**). La protéolyse est essentielle au développement des saveurs et à la texture d'un fromage (**Sihufe et al, 2006**).

II.8. Fromage réduit en sel :

La qualité des fromages commerciaux réduits en sodium dépend de plusieurs facteurs, incluant le pH, le type et le taux de coagulant résiduel, le type et le compte des bactéries (ferment et flore secondaire), la composition et la température d'affinage (**Guinee et Fox, 2004**). La littérature rapporte des études sur l'effet de la diminution du NaCl dans différents fromages. Plusieurs de ces recherches proposaient une diminution du sodium dans les fromages par la substitution partielle du NaCl par des succédanés, dont le principal était le KCl. Ces études ont été réalisées sur différents fromages, notamment les fromages cheddar, gruyère, feta, fynbo et kefalograviera (**Lindsay et al, 1982; Fitzgerald et Buckley, 1985; Lefier et al, 1987 ; Reddy et Marth, 1993a,b,c, 1994, 1995 a,b; Katsiari et al, 1997, 1998, 2000a,b, 2001a,b; Sihufe et al, 2006; Karagözü et al, 2008**).

Les sels substitués du NaCl les plus rapportés pour l'usage fromager sont le KCl et le MgCl₂. **Fitzgerald et Burckley (1985)** ont montré que le meilleur substitut est le KCl, car il entraîne le moins de modifications du produit fini, dans le cadre d'une production de fromage cheddar. Plusieurs auteurs ont démontré qu'un ratio NaCl:KCl de 1 :1 n'affectait pas de manière significative le fromage cheddar (**Lindsay et al, 1982 ; Fitzgerald et Buckley, 1985; Reddy et Marth, 1993a**). Toutefois, la substitution complète du NaCl par un succédané (MgCl₂, CaCl₂ ou KCl) ne serait pas recommandée. **Fitzgerald et Buckley, (1985)** ont démontré qu'une substitution complète du NaCl entraînait des défauts majeurs de goût et de texture (augmentation de la lipolyse et de la protéolyse, diminution de la fermeté et de la dureté), pour un fromage cheddar affiné 4 mois.

II.8.1. Protéolyse:

Plusieurs auteurs ont démontré que la substitution du NaCl par le KCl, jusqu'à un rapport 1:3 NaCl:KCl, n'a pas d'impact significatif sur la protéolyse de différents fromages (**Reddy et Marth, 1993c; Katsiari et al. 2000a, 2001a; Sihufe et al. 2006 ;Ayyash et Shah, 2010;**). L'influence des ions sur l'activité protéasique des cellules entières n'est en général pas significative pour les cations monovalents K⁺ et Na⁺ (**Guinee et Fox, 2004**).

Lefier et al, (1987) ont démontré qu'en réduisant de 80 % la teneur en sodium, par l'utilisation de MgCl₂, le processus fermentaire et l'activité protéolytique d'un fromage gruyère n'étaient que légèrement modifiés.

II.8.2. Lipolyse:

La lipolyse ne serait pas affectée par l'utilisation d'un mélange de NaCl:KCl par exemple dans un fromage feta et kefalograviera (**Katsiari et al, 2000b ; 2001b**).

II.8.3. Qualités organoleptiques:

L'utilisation de KCl, de MgCl₂ ou de CaCl₂ pour remplacer complètement le NaCl donnerait des fromages trop mous et favoriserait l'apparition de saveurs indésirables et amères **Lindsay et al, (1982) ; Guinee et Fox, (2004)** ont démontré que le pourcentage de sel (% p/p) a un effet gustatif plus important que la composition de la source de sel. Certains auteurs n'ont pas détecté de différences significatives entre un fromage témoin et un fromage avec un mélange NaCl/KCl, pour un même taux de sel (**Demott, 1984; Fitzgerald et Buckley, 1985; Katsiari et al. 1998**). Par contre, il a été démontré que, durant l'affinage d'un fromage cheddar

(plus de 3 mois), un mélange NaCl/KCl peut entraîner l'apparition d'un goût plus amer et plus fade qu'un fromage témoin (Lindsay et al. 1982). Il serait possible de produire un fromage gruyère hyposodique au goût acceptable grâce à l'incorporation de MgCl₂. Ces fromages présentaient une légère amertume et une pâte plus souple **Fitzgerald et Buckley, (1985)** ; **Lefier et al, (1987)** ont démontré que des fromages cheddar salés avec des mélanges de NaCl/MgCl₂ ou de NaCl/CaCl₂ obtenaient un taux d'appréciation des juges (évaluation sensorielle) moins élevé que le fromage témoin.

II.8.4. Croissance microbienne:

Le sel joue un rôle important pour inhiber la croissance microbienne par un abaissement de l'Aw et la pression osmotique dans la matrice protéique. La substitution partielle du NaCl par du KCl aurait un effet inhibiteur similaire, car le KCl exercerait lui aussi une pression osmotique (**Guinee et Fox, 2004**).

II.9. Substitut Kcl: (dans différents types de fromages) :

Les sels de substitution peuvent être utilisés pour la production de fromages spéciaux destinés aux personnes souffrant de maladies nécessitant un régime sans sodium.

Le chlorure de potassium est le plus souvent utilisé par l'industrie alimentaire. A l'appréciation sensorielle il dégage, en plus de la saveur salée, une sensation en bouche déviant vers amer ou du type «métallique».

Important: en cas de substitution partielle du sel par du KCl, la teneur en sel dans les fromages doit être déterminée par l'analyse du sodium.

La détermination habituelle par l'analyse des chlorures donnerait des résultats faux. (Daniel Goy, Jean-Pierre Hani, 2008).

Le Kcl a été utilisé pour produire des fromages salés réduites en sodium. L'incorporation de Kcl dans une saumure n'aurait pas d'effet sur le coefficient de diffusion du sel de la saumure vers le fromage (**Zorrilla et Rubiolo, 1994a et 1994b**). Ces auteurs proposent que le comportement d'une saumure témoin et celui d'une saumure constituée d'un mélange NaCl:Kcl seraient similaires en raison de la proximité de taille et de la force des ions (Na⁺ versus K⁺). Cette hypothèse permettrait de prétendre que la présence de Kcl n'affecterait pas la diffusion des sels lors du saumurage. Plusieurs auteurs ont démontré qu'il était possible d'incorporer du KCl dans une saumure pour diminuer la teneur en sodium dans différents fromages

sans affecter la qualité des produits finis (**Aly, 1995; Katsiari et al. 1997, 1998; Zorrilla et Rubiolo 1999; Ayyash et Shah, 2010**).

Le taux d'incorporation du KCl est variable selon les fromages. Toute fois, **Karagözü et al, (2008)** ont montré que le taux de remplacement du NaCl par du KCl en saumure ne se reflète pas nécessairement dans les mêmes proportions dans le fromage. Ils ont démontré que, dans un fromage d'origine turc (white pickledcheese), le fromage saumuré dans un mélange 1:1 NaCl:KCl ne contient pas 50 % moins de sodium que le témoin (100 % NaCl). Puisque la taille et la porosité sont différentes pour chaque type de fromage, il est difficile de prédire le taux de diffusion de chaque composé de la saumure vers un fromage donné.

Discussion générale

Discussion générale

La dénomination « fromagère fondue » est réservée au produit laitier, dont la teneur minimale en matière sèche est de 25 grammes pour 100 grammes de produit, préparé à partir de fromage et d'autres produits laitiers et non laitiers, et cela nécessite la sureté des matières premières pour avoir un produit fini sain.

Pour cela et avant la fabrication de fromage fondu il est nécessaire d'effectuer des analyses non seulement pour garantir la qualité microbienne mais aussi pour aboutir à un équilibre quantitatif et une satisfaction sensorielle.

Dans le présent travail nous avons effectué des analyses physico-chimiques et microbiologiques sur les matières premières et les produits finis et nous avons obtenu les résultats suivants :

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de lait à savoir l'EST, MG, H°, sont respectivement de 96, 26, 4% et sont conformes aux normes, cela est dû aux bonnes conditions de stockage et aux modalités de fabrication.

Selon Cheftel et al, (1977), les matières premières doivent faire l'objet d'une surveillance attentive qui refuse celles qui ne seraient pas dans un état satisfaisant.

Les résultats des analyses physico-chimiques du cheddar des différents paramètres sont de 64.37% pour l'EST, 32 % pour la MG, et 35.63% pour l'humidité, et sont conformes aux normes et dans un état satisfaisant.

Pour le beurre, les résultats des analyses physico-chimiques du beurre effectués sur l'EST, MG, et H°, sont respectivement de 82.41, 80, et 17.59%.

Concernant l'eau de process, les résultats obtenus montrent la conformité de l'eau de process aux normes établies par GOUMIDI en ce qui concerne le TA, TAC, TH, Cl⁻, et pH ; le TA =0 cela se traduit par une absence de carbonate dans l'eau.

Les résultats physico-chimiques des produits finis ont donné ce qui suit :

- L'EST des 4 produits finis sont conformes aux normes, et les valeurs des 3 essais sont comparables à celle de produit témoin. Les changements de nature et quantité de sel n'ont pas eu d'impact significatif sur la teneur en extrait sec total.

Discussion générale

- La matière grasse des 4 produits est la même, nous n'avons pas remarqué un changement résultant de la substitution. Selon **Choisy et al, (1987)** la matière grasse influe sur la texture de la pâte, elle joue un rôle comme solvant de composant d'arome.
- Nous avons remarqué une légère différence dans le taux d'humidité de produit 1 et 3 par rapport au produit témoin et au produit 2. le fromage fondu doit avoir un taux d'humidité un peu élevé ce qui le rend bien tartinable.
- Le rapport G/S est le même, il permet l'obtention de produit de texture tartinable à tranchable.
- Le pH est un paramètre un peu délicat dans cette situation, en comparant entre les 4 produits nous trouvons que le pH de 2eme produit est égal au pH de témoin, tandis qu'E1 et E3 sont légèrement acide par rapport au témoin et cela peut être du au taux de sodium présent ; d'après (**Guinee, 2004**), le sel permet de réguler le pH des fromages par son effet sur la flore microbienne et sur la protéolyse, ils stabilisent l'hydratation des protéines et l'émulsion de la matière grasse. Ces effets sont particulièrement important car, en milieu trop acide la matière grasse se sépare des protéines et la pâte est perdue, en milieu trop alcalin .La conservation de fondu est difficile pour risque de prolifération des germes.
- Le taux de protéine n'a pas subi un changement observé par rapport au témoin qui est de 10%.
- les ions de Na⁺ ont diminué par rapport au témoin, cela est dû à la réduction et la substitution des sels.
- Ainsi les ions K⁺ ont augmenté par rapport au témoin, qui s'explique par la substitution partielle ou totale des sels.

Concernant les essais de substitution du sel (NaCl) par le KCl à différentes doses à savoir : 30, 50, et 100%, on a constaté un effet non significatif ($p=0.045$) des substitutions sur les valeurs du pH, sachant que le sel (NaCl) permet de réguler le pH des fromages par son effet sur la flore microbienne et sur la protéolyse (Guinée, 2004).

Un effet non significatif ($p=0.063>0.05$) a été observé aussi suite aux substitutions du sel (NaCl) sur la teneur en protéines des produits finis, sur la teneur en extrait sec ($p=0.08>0.05$), sur la teneur en matière grasse ($p=0.3692>0.05$), sur la teneur en eau ($p=0.081>0.05$), sur le rapport G/S ($p=0.0752>0.05$), cependant on a constaté un effet hautement significatif sur la teneur en ions Na⁺ ($p=0.0069 <0.01$), et sur la teneur en ions K⁺ ($p=0.0012 <0.01$).

Discussion générale

En 2eme lieu nous avons effectué des analyses microbiologiques sur les matières premières et les produits finis dont les résultats sont présentés ci-après :

Pour toutes les matières premières utilisées (Poudre de lait, cheddar, beurre, eau) et les produits finis obtenus nous avons remarqué une Absence totale des germes recherchés qui sont principalement les Germes totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Clostridium sulfito-réducteur, S.aureus, Levures et moisissures et cela est conformes aux normes fixées par l'entreprise.

Cette conformité est due à la bonne qualité des matières premières, la bonne conservation les bonnes conditions de préparation et la bonne méthode.

On confirme d'après ces résultats que le fromage fondu fabriqué est de bonne qualité microbienne.

Afin de compléter l'efficacité des produits préparés, nous avons effectué un test sensoriel pour voir l'acceptabilité de ces essais : (**Figure n°18** : Résultats des analyses sensorielles).

Un test de dégustation a été fait sur 30 personnes de différent âge (2 enfants, 23 adultes, 5 personnes âgées) qui sont des étudiants et des fonctionnaires qui sont dans le domaine et qui ne le sont pas, et qui consomment le fromage fondu régulièrement au moins une fois par semaine.

Ils ont répondu à un questionnaire, et les résultats ont permis de classer les essais comme suit :

L'essai 1, 90% de la population de dégustateurs le jugent salé (+), cependant 10% l'ont considéré comme étant fade déviant vers le sucré par rapport au témoin (qui est salé tend vers le sucré).

Cependant, pour l'essai 2, il en ressort que la quasi-totalité (97%) juge l'échantillon salé (+), dont 6.66% l'ont trouvé par rapport au témoin salé (+) avec un arrière gout acide.

Ainsi pour l'essai 3, 69.99% de la population de dégustateurs, a jugé le produit fade dont une tranche de 6.66% d'entre eux l'a trouvé fade avec un arrière gout sucré, l'autre tranche qui est de 23.33% l'a trouvé fade déviant vers l'acide par rapport au témoin.

Discussion générale

Le 3% de dégustateur a trouvé la 3eme préparation salée présentant un arrière gout un peu acide par rapport au témoin, et cela est due à la présence du NaCl dans les différentes matières premières entrants dans la fabrication.

- Pour le critère d'appréciation :

La totalité de la population de dégustateur a jugé l'essai 1 Bon, qui est de même pour le témoin, ainsi 63.33% et 53.33% représentent respectivement l'essai 2 et 3, les ont jugé Bon.

Cependant 30%, 43.33% de la totalité de dégustateurs qui représentent respectivement les essais 2 et 3, les ont jugé Moyen ; et cela peut être due à l'habitude de consommer un produit comprend les caractères régulières d'un fromage fondu.

Une tranche de 6.66% et 3.33% respectivement pour l'essai 2 et 3, a jugé les produits comme étant Pas bon ; ce jugement peut s'expliquer par la variation des goûts de consommateurs.

Les propriétés fonctionnelles et la texture des fromages sont liées à la composition notamment, la teneur en protéines, sel, humidité, matière grasse et le pH, (**Kindstedt et al, 1999 ; Gunasekaran et Ak, 2003; Mietton et al, 2004; Hardy, 2004**). Comme mentionné précédemment, les conditions salines utilisées n'ont pas eu d'impact significatif sur les concentrations en protéines et en matières grasses. Ainsi, les teneurs en sels, en minéraux et en humidité seraient les principaux facteurs pouvant influencer la texture des fromages produits.

Figure n° :18 : Résultats du test sensoriel.

1 : point commun entre les 4 essais pour texture Tartinable.

1 : point commun entre les 4 essais pour l'odeur Fromagère.

2 : point commun entre les 4 essais pour la couleur Blanc crème.

La majorité des dégustateurs ont classé les préparations de plus préféré au moins apprécié, en premier :

- 1 ère Classe : 60%.
- 2eme Classe : 26.66%.
- 3eme Classe : 13.33%.

-AFNOR 2706-192 pour les fromages.

-AFNOR, 1982. Recueil des normes Françaises, lait et produits laitiers.

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

-AG.Cruz, JAF Faria, F. Trigo, RMS Celeghini, D. Granato, NP.Shah, (2011), Fromage à teneur réduite en sodium.

-Aly, M. E, (1995). An attempt for producing low-sodium Feta-type cheese. Food Chemistry, 52, 295-299.

-Anonyme 1 : Source : Fichier canadien sur les éléments nutritifs (FCÉN).

-Anonyme2 -Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments.
<http://www.afssa.fr/index.htm>.

-Anonyme 3 : (www. weightlossforall.com).

-Anonyme, 2004 : ESCC, (2004) : Nutrition réalisée en 2004.

-Anonyme, 2004 : Institute of Medicine (IOM), Food and Nutrition Board (FNB), États-Unis, (2004) : Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate The National Academies Press (2004), page 187.
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10925&page=186. [Consulté le 18 juin 2010].

-Anonyme, 2006 : EFSA, (2006) : Reformulation des denrées alimentaires – réduction du sel (Sci Com 2010/09 – CSS 8663) Comité scientifique de l'AFSCA le 16 mars 2012 et par le Collège du Conseil Supérieur de la Santé (CSS) le 04 avril 2012.

-Anonyme, 2006 (food today, 2006).

-Anonyme, 2012 : AFSCA, 16 mars 2012 et le Collège du Conseil Supérieur de la Santé (CSS), 04 avril 2012.

-Anonyme, 2007 : AFSSA, (2007). Rapport Sel : Évaluation et Recommandations, <http://www.anses.fr/Documents/NUT-Ra-Sel.pdf> (consulté le 29 octobre 2009).

-Anonyme, 2008: 41ème congrès de l'American Society of Nephrology, Philadelphie (Etats-Unis), 8 novembre 2008.

-Anonyme, 2013: Afssa, apports nutritionnels conseillés pour la population français
[SafeUpperLevels for Vitamins and Minerals, 2003.](#)

-Anonyme, 2013 : (<http://www.societechimiquedefrance.fr/fr/la-societe-chimique-de-france/>).

-Arlait Recherches, (2004) Manuel du salage en fromagerie 10, 69 pages.

-Ayyash, M. M., Shah, N. P, (2010). Effect of partial substitution of NaCl with KCl on halloumi cheese during storage: chemical composition, lactic bacterial count, and organic acids production. Journal of Food Science, 75, 525-C529.)

-Busch J et al, (2010) Salt reduction and the consumer perspective. New Food 2/10:36-39.

-Bourgeois et al, (1996) Bourgeois C.M., Mexle J.F., Zucca.J, (1996). Microbiologie alimentaire (Tome 2), Aspect microbiologique de la sécurité et qualité des aliments, pp272.292 Ed Lavoisier, Paris.

-Berger W, Klostermeyer H, (1989). La fabrication du fromage fondu. Ed BK ladenburg : 233p.

-Boutonnier J.L, (2000). Fabrication de fromage fondu. Technique d'ingénieur. [1-14].

-Boutonnier J.L, (2002). Fabrication de fromage fondu. Technique d'ingénieur.traité agroalimentaire,F6310-1

-Cruz AG, Faria JAF, Trigo F, Celeghini RMS, Granato D, Shah NP, (2011) - Cheeses With Reduced Sodium Content : Effects On Functionality, Public Health Benefits And Sensory Properties, Trends in Food Science & Technology.

-Charles Alais et Gylinden, (2003) : Biochimie alimentaire.5eme edition tec et doc.lavoisier.Paris.P167.

-Charles Alais, Guy Linden, Laurent Miclo, (2008) : Biochimie alimentaire, 260 pages

-Cheftel, Henri Cheftel, (1977) ; Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments 1977 by [Technique et documentation - Lavoisier](#) in [Paris](#) .

-CODEX STAN 192, (1995) : Appendice B4512.1.1 : Norme générale pour les additifs alimentaires.

-Demott, B. J., Hitchcock, J. P., Sanders, O. G, (1984) : Sodium concentration of selected dairy products and acceptability of a sodium substitute in Cottage cheese. *Journal of Dairy Science*, 67, 1539-1543.

-Daniel Goy, Jean-Pierre Hani, Patricia Piccinali, Karin Wehrmuller, Ernst Jakob, (2008) : LE SEL ET SON IMPORTANCE ALP forum 2008, n° 59 f.

-Eck, André, (1987) : Le fromage, Centre nationale interprofessionnel de l'économie laitière, Lavoisier Tec Doc, Paris, 2e édition, 539 p.

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

-Élisabeth Vierling, (1999) : Biochimie des aliments: diététique du sujet bien portant.

-Emilie Thibaudeau, (2011) : IMPACT DE LA RÉDUCTION DU SODIUM DANS UNE PRODUCTION DE FROMAGE MOZZARELLA.

-Fitzgerald, E., Buckley, J, (1985) : Effect of total and partial substitution of sodium chloride on the quality of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 68, 3127-3134.

-Fregly, M.J, (1981) : Sodium and potassium, *Annual review of nutrition*, 1, 69-93.

-Floury, J., Camier, B., Rousseau, F., Lopez, C., Tissier, J.P., Famelart MH, (2009) : A Reducing salt level in food: Part 1. Factors affecting the manufacture of model cheese systems and their structure–texture relationships, *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1611–1620.

-Guiraud J.P et Galzy, (1980). L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Les éditions de l'usine nouvelle. Paris. P239.

-Guinee, T.P. and Fox, P.F, (2004) Salt in Cheese: Physical, Chemical and Biological Aspects, *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Volume 1: General Aspects, Third edition, Chapman Hall, p. 207-259.

-Gunasekaranm S., Ak, M.M, (2003). Cheese rheology and texture, 1st edition, CRC Press LLC, Florida, USA, 512 p.

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

-Guinee, T. P., Feeney, E. P., Auty, M. A. E., Fox, P. F, (2002). Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 85, 1655-1669.

-Gunasekaranm S., Ak, M.M, (2003). Cheese rheology and texture, 1st edit :ion, CRC Press LLC, Florida, USA, 512 p.

-Guinee et Fox, (2004) ; St-Gelais et Tirard-Collet, (2002) : Chapitre 6 : Fromage, Science et Technologie du lait : Transformation du lait, Presses Internationales Polytechnique, Canada, 349-415.

-Guinee et Fox, (2004); Hardy, (2004): Chapitre 19 : Le chlorure de sodium dans le lait et les produits fromagers, Minéraux et Produits laitiers, Éditions TEC DOC, Paris, p. 619-643.

-Guiraud J.P. (2003) : Microbiologie alimentaire. 2ème édition Dunod .Paris. P330.

-Gaucheron F, (2004) : Minéraux et produits laitiers, édition Tech et doc. Lavoisier P 566.581.582.

-Gunasekaranm S., Ak, M.M, (2003) : Cheese rheology and texture, 1st edition, CRC Press LLC, Florida, USA, 512 p.

-Hercberg. S, (2002): Rapport Sel : évaluation et recommandations (2002)

-Homejardin.com , (2007 – 2013) : Droits enregistrés sous le N° 00045038 auprès de copyrightdepot.com Hébergeur : ONLINE SAS BP 438 75366 PARIS CEDEX 08.

-Journal officiel algérien n° 35 daté le 27 Mai 1998

-Joffin C et joffin JN, (1985) : Microbiologie alimentaire. Edition centre régional de documentation P80-144

-Joffin C et Joffin JN, (1999) : Microbiologie alimentaire. Edition centre régional de documentation P139, 143.

-Kindstedt, P, (2004b) Pasta filata cheese, Cheese: chemistry, physics and microbiology, Vol. 2, Third Edition, Amsterdam, Elsevier Academic Press, p. 251-277.

-Kindstedt P.S. Rowney M., Poupas, P, (1999) : Technology of cheesemaking : Technology, biochemistry and functionality of pasta filata/pizza cheese, Chapter 7, 1st edition,, Scheffiel Academic Press, CRC Press, England, p. 193-221.

-Kasomel. (1990) : Du fromage au fromage fondu. Ed. Rhône-Poulenc.

-Lydie FRETAY, (2011) : relecture Eric CHATEAU) Note de Synthèse n° 2 Décembre 2011, Un fromage avec moins de sel : mission impossible

-Lindsay, R. C ; Hargett, S. M ; Bush, C. S, (1982) : Effect of sodium/potassium (1:1) chloride and low sodium chloride concentrations on quality of Cheddar cheese. Journal of Dairy Science, 65, 360-370.

-Lefier, D; Grappin, R ; Grosclaude, G ; Curtat, G, (1987). Qualité gustative et nutritionnelle des gruyères hyposodés, Le Lait, 67 (4), 451-464.

-Leyral Guy et Vierling Elisabeth, (2007) : Microbiologie et toxicologie des aliments :Hygiene et sécurité alimentaire.4eme édition, Edition DOIN, Paris, P99.)

-Luquet FM et Boudier J, (1981): Dictionnaire laitiers. Edition :Technique et documentation, lavoisier, 2eme edition. Paris, P219)

-Luquet FM, (1985) : Lait et production laitiers :vache, brebis, chevre, volume 3. Qualité – energie et table de composition. Edition tec et doc, lavoisier- Paris. P236.

-Melilli, C ; Carcó, D. Barbano, D.M ; Turmino, G ; Carpino, S ; Licitra, G, (2005) Composition, microstructure and surface barrier layer development during brine salting, Journal of Dairy Science, 88, 2329-2340.

-Mahaut M, Romain J et Gérard B, (2000) : Initiation à la technologie fromagère , edition tec et doc, lavoisier. P56.

-**Mahaut et al. (2000) ; Mahaut M, (2000)**. Initiation à la technologie fromagère. Ed : tec&doc, Lavoisier. Paris. P194.

-**McMahon, D. J ; Oberg, C. J ; McManus, W, (1993)**. Functionality of Mozzarella cheese. Australian Journal of Dairy Technology, 48, 99-104.

-**Microbiologie des aliments** : Dénombrement des levures et moisissures par comptage des colonies à 25°C.

-**Norme : NF V 08-051 : (février 1999)** relative au dénombrement des micro-organismes par méthode de comptage de colonies

-**Norme NF V 08- 057- 2** : Microbiologie alimentaire- Directives générales pour la préparation des dilutions en vue de l'examen microbiologique.

-**Norme : AFNOR T 90-501 et T 90-506**

-**NF ISO 4832, (Juillet 2006)** : Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes – Méthode par comptage des colonies.

-**NF ISO 4831 Octobre 2006** : Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement des coliformes – Technique du nombre le plus probable.

-**NF-V04-287, (fevrier 2002)** : Fromages – Détermination de la teneur en matière grasse – Méthode acido-butyrométrique

-**NF en ISO 707/2008** : Lait et produits laitiers : Lignes directrices pour l'échantillonnage;

Philippe Chappuis : Les oligo-éléments en médecine et biologie.

-**Public Health Benefits And Sensory Properties, (2011)**, Trends in Food Science & Technology.

-**Pirot, (1989)** fabrication du fromage fondu .rev.le lait et nous, n°i,pp9-21.

-**Réduire le taux de sel, (2011)**: le mouvement est engagé en fromageries (2011), Revue Laitière Française, n° 710, p28-33.

-**Rodier J et coll, (2005)** :l'analyse de l'eau :eau naturelle, eau résiduaire ;eau de mér,8eme edition.Dunod Paris2005,P113,801.)

-**Rowney, M.K ; Roupas, P ; Hickey, M.W ; Everett, D.W, (1999)** : Factors affecting the functionality of mozzarella cheese, Australian Journal of Dairy Science (54), 94-102.

-**Recommandations nutritionnelles pour la Belgique. (2009)** : Conseil Supérieur de Santé.

-**Sack, F.M. (2001)** : Effects on blood pressure of reduced dietary sodium and the dietary approaches to stop hypertension (dash) diet, The New England Journal of Medecin, 344 (1), 4-10.

-**SAUVAGEOT. F et Depledt. F, (2002)** : Evaluation sensorielle de produits alimentaires, Techniques-ingénieur. F4000.

-**Sihufe, G. A ; Zorrilla, S. E Rubiolo, A. C, (2006)** : Secondary proteolysis of Fynbo cheese salted with NaCl/KCl brine and ripened at various temperatures. Food Chemistry, 96, 297-303.

- [Safe Upper Levels for Vitamins and Minerals, \(May 2003\).](#)

-**Tunick, M. H ; Malin, E. L ; Smith, P. W., Holsinger, V. H, (1995)** :Effects of skim milk homogenization on proteolysis and rheology of Mozzarella cheese. International Dairy Journal, 5, 483-491.

-**Vierling E, (1999)** : Aliment et boissons : filières et produits. Paris, Ed. Doin, 271 p. (Collection : Science des aliments).

-**Wang H.H ; Sun, D.W, (2003)** : Assessment of cheese browning affected by baking conditions using computer vision, Journal of Food Engineering, 56, 339–345.

-**Zorrilla, S. E ;Rubiolo, A. C, (1994a).** Modelling NaCl and KCl movement in Fynbo cheese during salting. Journal of Food Science, 59, 976-980.

-**Zorrilla, S. E ; Rubiolo, A. C, (1994b).** Fynbo cheese NaCl and KCl changes during ripening. Journal of Food Science, 59, 972-975.

Table des matières :

Remerciements et dédicaces

Résumé

Introduction	1
Chapitre I : Fromage fondu	
I.1. Définition	3
I.2. Composition biochimique du fromage fondu.....	3
I-3. Classification de fromage fondu.....	4
I-4 Les étapes de fabrications du fromage fondu.....	4
I-4-1 Nettoyage de la surface des fromages5.....	
I-4-2 Découpage et broyage du fromage5.....	
I-4-3 Mélange des ingrédients....5.....	
I-4-4 Cuisson et fonte.....	5
I-4-5 Homogénéisation.....	7
I-4-6 Conditionnement	7
I-4-7 Refroidissement	7
I-4-8 Stockage	8
• I-5 Ingrédients utilisés en fabrication.....	8
I-5-1 Matières premières.....	8
-Poudre de lait	8
-Cheddar	8
-Beurre.....	8
-Préfonte.....	8
-Eau.....	9
-Caséines	9
-Sel de fonte.....	9
-Sel.....	9
I-6 Défauts de fabrication.....	12
• I-6-1 Défauts d'origine microbienne.....	12
• I-6-2 Défauts d'origine physique.....	15
• Chapitre II : Le Sel	
II-1 Sel au quotidien.....	17

-Importance du sel pour l'organisme

➤ Sodium : rôle du sodium.....	18
-Teneur en sodium dans les aliments	
-Sources	
II-2 Potassium : rôle du potassium.....	19
-Teneur en potassium dans les aliments	
-Sources	
II-3 Chlorure : rôle de chlorure.....	21
-Teneur en chlorure dans les aliments	
-Sources	
II-4 Rapport Na^+/K^+	23
II-5 Pression artérielle : (effet du Nacl et Kcl).....	25
II-6 Aperçu physiologique du bilan potassique.....	27
II-7 Le Nacl dans le fromage.....	27
II-7-1 L'intérêt du Nacl en fromagerie.....	28
II-7-2 Influence du Nacl sur la microbiologie et les réactions enzymatiques.....	28
II-7-3 Influence du Nacl sur la structure du fromage.....	28
II-7-4 Influence du Nacl sur la texture	29
II-7-5 Influence du Nacl sur les propriétés fonctionnelles des fromages.....	29
II-7-6 Influence du Nacl sur les saveurs	30
II-8 Fromage réduit en sel.....	30
II-8-1 Protéolyse.....	31
II-8-2 Lipolyse	31
II-8-3 Qualité organoleptique.....	31
II-8-4 Croissance microbienne.....	32
II-9 Substitut Kcl.....	32

Partie II : Etude Expérimentale

• Chapitre I : Matériels et méthodes :	
➤ I- Lieu de travail.....	34
II- Matériels.....	34
II-1 Matériels biologique.....	34
II-2 Matériels non biologique.....	34
II-2-1 Equipements.....	34
II-2-2 L'appareillage.....	34
II-2-3 Réactifs	34
III Procédé de fabrication du fromage fondu Okids.....	35
IV- Méthode	
1- Essais de substitution du sel dans le fromage	36
1.1- Fromage fondu témoin	36
1.2- Essais de formulation	37
Problématique	37
3- Prélèvement des matières.....	38
IV-2 Mélange, fonte et cuisson.....	39
IV-3 Crémage.....	40
IV-4 Conditionnement.....	40
IV-5 Refroidissement du produit fini.....	40
IV-6 Conservation.....	41
V- Analyses physicochimiques et microbiologiques.....	41
V-1 Analyses physico-chimiques.....	41
V-1-1 Détermination de l'extrait sec.....	41
V-1-2 Détermination de l'humidité.....	43
V-1-3 Détermination de matière grasse.....	43
V-1-4 Calcul du rapport G/S.....	45

V-1-5 Détermination du pH.....	43
V-6 Les analyses physico-chimiques de l'eau.....	45
V-6-1 Détermination du titre alcalimétrique.....	46
V-1-6-2 Détermination du titre alcalimétrique complet : (TAC).....	47
V-1-6-3 Détermination du titre hydrométrique.....	47
V-1-6-4 Détermination de chlorure Cl-	48
V-1-7 Dosage de NA ⁺ et K par photométrie de flamme.....	49
V-1-8 Détermination du teneur en Matière Azoté Total (MAT) par la méthode de référence KJED AHL (NA 15009-2002)	50
V-2 Analyse microbiologiques.....	52
V-2-1. Préparation des dilutions.....	53
V-2-2 Recherche et dénombrement des germes totaux mésophiles.....	54
V-2-3 Recherche et dénombrement des spores de clostridium sulfite-réducteur.....	55
V-2-4 Recherche et dénombrement des coliformes par comptage des colonies.....	55
V-2-5 Recherche et dénombrement des coliformes par le nombre le plus probable.....	56
V-2-6 Recherche et dénombrement des staphylococcus aureus.....	58
V-2-7 Recherche et dénombrement des levures et moisissures.....	59
V-2-8 Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau.....	60
V-2-9 Recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau.....	61
V-2-10 Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux dans l'eau.....	62

V-2-11 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteur dans l'eau de process	63
VI : Entreposage.....	63
VII : Evaluation sensorielle.....	63
1- Test descriptif.....	63
2- Test de classement.....	63
Conduite de l'analyse sensorielle.	64
VIII : Analyse Statistique.....	64
Chapitre II : Résultats et discussion	
I- Les résultats physicochimiques	65
I-1 Matières premières.....	65
I-1-1- La poudre de lait.....	65
I-1-2- Le cheddar.....	65
I-1-3- Pour le beurre	66
I-1-4- Pour l'eau de process.....	67
I-2- Produits finis	68
II-Résultats des analyses microbiologiques	69
II-1-Matières premières.....	70
II-1-1- Poudre de lait.....	70
II-1-2- Cheddar.....	71
II-1-3- Beurre	72
II-1-4- Eau de process	72
II-2- Produits finis.....	72
III- Suivi de la Stabilité.....	73

IV- Résultats de l'analyse sensorielle.....	73
Discussion générale.....	74
Conclusion	79
Annexes	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Références bibliographiques	

I- Résultats des analyses physico-chimiques :

I-1 Matières premières :

I-1-1- La poudre de lait :

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de lait effectuées sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau n° 9 : résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de lait :

Paramètres	Poudre de lait	Normes Internes
EST %	96 ±0.07	95-97
MG%	26 ±0	26
H%	4 ±0.07	3-5

Il en ressort que la teneur en eau de la poudre de lait est de 4%, ce qui se situe dans la fourchette de 3 à 5 %, préconisée par la norme d'entreprise interne, sachant qu'une humidité élevée mène à l'oxydation de la poudre de lait.

Pour l'extrait sec total, il est de 96% sachant que la norme exige un pourcentage qui varie entre 95-97 %, ainsi un EST élevé, conditionne une bonne consistance du fromage (Alais et al, 2008).

Pour la matière grasse, elle est de 26% ce qui permet d'affirmer que cette poudre de lait est conforme aux normes d'entreprise et même aux modalités et conditions de fabrication et stockage de la poudre de lait.

I-1-2- Le cheddar :

Les résultats des analyses physico-chimiques du fromage cheddar effectués sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau n°10 : résultats des analyses physico-chimiques du cheddar :

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

Paramètres	Cheddar	Normes Internes
EST %	64.37±0.03	60-67
MG%	32±0.05	31-33
H%	35.63±0.03	33-44

La teneur en eau est de 35.63%, ce qui se situe dans la fourchette de 33 à 44 % de la norme interne de l'entreprise, selon Cheftel et al, (1977), les matières premières doivent fait l'objet d'une surveillance attentive afin d'écarter celles qui ne sont pas satisfaisantes.

Le Taux de MG est de 32%, alors que l'EST est de 64.37% car la teneur en eau est beaucoup plus proche du seuil minimal que celui du seuil maximal.

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

I-1-3- Le beurre :

Les résultats des analyses physico-chimiques de beurre effectués sont présentés sur le tableau suivant :

Tableau n° 11: résultats des analyses physico-chimiques du Beurre :

Paramètres	Beurre	Normes Internes
EST%	82.41±0.06	82-84
MG%	80±0.03	80-82
H%	17.59±0.06	16-18

Le tableau n°11, illustre les résultats des analyses physico-chimiques effectués sur le beurre, ainsi il en ressort que la teneur en eau de 17.59% est conforme aux valeurs de la norme d'entreprise (16 à 18 %), ainsi que l'EST et la MG qui sont respectivement de 82.41% et 80%.

Le beurre utilisé est donc conforme aux normes ce qui renseigne sur sa bonne qualité physico-chimique.

I-1-4- L'eau de process:

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

Les valeurs des différents paramètres physico-chimiques de l'eau de process sont sur le tableau 12 :

Tableau n°12 : résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de process :

Paramètres	Eau	Normes Internes
TA (F°)	0	0
TAC (F°)	20.5±0.05	<50
TH (F°)	5±0.03	<15
TA/TAC (F°)	0	-
Cl-mg/l	15±0.9	Max 200
pH	7±0.07	6 à 8

D'après Cheftel et al, (1977), l'eau destinée à être mélangée à des aliments doit présenter au moins les caractères de pureté bactériologique et chimique d'une eau potable.

Le pH est de 7 conformément au seuil fixé par la norme interne (6 à 8), le chlore (Cl⁻) est de 15, il est à noter cependant que le chlore doit être éliminé par une déchloration efficace car selon **RODIER (2005)** une dose trop forte de chlore laisserait à l'eau traitée une saveur désagréable.

Concernant les paramètres de dureté TA, TAC, TH, elles sont respectivement de 0, 20.5, et 5F° ce qui se situe dans les normes préconisées par GOUMIDI, sachant qu'une eau de dureté moyenne a un degré hydrométrique compris entre 0 et 30, en dessous ; au-delà l'eau est dure. Selon **Sablonniere (2001)**.

Les résultats obtenus montrent la conformité de l'eau de process aux normes internes.

I-2- Produits finis :

Le tableau suivant regroupe les résultats physico-chimiques sur le fromage témoin et les fromages formulés :

Tableau n°13 : les résultats physico-chimiques des produits finis :

Paramètres	E1 (35%Nacl, 65% Kcl)	E2 (50% Nacl 50% Kcl)	E3 (0% Nacl 100% Kcl)	ET (témoin 100% Nacl 0% Kcl)	Normes Internes
EST%	40.49±0.06	39.86±0.03	39.08±0.03	40±0.01	38-40

MG%	16.5±0.57	16±0.09	16±0.04	16±0.69	16-17
H%	59.51±0.06	60.14±0.03	59.05±0.01	60±0.01	60-62
G/S%	40.75±0.06	40.14±0.03	40.95±0.03	40±0.01	40-42
pH	5.76±0.01	5.78±0.00	5.70±0.01	5.78±0.00	5.2-6.2
Protéine %	10.39±0.03	10.42±0.01	10.38±0.04	10±0.00	+10
%Sodium Na+	0.13±0.01	0.14±0.01	0.087±0.01	0.20±0.01	/
%Potassium K+	0.36±0.01	0.33±0.01	0.45±0.01	0.21±0.02	/

De ce tableau il en ressort que :

- pH** : Le pH est de 5.76, 5.78, et 5.70 respectivement pour les essais de formulation de fromage fondu 1, 2 et 3 (Figure n°5). Comparativement au fromage témoin, ces valeurs de pH sont proches et conformes à la norme interne d'entreprise qui préconise un pH de 5.2 à 6.2, en dehors de cette plage la texture et la consistance ne peuvent pas être atteintes. Les différents sels de fonte permettent d'ajuster le pH du produit à la bonne valeur par leur pouvoir tampon. **(Eck et Gillis, 1997)**.

D'après **Mescle et al, (1988)**, le pH influe sur les réactions chimiques et biochimiques par conséquent Sur les microorganismes.

Le pH de l'essai 3 est de 5.70 qui est considéré acide par rapport au E1, E2, et au témoin mais conforme à la norme, et cela peut être due à la réduction considérable de sodium ajouté.

Ainsi le pH est peu influencé par la variation des pourcentages de sels de substitution.

Le sel permet de réguler le pH des fromages par son effet sur la flore microbienne et sur la protéolyse **(Guinee, 2004)**. Le pH du fromage 3 avait tendance à être plus bas, alors que le pH du fromage 1 et 2 comparable au témoin (le 2 avait un pH un peu élevé par rapport au 1^{er}). Ces tendances à la hausse et à la baisse du pH ont aussi été observées par **Fitzgerald et Buckley (1985)** lors de production de fromage cheddar. L'utilisation des substituts du NaCl (selon la concentration) semblerait modifier la concentration d'ions H⁺ et donc le pH des fromages.

On note Cependant un effet Significatif de la substitution du Kcl à différentes doses sur les valeurs du pH ($p=0.045$). (Voir annexe tableau n°24).

Le mélange de KCl avec du NaCl dans une production de fromage mozzarella permet de limiter l'augmentation du pH causée par ce sel. Le fromage non salé avait un pH plus élevé que les autres fromages, Le pH plus élevé dans un fromage non salé a aussi été remarqué par Reddy et Marth (1995a). Ainsi, le type de sel et sa concentration dans les fromages influencent le pH des fromages mozzarella.

Figure n°5 : Résultats de pH des essais.

- **Protéines** : la teneur en protéines est de 10.39, 10.42, et 10.38% respectivement pour l'essai 1, 2, et 3, ces teneurs sont légèrement supérieures à celle du témoin, mais dans la fourchette des valeurs préconisées par la norme d'entreprise ($\geq 10\%$). (Figure n°6). Ainsi on peut noter que la teneur en protéines n'est pas influencée par les pourcentages de substitution des sels.

On note Cependant un effet Non Significatif de la substitution du Kcl à différentes doses sur les valeurs des protéines ($p=0.063$). (Tableau n° 25: en annexe)

Figure n° 6: Résultats de la teneur en protéines des essais.

- **EST** : la teneur en EST est respectivement de : 40.49, 39.86, et 39.06% pour l'essai 1, 2, et 3, comparativement au témoin (40) et à la norme d'entreprise ces valeurs se rapprochent, donc la substitution du Nacl n'a pas eu d'influence sur l'EST. (Figure n° 7).

On note Cependant un effet Non Significatif de la substitution du Kcl à différentes doses sur les valeurs de l'EST ($p=0.08$). (Annexe : Tableau n°26).

Figure n° 7: Résultats de l'Extrait Sec Total des quatre essais.

- **MG** : les teneurs en matière grasse sont de 16.5, 16, et 16 respectivement pour l'essai 1, 2, et 3 (figure n° 8). Ainsi la teneur en MG est conforme à la norme interne (16 à 17%) ce qui permet de dire que l'effet de la substitution en sel n'a pas eu d'influence sur la teneur en MG sachant que le témoin a une teneur en MG de 16%. La matière grasse est dispersée au sein du réseau protéique et émulsionnée plus ou moins finement (**Eck, Gillis, 1997**) et selon **Choisy et al, (1987)** la matière grasse influe sur la texture de la pâte, elle joue un rôle comme solvant de composant d'arome.

On note Cependant un effet Non Significatif de la substitution du Kcl à différentes doses sur les valeurs de la matière grasse ($p=0.3692$) (Tableau n°27 : en annexe).

Figure n° 8: Résultats de la teneur en Matière Grasse dans les essais.

- **Humidité (H°)** : les teneurs en eau des 3 essais de formulation de fromage sont de 59.51, 60.14, et 59.05% respectivement pour l'essai 1, 2, et 3 (Figure n°9), ces teneurs sont proches de celle du fromage fondu témoin et sont aussi conformes aux valeurs préconisées par la norme interne, ainsi, il en ressort que les pourcentages des substitutions n'ont pas eu d'influence sur la teneur en eau, du fait que le fromage fondu qui est un fromage à pâte molle doit avoir un taux d'humidité un peu élevé ce qui le rend bien tartinable.

La légère différence significative de l'humidité dans les préparations 1 et 3 par rapport au témoin et à la préparation 2, s'explique par la forte présence de sel (par rapport à l'essai 1 et 3) dans la formule. On note Cependant un effet Non Significatif de la substitution du Kcl à différentes doses sur les valeurs de l'Humidité ($p=0.081$). (Tableau n° 28 en annexe).

Figure n°9 : Résultats de la teneur en eau des essais.

- **G/S** : les teneurs de G/S sont de : 40.75, 40.14, et 40.95% respectivement pour l'essai 1, 2, et 3 (Figure n°10), ces valeurs sont légèrement supérieures à celle du témoin (40%) mais restent conformes à la norme interne (40-42), ce qui permet l'obtention de produit de texture tartinable à tranchable. Ainsi les pourcentages de substitution de sel n'ont pas eu d'effet significatif sur le rapport G/S. On note Cependant un effet Non Significatif de la substitution du Kcl à différentes doses sur les valeurs des du rapport G/S ($p=0.0752$). (Tableau n° 29 en annexe)

Figure n° 10: Résultats de rapport G/S des essais.

La teneur en Sodium (Na⁺) et en Potassium (K⁺) :

Le dosage des ions Na⁺ et K⁺ a donné cependant les résultats illustrés sur la figure suivante :

Figure n° 11: Résultats de dosage des ions Na⁺ et K⁺.

Les teneurs en sodium (Na⁺) sont respectivement de : 0.13, 0.14, et 0.08% pour l'essai 1, 2, et 3. Ces valeurs sont inférieures à celle du témoin (0.20%), suite à la réduction des quantités de Nacl lors des formulations.

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

Les teneurs en potassium (K^+) sont respectivement de : 0.36, 0.33, et 0.45% pour les essais 1, 2, et 3. Ces valeurs sont supérieures à celle du témoin (0.21%) et cela suite à l'incorporation du KCl par substitution partielle ou totale du NaCl.

On note Cependant un effet Hautement Significatif de la substitution du KCl à différentes doses sur les valeurs du dosage de Na^+ et K^+ ($p=0.0069$ et $p=0.0012$ respectivement pour le Na^+ et le K^+). (Tableau n° 30, et 32).

Les résultats ont bien démontré la réussite de ces essais dont le but est d'apporter un taux élevé de potassium et de diminuer le taux de sodium qui est une des principales sources de l'hypertension artérielle.

D'après **(Arilait Recherches, 2004)** lors de la réduction de NaCl (dans un fromage mozzarella), le pourcentage de diminution de Na n'est pas forcément proportionnel à la teneur en sodium retrouvée dans les fromages correspondants. L'augmentation de la teneur en sel signifie accroître proportionnellement la teneur en sel dans le fromage.

Plusieurs organisations de santé et auteurs appellent à réduire le sel dans les fromages de **tables (Cruz AG, Faria JAF, Trigo F, Celeghini RMS, Granato D, Shah NP, 2011)**. Malgré tout, certains opérateurs fromagers ont déjà mis sur le marché des fromages à teneur réduite (- 25 % par rapport à la teneur de référence) ; on peut citer par exemple l'emmental Entremont, le camembert Bridel...

Certaines industries fromagères ont substitué un tiers de chlorure de sodium par du chlorure de potassium. Ils ont conclu que si on dépasse largement cette concentration, l'amertume devient gênante pour le consommateur. D'autres substituts du chlorure de sodium testés comme des concentré minéraux issus du lait permettent de réduire de 20 à 80 % la teneur de sodium utilisée ; réduire 50 % le sel (NaCl) exige présence d'un exhausteur de goût car, si on remplace le sel par du chlorure de potassium, de magnésium ou de calcium, il y aura toujours présence d'une saveur amère.

Au Collège Universitaire de Dublin (2011), une équipe de chercheurs a réussi à obtenir un fromage avec une réduction de 60 % de chlorure de sodium par rapport aux produits de l'industrie. Ce fromage a nécessité une modification de process important ; les travaux ont abouti cependant à réduire le temps de fabrication et ainsi permettre une réduction de coût et de dépense énergétique. **(Lydie FRETAY, Décembre, 2011)**.

Plusieurs auteurs ont démontré la possibilité d'incorporer du KCl dans une saumure et de diminuer la teneur en sodium des fromages saumurés (feta, fynbo, kefalograviera, et

halloumi) sans affecter la qualité du produit fini (Aly, 1995; Katsiari *et al.* 1997; Katsiari, 1998 ; Zorrilla et Rubiolo 1999; Ayyash et Shah, 2010).

Karagözü (2007) a montré que le taux de remplacement du NaCl par du KCl ne se reflète pas nécessairement dans les mêmes proportions dans le fromage. Ils ont démontré que dans un fromage d'origine turc (*white pickled cheese*), le fromage saumuré dans un mélange 1:1 NaCl:KCl ne contenait pas 50 % moins de sodium comparativement au témoin (100 % NaCl). Ainsi, chaque type de fromage est unique. La composition, l'organisation protéique et de la phase aqueuse dans la matrice fromagère (porosité et alignement des fibres de caséines), la forme et le volume des fromages, ainsi que le processus de fabrication est propre à chaque type de fromage.

Selon (Kindstedt *et al.*, 1999; Gunasekaran et Ak, 2003; Mietton *et al.*, 2004; Hardy, 2004) Les propriétés fonctionnelles et la texture des fromages sont liées à la composition notamment, la teneur en protéines, sel, humidité, matière grasse et le pH. Les conditions salines utilisées n'ont pas eu d'impact significatif sur les concentrations en protéines et en matières grasses. Ainsi, les teneurs en sels, en minéraux et en humidité seraient les principaux facteurs pouvant influencer la texture des fromages produits.

II- Résultats des analyses microbiologiques :

II-1- Matières premières :

II-1-1- Poudre de lait :

Tableau n° 14: les résultats microbiologiques de la poudre de lait :

Germes recherchés	Poudre de lait	Normes internes	Note
Germes totaux	Abs	Absence	Conforme
Coliformes totaux	Abs	Absence	Conforme
Coliformes fécaux	Abs	Absence	Conforme
Clostridium sulfito-réducteur	Abs	Absence	Conforme
S.aureus	Abs	Absence	Conforme
Levures et Moisissures	Abs	Absence	Conforme

Les résultats des analyses microbiologiques montrent l'absence totale des germes indicateurs de contamination fécale ainsi que l'absence des germes pathogènes comme :

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

clostridium sulfito-réducteur et Staphylococcus aureus qui selon “**Leyral et Vierling (2007)**”, leur ingestion provoquent des toxi-infections alimentaires. Par ailleurs l’absence des levures et moisissures bien que tolérées par les normes nous amène à dire que les conditions de stockage sont bonnes.

Ainsi la poudre de lait 26% utilisée est de bonne qualité microbiologique car la faible activité de l’eau caractérisant la poudre de lait réduit ou inhibe le développement microbien. **Fine et Gervais, (2007)**.

II-1-2- Cheddar :

Le tableau suivant englobe les résultats microbiologiques du cheddar :

Tableau n° 15 : les résultats microbiologiques du cheddar :

Germes recherchés	Cheddar	Normes internes	Note
Germes totaux	Abs	Abs	Conforme
Coliformes totaux	Abs	Abs	Conforme
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Conforme
Clostridium sulfito-réducteur	Abs	Abs	Conforme
S.aureus	Abs	Abs	Conforme
Levures et Moisissures	Abs	Abs	Conforme

Les résultats microbiologiques sur le cheddar montrent l’absence totale des coliformes, germes contaminants qui influent sur la qualité hygiénique et sur la santé des consommateurs.

De point de vue fromagère, montre que la mauvaise qualité bactériologique a une incidence directe et néfaste sur le rendement fromagère et se traduit par des modifications variées d’odeur, de saveur et d’aspect. **Le Jaouen(1977)**.

On conclue alors que la matière première ‘cheddar’ utilisé dans la fabrication du fromage fondu est de bonne qualité microbiologique.

II-1-3- Beurre :

Le tableau englobe les résultats microbiologiques effectués sur le beurre :

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

Tableau n° 16 : les résultats microbiologiques du beurre :

Germes recherchés	Beurre	Normes internes	Note
Germes totaux	Abs	Abs	Conforme
Coliformes	Abs	Abs	Conforme
Clostridium sulfito-réducteur	Abs	Abs	Conforme
S.aureus	Abs	Abs	Conforme
Levures et Moisissures	Abs	Abs	Conforme

L'analyse des résultats montre une absence des germes pathogènes Clostridium sulfito-réducteur et S.aureus, une absence des germes totaux, une absence des coliformes, et une absence des levures et moisissures.

Tous les résultats obtenus sont conformes aux normes, donc le beurre utilisé présente une bonne qualité microbienne.

II-1-4- Eau de process :

Le tableau suivant illustre les résultats microbiologiques de l'eau de process:

Tableau n° 17: les résultats microbiologiques de l'eau de process :

Germes recherchés	Eau de procès	Normes internes	Note
Germes totaux	Abs	Abs	Conforme
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Conforme
Clostridium sulfito-réducteur	Abs	Abs	Conforme
S.aureus	Abs	Abs	Conforme
Levures et Moisissures	Abs	Abs	Conforme

Les résultats montrent que l'eau de process est conforme aux normes internes et de bonne qualité microbienne démontrée par l'absence des germes pathogènes et les germes

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

totaux qui selon “**Bourgeois et al. (1996)** ” renseignent sur la qualité globale du produit. les coliformes totaux et fécaux selon **Joffin (1999)**, sont des indices de contaminations fécale, ainsi l’absence des clostridium sulfito-réducteur dont leurs recherche permet d’apprécier l’efficacité des traitements, de plus leur présence est indésirable en raison des problèmes sanitaires et organoleptiques (**Bourgeois et leveau, 1991**).

II-2- Produit fini :

Le tableau suivant regroupe les résultats des analyses microbiologiques sur les produits finis

Tableau n °18 : les résultats microbiologiques des produits fini:

Germes recherchés	E1	E2	E3	Témoin	Normes internes	Note
Germes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence	Conforme
Coliformes totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence	Conforme
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence	Conforme
Clostridium sulfito-réducteur	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence	Conforme
S.aureus	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence	Conforme
Levures et moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence	Conforme

Il en ressort ainsi, une absence totale des germes recherchés et fixés par l’entreprise.

Cette conformité est due à la bonne qualité des matières premières, la bonne conservation et les bonnes conditions de préparation.

On confirme d’après ces résultats que le fromage fondu fabriqué par l’entreprise et les essais effectués sont de bonne qualité microbienne.

Ainsi pour les trois essais on déduit que les modifications effectuées au cours de ce projet à savoir la réduction du pourcentage de NaCl et sa substitution par du KCl, n’ont aucun effet sur le développement microbien indésirable.

III- Suivi de la stabilité des produits finis :

Le suivi du pH des produits finis stockés à 4°C pendant une semaine nous a permis de vérifier si la substitution du NaCl par le KCl à différentes doses dans la formulation du

fromage fondu va mettre en cause la stabilité du produit, sachant que le pH est le paramètre influençant le réseau protéique.

Le tableau et la figure n°12 suivants englobent les résultats du pH effectué après une semaine d'entreposage à 4°C.

Tableau n ° 19: Suivi du pH des produits finis au cours du stockage

pH (5.2-6.2)	Jour 1	Après une semaine
E1	5.76±0.01	5.68±0.02
E2	5.78±0	5.69±0.02
E3	5.70±0.01	5.66±0.01
E4	5.78±0	5.68±0.01

De ce tableau il en ressort que lors du stockage des produits finis à une température de 4°C des valeurs du pH pendant une semaine, une diminution des valeurs du pH de 8 ; 9 ; 4 ; et 10%, respectivement pour l'essai 1, 2, 3, et 4.

Figure n°12 : Suivi du pH des produits finis au cours du stockage à 4°C.

IV- Résultats de l'analyse sensorielle

Le test de dégustation des essais de substitution du sel (NaCl) dans le fromage fondu a été effectué sur 3 catégories de dégustateur à savoir :

Enfants, adultes et personnes âgées ; les proportions de chacune des catégories sont représentées sur la figure n° 13.

Figure n° 13: Les différentes catégories des dégustateurs.

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

L'analyse Organoleptique nous a permis entre autre de classer les 3 échantillons sur la base des fiches de dégustation (voir annexe) renseignées par ces personnes volontaires.

- Pour le critère couleur, le 100% de la population de dégustateurs a jugé la couleur des essais : 1, 2, et 3 comme étant Blanc Crème, sachant qu'elle est la même couleur de témoin, ainsi la substitution du NaCl par du KCl n'a pas eu d'impact sur la couleur.
- Pour le critère texture, les résultats présentés montrent que le nombre total de dégustateurs juge l'élasticité des 3 essais comme étant tartinable qui est comparable à la tartinabilité du témoin.
- Pour le critère odeur, 100% de dégustateurs juge l'odeur des 3 essais comme étant fromagère comparable à celle du témoin.

Cependant la réduction et la substitution des sels n'ont pas eu une influence ni sur la texture ni sur l'odeur du fromage fondu.

- Pour le critère gout : pour l'essai 1, 90% de la population de dégustateurs l'a jugé salé (+), cependant 10% l'ont considéré comme étant fade déviant vers le sucré par rapport au témoin (salé tend vers le sucré) et cela peut être due à la substitution partielle du NaCl par du KCl dont le rapport est respectivement de 35 :65%, qui a permis de diminuer la forte sensation de la salinité.

Cependant, pour l'essai 2, il en ressort que la quasi-totalité (97%) juge l'échantillon salé (+), dont 6.66% l'ont trouvé par rapport au témoin salé (+) avec un arrière gout acide.

Ainsi pour l'essai 3, il en ressort que 69.99% de la population de dégustateurs, a jugé le produit fade dont une tranche de 6.66% d'entre eux l'a trouvé fade avec un arrière gout sucré, l'autre tranche qui est de 23.33% l'a trouvé fade déviant vers l'acide par rapport au témoin et cela peut être la conséquence de substitution totale de NaCl par le KCl.

Le 3% de dégustateur a trouvé la 3eme préparation salée présentant un arrière gout un peu acide par rapport au témoin, et cela est due à la présence du NaCl dans les différentes matières premières entrants dans la fabrication.

- Pour le critère d'appréciation :

La totalité de la population de dégustateur a jugé l'essai 1 Bon, qui est de même pour le témoin, ainsi 63.33% et 53.33% représentent respectivement les critères d'appréciation de l'essai 2 et 3.

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

Cependant 30% des dégustateurs ont jugé l'essai 2 moyen et 43.33% des dégustateurs ont jugé l'essai 3 moyen aussi ; et cela peut être due à l'habitude de consommer un produit comprend les caractères régulières d'un fromage fondu.

Néanmoins 6.66% des dégustateurs ont jugé l'essai 2 comme étant pas bon. Ce jugement peut s'expliquer par la variation des goûts des consommateurs (ce qui est considéré bon l'est pas forcément pour tout le monde).



Figure n°14 : Essai 1



Figure n° 15: Essai 2



Figure n° 16: Essai 3

- **Classement des trois échantillons par ordre de préférence :**

Partie II : Etude Expérimental Chapitre II : Résultats et Discussion

La figure suivante montre l'ordre de classement des essais effectués par les dégustateurs, du plus préféré au moins apprécié :

- 1^{ère} Classe : 60%.
- 2^{ème} Classe : 26.66%.
- 3^{ème} Classe : 13.33%.

Figure n°17 : Classement des échantillons.

Conclusion

Une substitution partielle ou totale du chlorure de sodium par le chlorure de potassium dans une fabrication du fromage fondu à différents pourcentages (E1 : 35% NaCl, 65% KCl ; E2 : 50% NaCl, 50% NaCl ; et E3 : 0% NaCl, 100% KCl) a permis d'obtenir un fromage fondu hyposodique à des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques comparables à celles du fromage fondu régulier.

Les résultats des paramètres physico-chimiques ne sont pas affectés de façon significative, comme :

- ✓ L'Extrait sec total est de 40.49, 39.86, et 39.08% respectivement pour l'essai 1, 2, et 3.
- ✓ La Matière Grasse : 16.5, 16, et 16 % respectivement pour l'essai 1, 2, et 3.
- ✓ L'Humidité : 59.51, 60.14, et 59.05% respectivement pour l'essai 1, 2, et 3.
- ✓ Le pH : 5.76, 5.78, et 5.70 respectivement pour l'essai 1, 2, et 3.
- ✓ Les Protéines : 10.39, 10.42, et 10.38% respectivement pour l'essai 1, 2, et 3.

Qui sont comparables par rapport au témoin (40%, 16%, 60%, 5.78, et 10% respectivement pour l'EST, MG, H°, et protéines).

Cependant, une diminution a été observée lors du dosage des ions de Na⁺ par rapport au témoin, alors que pour les ions de K⁺ sont augmentés, et cela du aux différentes substitutions.

Ainsi, il est possible d'obtenir un fromage fondu réduit en sodium ayant des caractéristiques comparables à un fromage fondu régulier, qui serait accepté par la majorité de dégustateurs si le remplacement du NaCl par du KCl est de 65% ou 100%.

Comme perspectives à notre travail nous pouvons citer les points suivants:

- Il serait intéressant de répéter l'expérience avec ce même fromage, aussi avec d'autres fromages.
- Utiliser d'autres substituts comme le MgCl₂ et le CaCl₂.
- Tester le produit sur des gens hypertendus et non hypertendus d'une durée plus de 6 mois afin de confirmer l'effet positif de ce produit hyposodique.
- Des négociations avec les artisans et industriels de l'alimentation en vue de réduire la teneur en sel des aliments préparés.
- La mise en œuvre de mesures permettant la réduction du sodium et de le remplacer avec des substituts.
- La mise en place d'outils épidémiologiques pour juger des résultats de cette politique sur la consommation de sel et la prévalence de l'hypertension artérielle (sensibilisation).

Conclusion

Et enfin on a réussi dans ces essais à produire un fromage fondu hyposodique qui a les mêmes propriétés qu'un fromage fondu régulier et acceptable par les consommateurs.

Tableau n°20 : Taux d'incorporation des acides et des sels de fonte (**BOUTONNIER, 2002**).

Code Européen	Type d'acide ou sel de fonte	Taux d'incorporation réglementaire.
E330 E331	Acide citrique Citrates de sodium	Quantité suffisante (1)
E338	Acide orthophosphorique	20mg/kg au total
E339	Orthophosphates de sodium	20mg/kg au total
E340	Orthophosphates de potassium	20mg/kg au total
E341	Orthophosphates de calcium	20mg/kg au total
E450	Diphosphates de sodium, potassium, et calcium.	20mg/kg au total
E451	Triphosphates de sodium, et potassium.	20mg/kg au total
E452	Polyphosphates de sodium, Potassium et calcium.	20mg/kg au total

(1) Aucune toxicité n'a été démontrée ; aucune DJA (dose journalière admissible) n'a donc été fixée.

Tableau n°21 : teneur en sodium dans différents aliments :

Teneur en sodium (mg/100g)	Lait produits laitiers	Céréales et dérivés	Fruits, légumes et autres végétaux	Poissons, mollusques et crustacés	Autres
38850					Sel fin
35000					Sel de mer
15000					Cube pour bouillon
5000 – 6000				Anchois à l'huile	Sauce de soja
3000 – 4000			Olive noire en saumure		
2000 – 3000				Oeufs de lompe en semi-conserve	Moutarde
1500 – 2000	Roquefort		Olive verte en saumure	Caviar en semi-conserve Crevette cuite	
1200 – 1500	Feta Sainte-Maure Bleu d'Auvergne Fourme d'Ambert			Saumon fumé	Amuse-gueule Vinaigrette Riz cantonnais
1100 – 1200	Carré de l'Est				Ketchup Biscuits apéritif
1000 – 1100	Edam Maroilles Fromage fondu	Biscuit sec		Pâté à base de poisson ou de crustacés Bigorneau cuit	Sauce vinaigrette allégée
900 – 1000	Morbier Cantal Munster Parmesan	Céréales de petit déjeuner			
800 – 900	Beurre demi-sel Reblochon Tomme Fromage des Pyrénées Camembert Chaource	Pop-corn salé		Hareng saur Haddock fumé	Pomme de terre dauphine Hot-dog à la moutarde Biscuit apéritif au fromage Friand à la viande

Anonyme, 2004

Tableau n° 22 : Analyses microbiologiques effectués sur le fromage et milieux de culture

Microorganisme	Milieu de culture
Germes totaux	PCA (30°C pendant 72 h)
Coliformes totaux	BLBVB (37°C pendant 24 à 48 h)
Coliformes fécaux	BLBVB (44°C pendant 24 h)
Streptocoques fécaux	Milieu de présomption : Roth (37°C pendant 24 h) Milieu de confirmation : Litsky (37°C pendant 24 h)
Staphylococcus aureus	Baird-Parker (37°C pendant 24 à 48 h)

Tableau n°23: fiche de dégustation :

Caractéristiques		E1	E2	E3	E4
Couleur	Blanc				
	Blanc crème				
	Jaune pale				
	Jaune				
Texture	Tartinable				
	Liquide				
	Tranchable				
	Sableux				
Gout	Fade				
	Acide				
	Salé (+) (++)				
	Equilibré				
Odeur	Fromagère				
	Non				

	fromagère				
Jugé :	Pas bon				
	Moyen				
	Bon				

Salé(+) : considéré comme salé normal, salé (++) : considéré trop salé.

Couleur :

Blanc (1), Blanc crème (2), Jaune pale (3), Jaune (4).

Texture :

Tartinable (1), liquide (2), Tranchable (3), Sableux (4).

Odeur :

Fromagère (1), Non fromagère (2).

Gout :

Fade (1), Salé (+) (2), Salé (++) (3), Acide (4), Equilibré (5).

Tableau n° 24: Analyse de variance du pH:

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0.01	7	0.00				
VAR.FACT	0.01	3	0.00	28.67	0.045		
VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00			0.01	0.2%

Tableau n° 25: Analyse de variance des Protéines:

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0.24	7	0.03				
VAR.FACT	0.24	3	0.08	113.21	0.063		
VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00			0.03	0.3%

Tableau n° 26: Analyse de variance de l'EST :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	2.05	7	0.29				
VAR.FACT	2.05	3	0.68	546.61	0.08		
VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00			0.04	0.1%

Tableau n° 27: Analyse de variance de MG:

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	10.56	7	1.51				
VAR.FACT	5.38	3	1.79	1.38	0.3692		
VAR.RESIDUELLE	5.18	4	1.30			1.14	7.2%

Tableau n° 28: Analyse de variance de l'Humidité :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	2.02	7	0.29				
VAR.FACT	2.0	3	0.67	611.75	0.081		
VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00			0.03	0.1%

Tableau n° 29: Analyse de variance de G/S:

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	1.28	7	0.18				
VAR.FACT	1.28	3	0.43	340.37	0.0752		
VAR.RESIDUELLE	0.01	4	0.00			0.04	0.1%

Tableau n° 30: Analyse de variance des ions Na⁺:

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0.02	7	0.00				
VAR.FACT	0.01	3	0.00	24.25	0.0069		
VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00			0.01	10.3%

Tableau n°31 : les Groupes homogènes des ions Na⁺ :

F	LIBELLES	MOYENNES	GROUPE HOMOGENES
3	E3	0.44	A
1	E1	0.36	B
2	E2	0.32	B
4	ET	0.21	C

Tableau n° 32: Analyse de variance des ions K⁺ :

ANALYSE DE VARIANCE	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST.F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0.06	7	0.0.01				
VAR.FACT	0.05	3	0.02	91.58	0.0012		
VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00			0.01	4.3%

Tableau n°33 : les Groupes homogènes des ions K⁺ :

F	LIBELLES	MOYENNES	GROUPE HOMOGENES
3	E3	0.44	A
1	E1	0.36	B
2	E2	0.32	C
4	ET	0.21	D

Réactifs :

- Réactifs des analyses microbiologiques

-Réactif de KOVACS

-Solution de sulfure de sodium

-Solution d'alun de fer

-Solution de tellurite de potassium

- Réactifs des analyses physico-chimiques

-Acide sulfurique (H_2SO_4)

-Alcool iso-amylique

-Phénol phtaléine

-Eau distillée

-Hydroxyde de sodium NaOH

-Méthyle orange

-Solution tampon ammoniacal (K10) pH=10

-Solution nitrate d'argent ($AgNO_3$)

Composition des milieux de culture

TSE :

-Molécules organiques azotées 1g

-NaCl 8.5g

-Eau distillée 1000ml

Gélose viande-foie (VF) :

-Base viande foie 10g

-Glucose.0.75g

-Sodium sulfure 1.20g

-Fer citrate ammoniacal 0.5g

-Agar-agar 11 g

-Eau distillée 1000ml

-Autoclave :5min à 120°C

Au moment de l'emploi :

Ajouter 20 ml du milieu de base fondu sans bulles :

- 0.5ml d'une solution de sulfite de sodium à 5%
- 4 gouttes d'alun de fer ammoniacal à 5%

Désoxycholate de sodium :

- Peptone 10g
- Lactose 10g
- Désoxycholate de sodium 1g
- Citrate de sodium 2g
- Agar 12 à 18g
- Rouge neutre 0.03g
- Eau distillée 1000ml

Préparation : dissoudre 42.5g de milieu dans l'eau distillée puis porter à l'ébullition et ne pas mettre à l'autoclave.

Giotti Cantoni (GC) :

- Peptone de caséine 10g
- Extrait de viande 5g
- Extrait de levure 5g
- Chlorure de sodium 5g
- Mannitol 20g
- Chlorure de lithium 5g
- Glucine 1.2g
- Pyruvate de sodium 3g
- Eau distillée 1000ml
- pH=6.7 ±0.1
- Autoclave 20 min à 121°C

Gélose CHAPMAN :

- Peptone 10g
- Extrait de viande 1g
- Chlorure de sodium 75g

- Rouge phénol 25g
- Mannitol 10g
- Gélose 15g
- Eau distillée 1000ml
- pH=7.4

Milieu Lactose au bromocresol poupre(BCPL) :

- Peptone 5g
- Extrait de viande 3g
- Lactose 10g
- Bactro-agar-difco 15g
- Bromocresol poupre 0.5
- Eau distillée sur verre 1000ml
- pH=7
- Autoclave à 115°C/20min.

Réactifs d'ERLICH-KOVACS :

- Paraméthylamine-benzoaldéhyde 3à 5 g
- Alcool iso amylique 75g

Milieu Rothe :

- Peptone 20g
- Glucose 5g
- Chlorure de sodium 5g
- Phosphate dipotassique 2.7g
- Acide de sodium 0.7g
- Eau distillée 1000ml
- pH=7
- Autoclave à 115°C/20min

Milieu Eva litsky :

- Peptone 20g
- Glucose 5g
- Chlorure de sodium 5g
- Phosphate di-potassique 2.7g
- Acide de sodium 0.3g
- Eau distillée 1000ml
- pH=7
- Autoclave à 120°/20min

Gélose lactosée billée et au rouge neutre (VRBL) :

- Peptone 7g
- Extrait de levure 3g
- Lactose 10g
- Nacl 5g
- Sel biliaires 1.5g
- Rouge neutre 0.03g
- Cristal violet 0.002g
- Agar 12 à 18g
- Eau distillée 1000ml

Plate Count Agar (PCA) :

- Tryptone 5g
- Extrait 5g
- Extrait de levures 2.5g
- Glucose 4g
- Agar 9g
- Eau distillée 1000ml

Gélose Sabouraud :

- Peptone de viande 3g
- Peptone de caséine 3g
- Peptone de soja 3g
- Extrait de levure 2g
- Extrait de malt 1g
- Glucose 19g
- Phosphate mono-potassique 0.5g
- Phosphate di-sodique 0.5g
- Agar agar 13g
- Eau distillée 1000ml
- pH=6.4

Tableau n ° 35 : Table de mac-graday (eau) :

Nombre des tubes donnant une réaction positive sur			NPP dans 100ml
1 flacon de 50ml	5 tubes de 10 ml	5 tubes de 1ml	
0	0	1	1
0	0	2	2
0	1	0	1
0	1	1	2
0	1	2	3
0	2	0	2
0	2	1	3
0	2	2	4
0	3	0	3
0	3	1	5
0	4	0	5
1	0	0	1
1	0	1	3
1	0	2	4
1	0	3	6
1	1	0	3
1	1	1	5
1	1	2	7
1	1	3	9
1	2	0	5
1	2	1	7
1	2	2	10
1	2	3	12
1	3	0	8
1	3	1	11
1	3	2	14
1	3	3	18
1	3	4	21
1	4	0	13
1	4	1	17
1	4	2	22
1	4	3	28
1	4	4	35
1	4	5	43
1	5	0	24
1	5	1	35
1	5	2	54
1	5	3	92
1	5	4	161

Tableau n° 36 : Table Mac-Graday :

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organismes
000	0,0
001	0,3
010	0,3
011	0,6
020	0,6
100	0,4
101	0,7
102	1,1
110	0,7
111	1,1
120	1,1
121	1,5
130	1,6
200	0,9
201	1,4
202	2,0
210	1,5
211	2,0
212	3,0
220	2,0
221	3,0
222	3,5
223	4,0
230	3,0
231	3,5
232	4,0
300	2,5
301	4,0
302	6,5
310	4,5
311	7,5
312	11,5
313	16,5
320	9,5
321	15,0
322	20,0
323	30,0
330	25,0
331	45,0
332	110,0
333	140,0

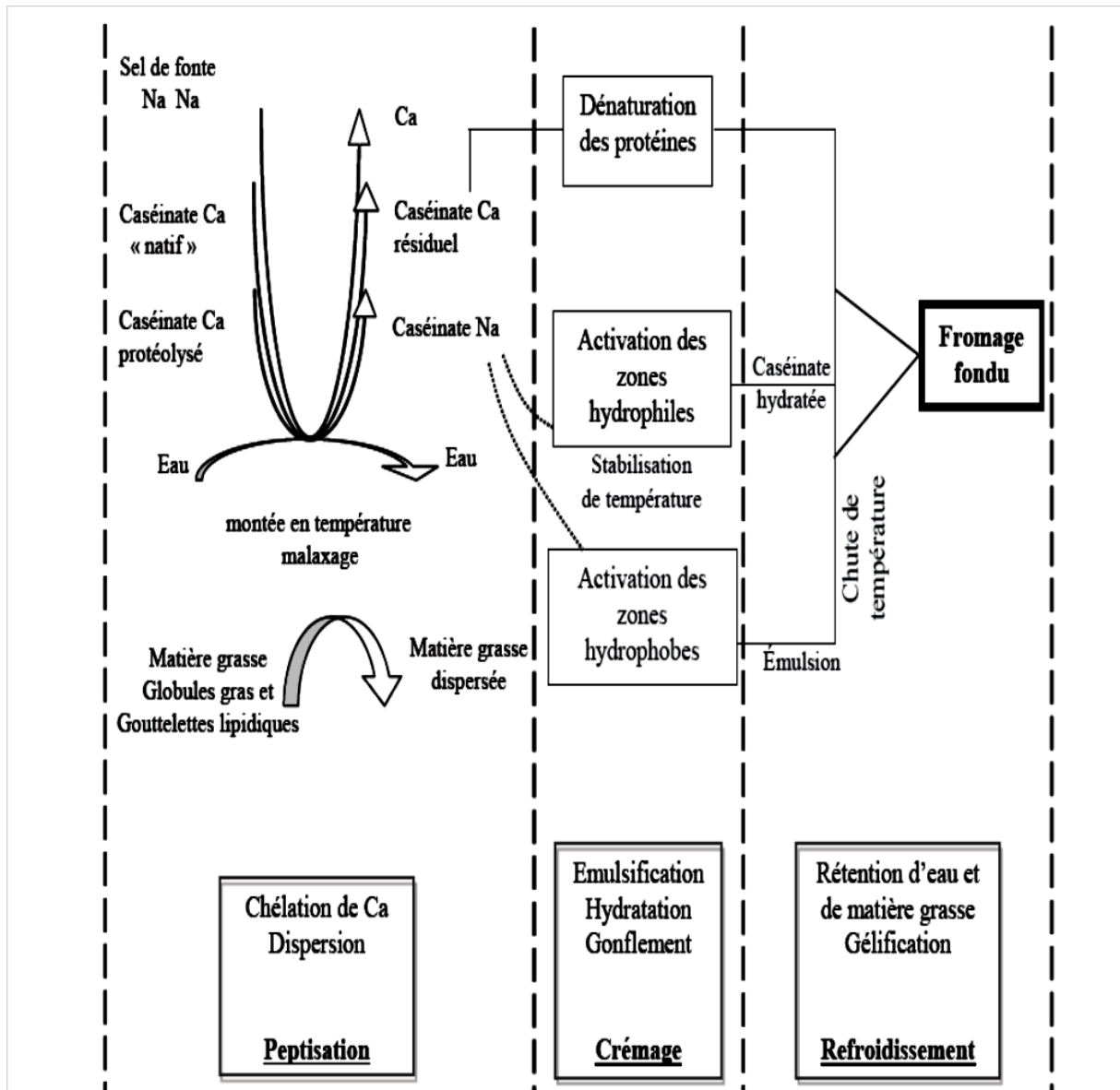


Figure n°19: Représentation schématique des phénomènes biochimiques de la fonte (Boutonnier, 2000).

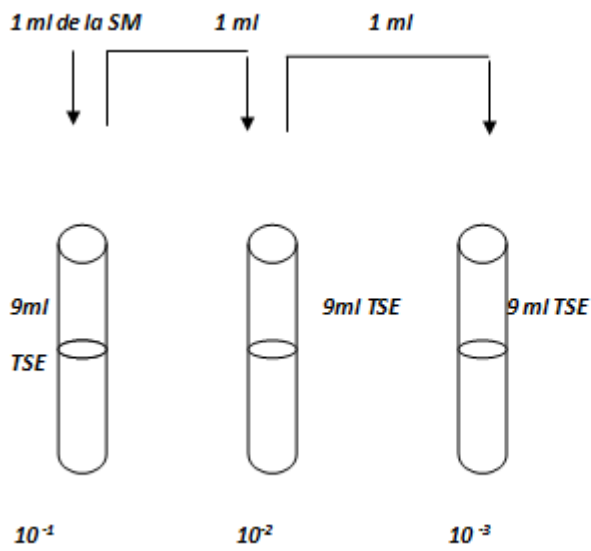


Figure n°20: Préparation des dilutions pour les produits liquides.

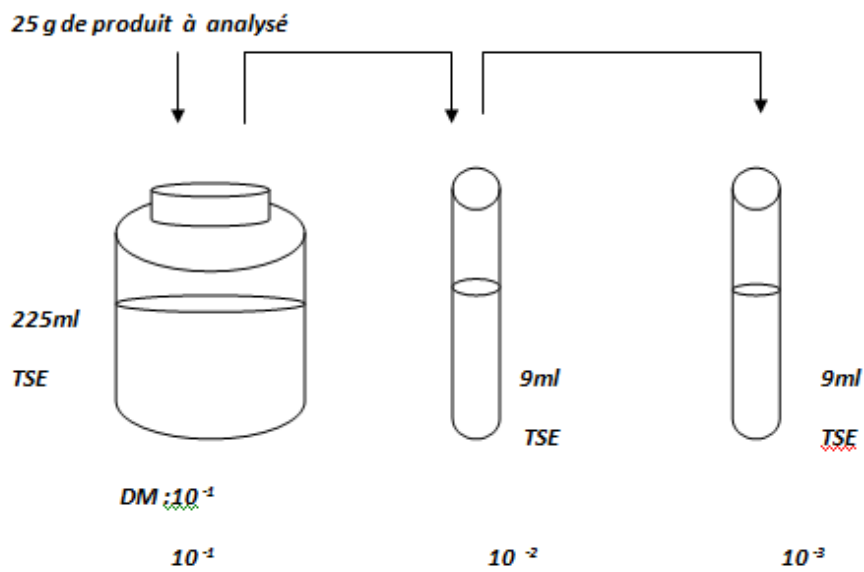


Figure n°21 : Préparation de la dilution mère et les dilutions décimales pour le produit solide

A partir des dilutions décimales

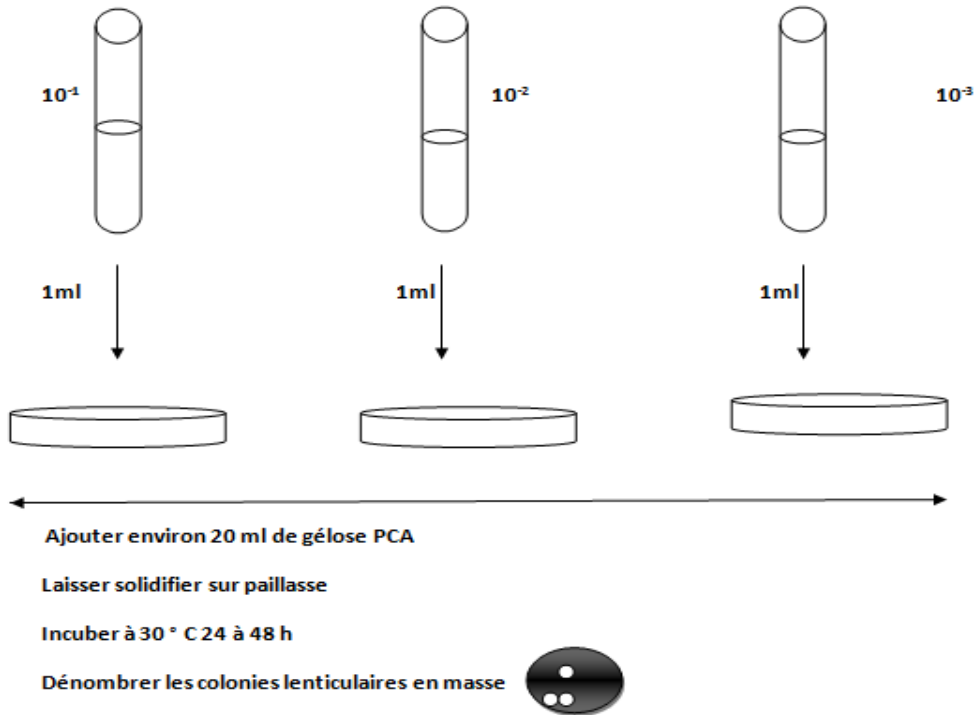
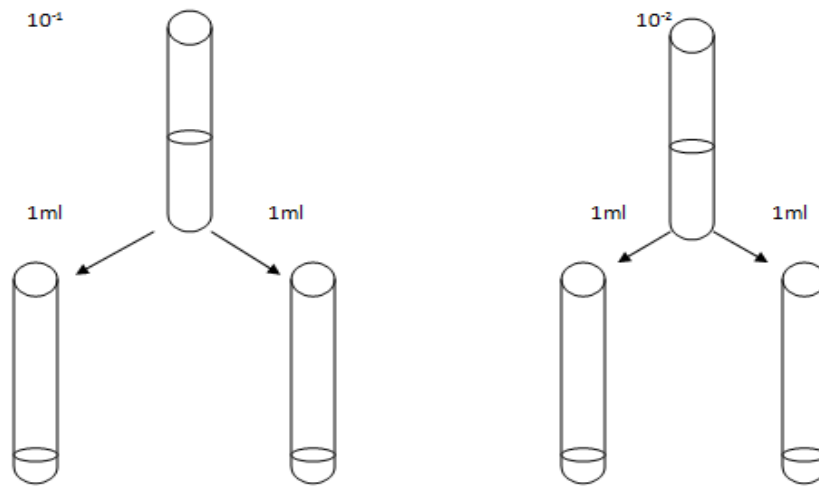


Figure n°22 : Recherche et Dénombrement des germes aérobies totaux mésophiles.

A partir des dilutions décimales



Chauffage à 80° C pendant 8 à 10 min

Refroidir brutalement sous l'eau de robinet

Ajouter 15 ml de gélose viande Foies par tube.

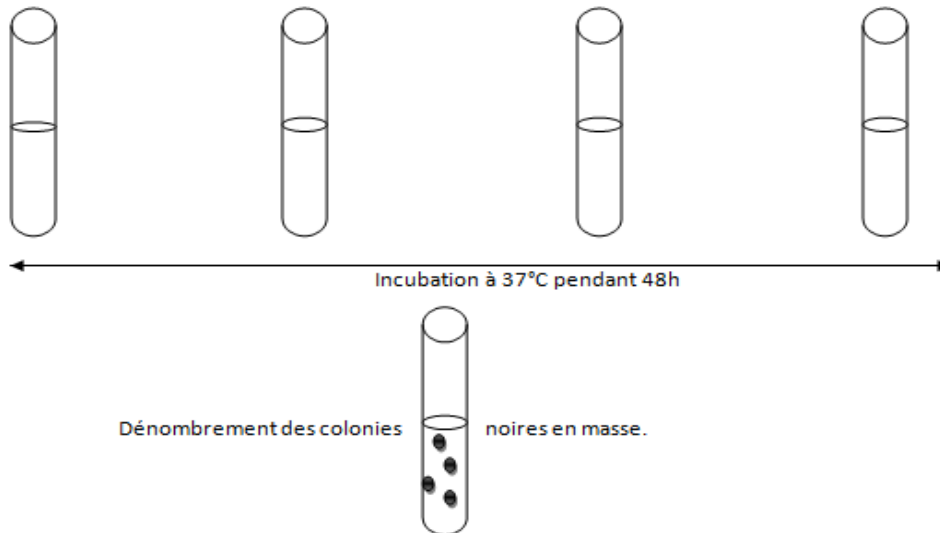
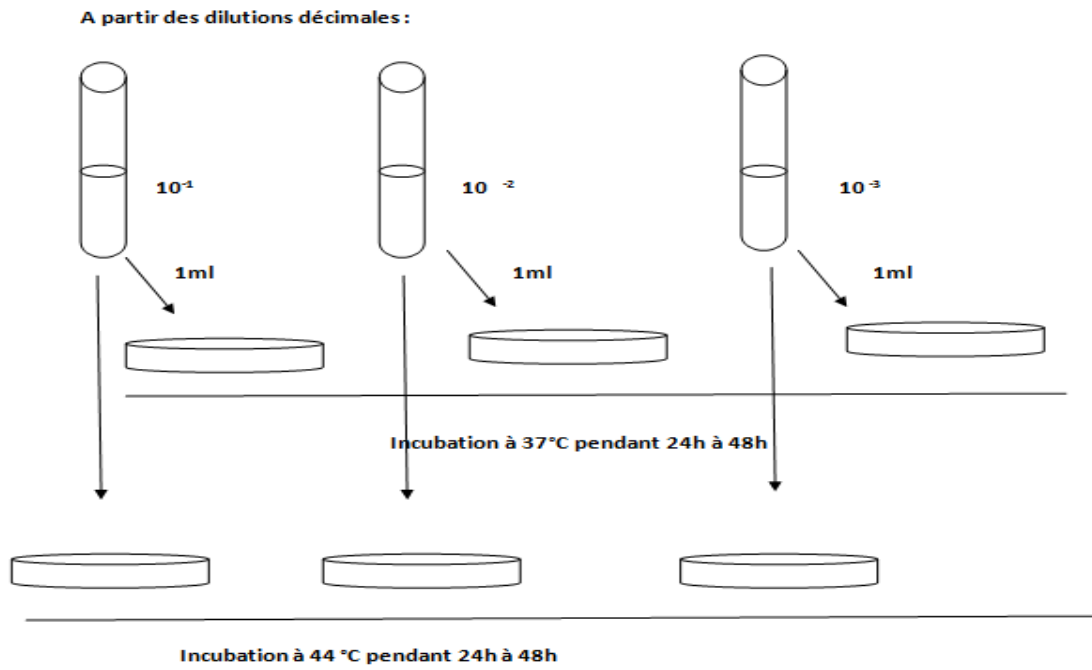


Figure n°23 : Recherche et dénombrement des sports de Clostridium sulfito-réducteur.



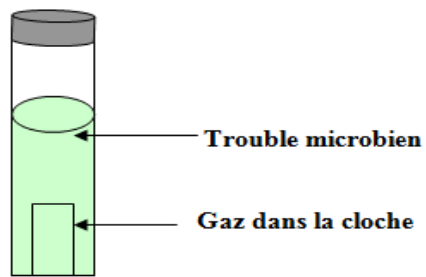
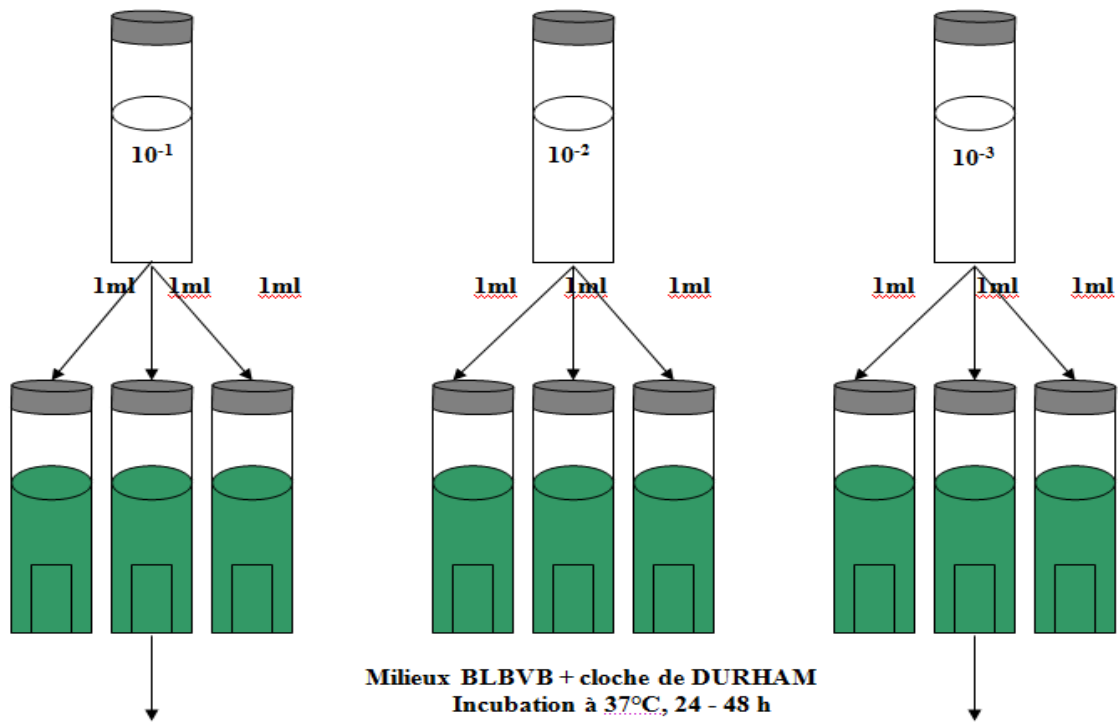
*Ajouter auparavant environ 20 ml de VRBL

* laisser solidifier sur paille.

*Dénombrer les colonies fluorescentes ayant pousse en masse



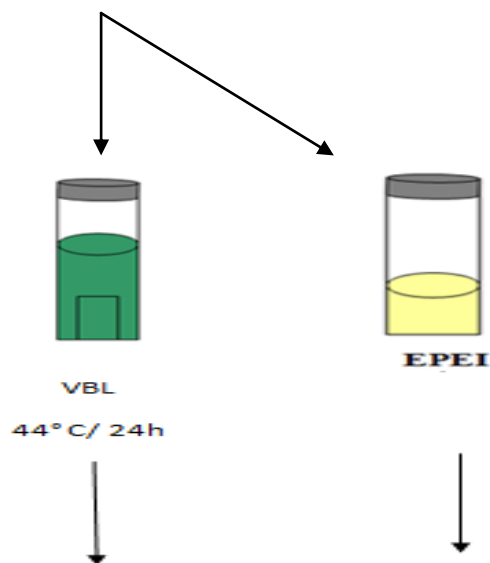
Figure n°24 : Recherche et dénombrement des coliformes en milieu solide



Réaction positive



Réaction négative



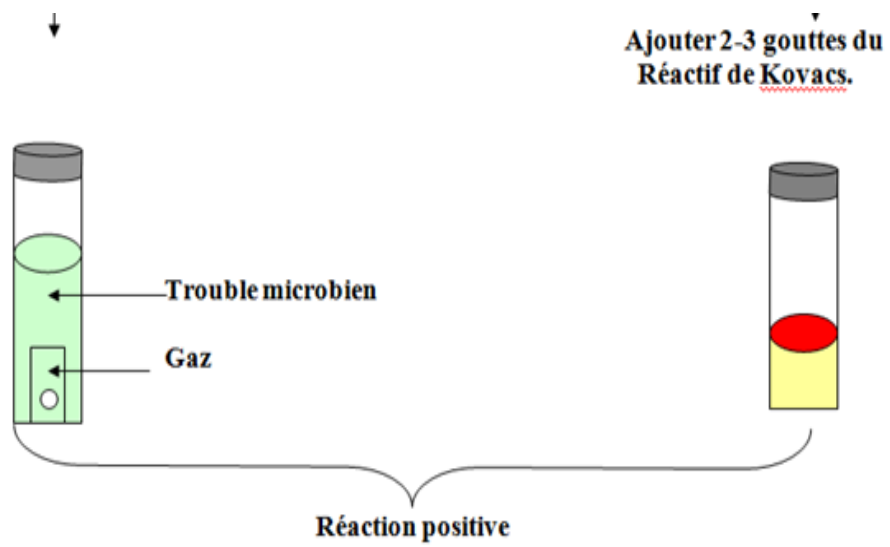


Figure n°25 : Recherche et dénombrement des coliformes dans un milieu liquide

A partir des dilutions décimales :

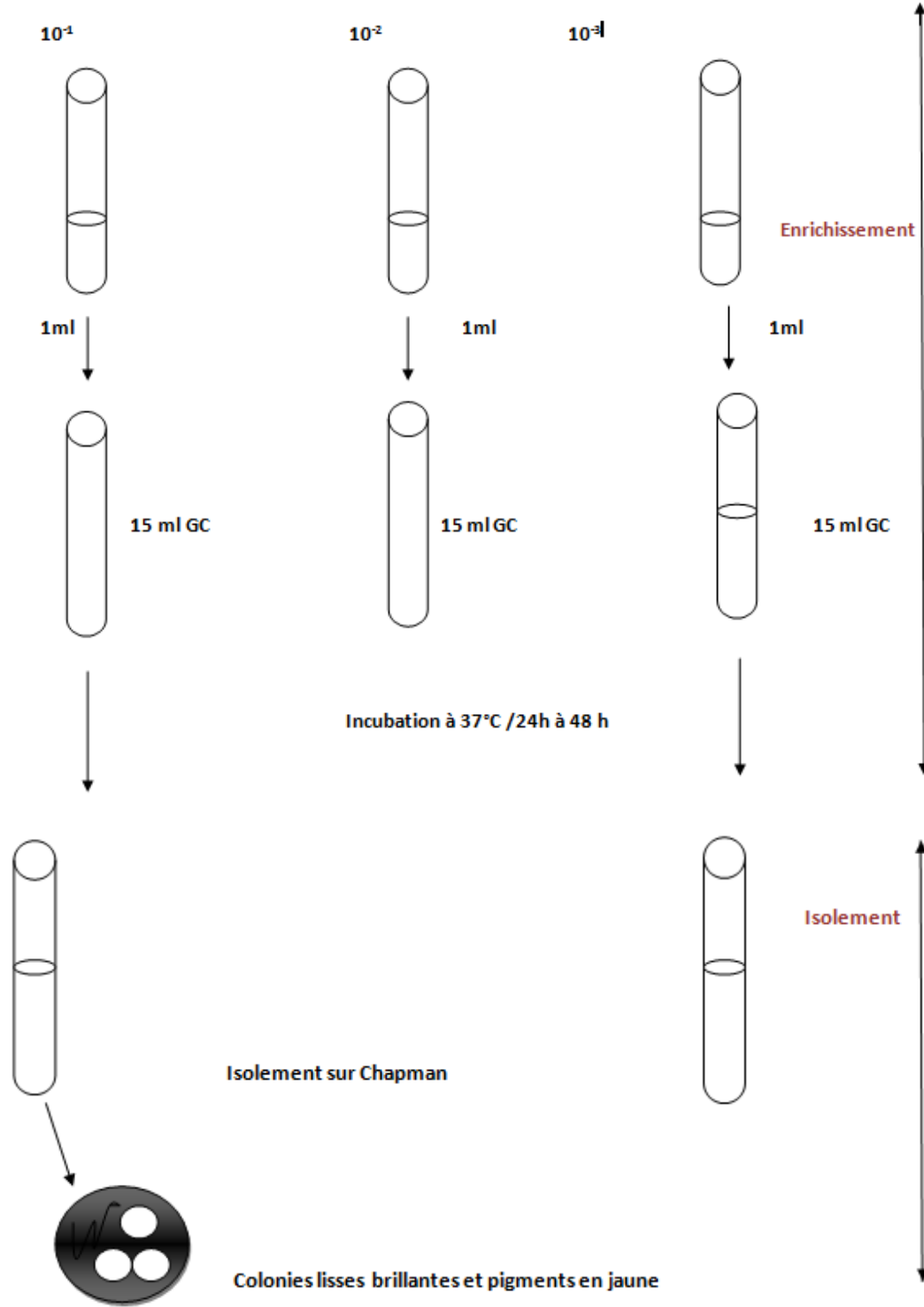
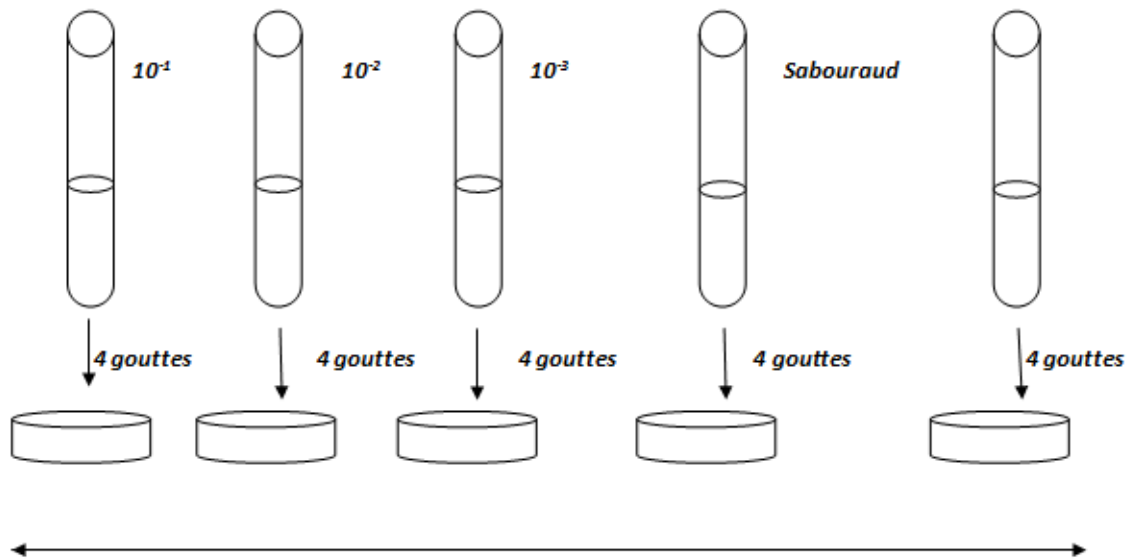


Figure n°26 : Recherche et dénombrement de staphylococcus aureus

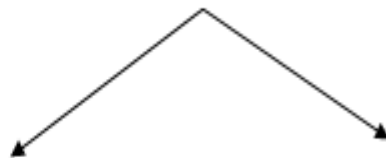
A partir des dilutions décimales



Ajouter environ 20 ml de gélose sabouraud en suspension à 45 °C



Incubation à 22 °C pendant 5 jours avec lecture tous les jours



Levures colonies pigmentées

Moisissures formes filamenteuses

Figure n°27 : Recherche et dénombrement des levures et moisissures

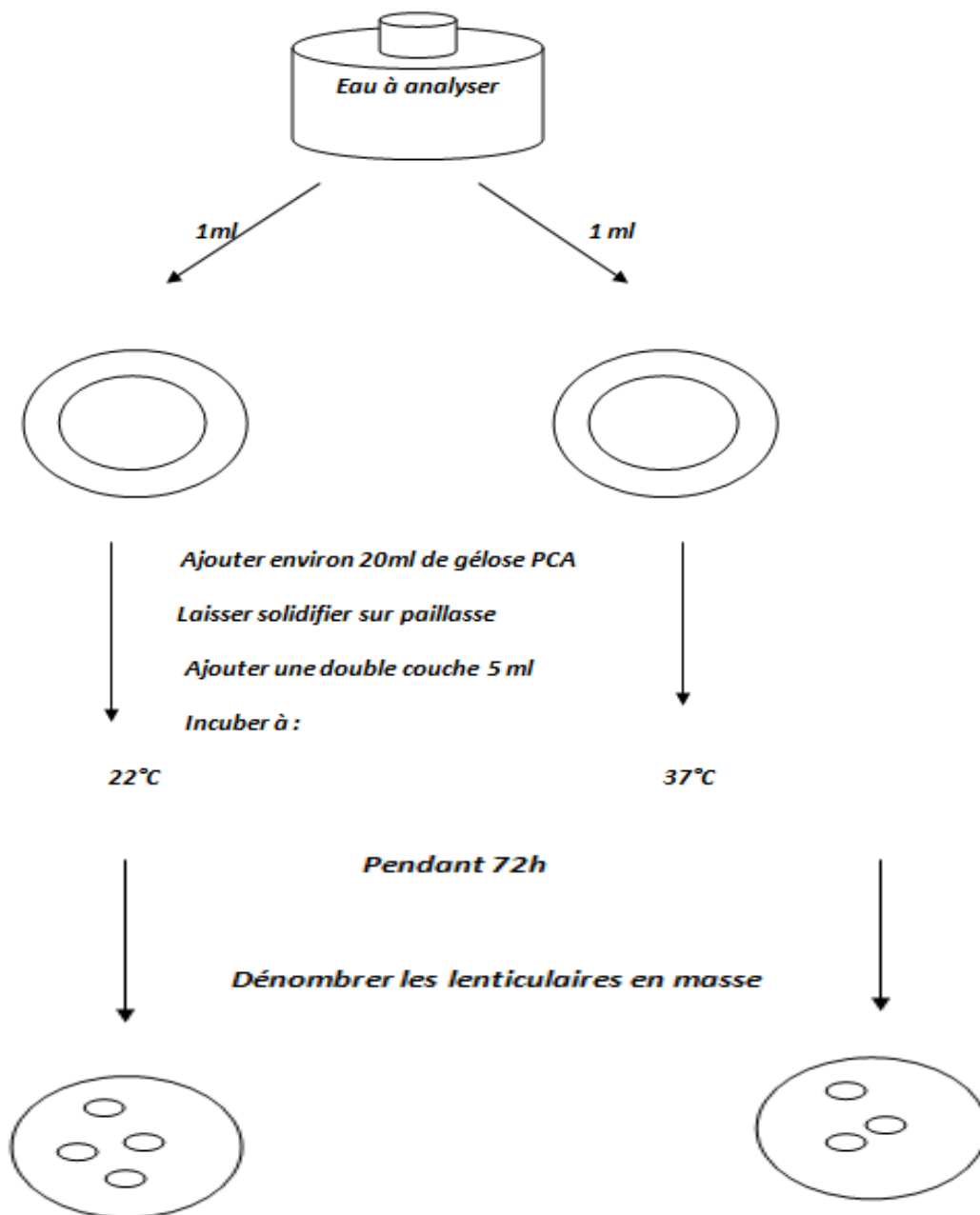
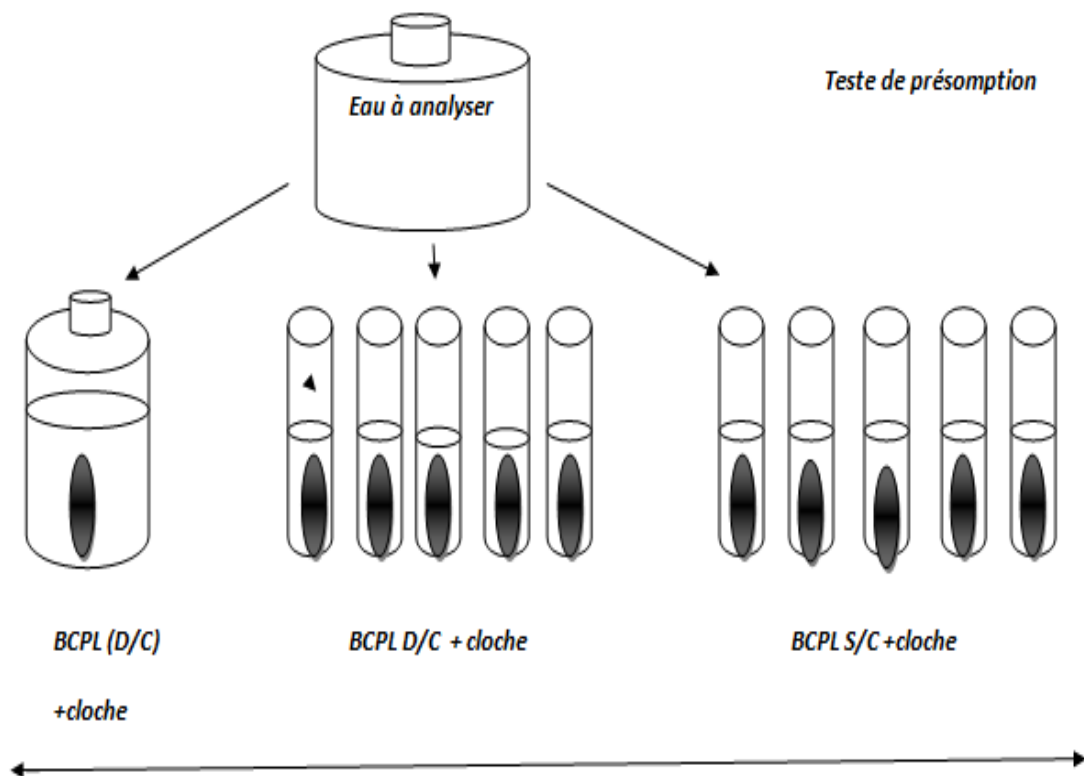


Figure n°28 : Recherche et dénombrement des germes totaux dans l'eau.



Incubation à 37°C pendant 24h à 48 h

Réaction positive

Trouble microbien

Gaz dans la cloche



Repiquage sur milieu Shubert + cloche



Incubation à 44°C/24h

++ 2 à 3 gouttes de Kovac

Réaction positive

Trouble microbien/gaz

anneau rouge



Test de confirmation

Figure n°29 : Recherche et dénombrement des coliformes dans l'eau de process.

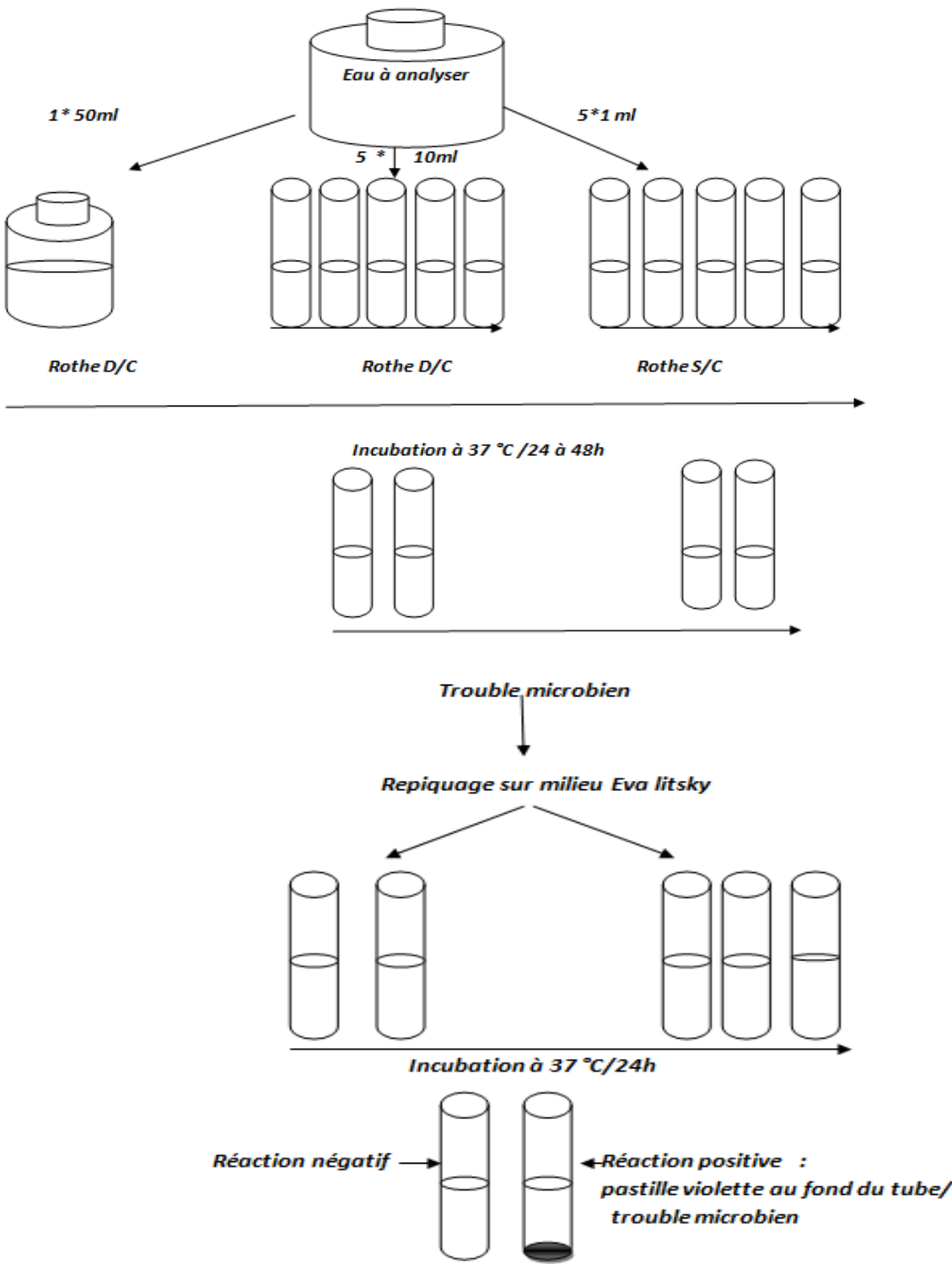


Figure n°30 : Recherche des streptocoques fécaux dans l'eau de process.

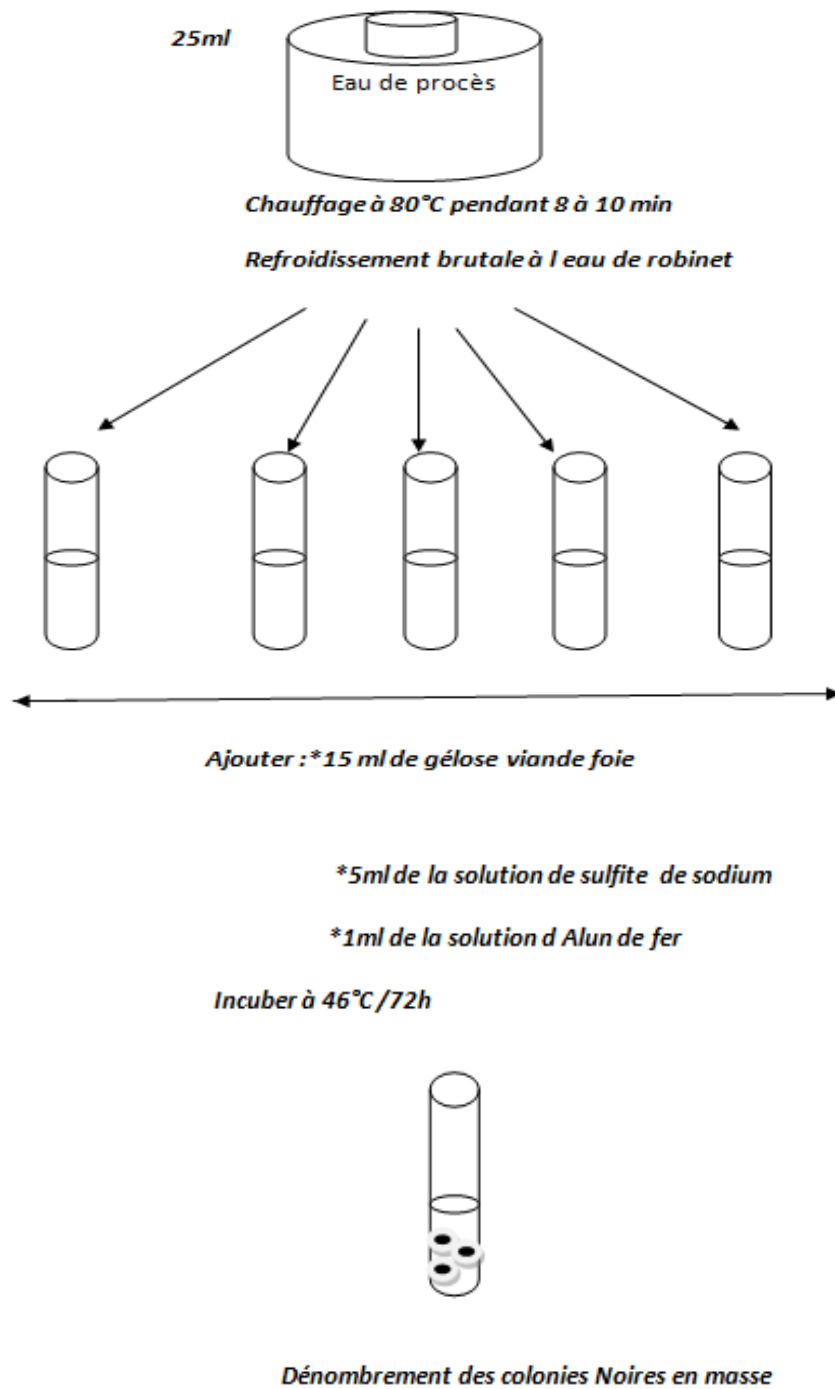


Figure n° 31 : Recherche et dénombrement des spores de clostridium sulfito-réducteur dans l'eau de process

Figure n° 32 : Appareillages et verreries.



a- Agitateur



b- Balance



c- Fiole



d- tubes stériles



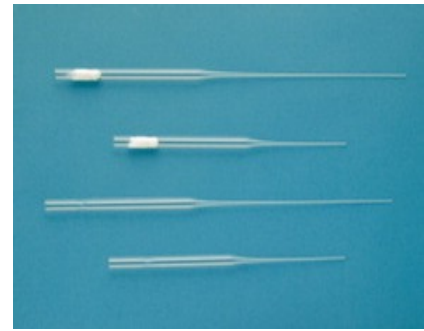
e- flacon



f- Bec Benzen



g- Boites Petri
pasteur



h- pipettes



i- Agitateur Stomacher
stomacher



j- Sacs



k- Spatules
prélevement



l- flacons de



m- Picette /TSE
culture



n- Milieux de



o- Bain marie



p- etuve



q- butyromètre



r- Butyrometres



s- Centrifugeuse



t- dessicateur

t-



u- Etuve



v- fiole jaugée



w- pHmètre



x : plaque chauffante



y- Micro onde



z- Mixeur



A- Portoir

B- réfrigérateur

Figure n°33 : Les milieux de culture.



1- BEA



2- VRBL



3- CHAPMAN, Baird-Parker



4- VF, Allun de Fer, Sulfite de Sodium



5- PCA



6- SAB



7- Héктоene

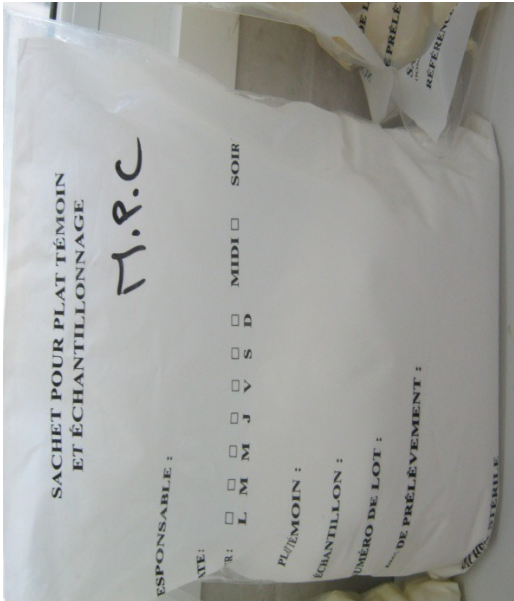


8- eau peptone tomponne

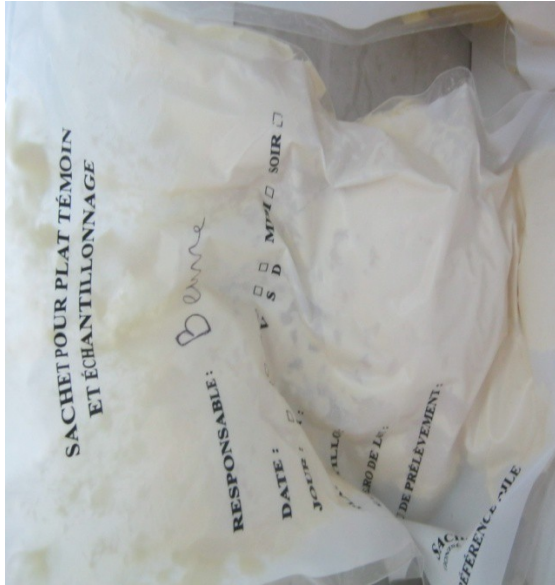
Figure n °34 : Matière premières utilisées.



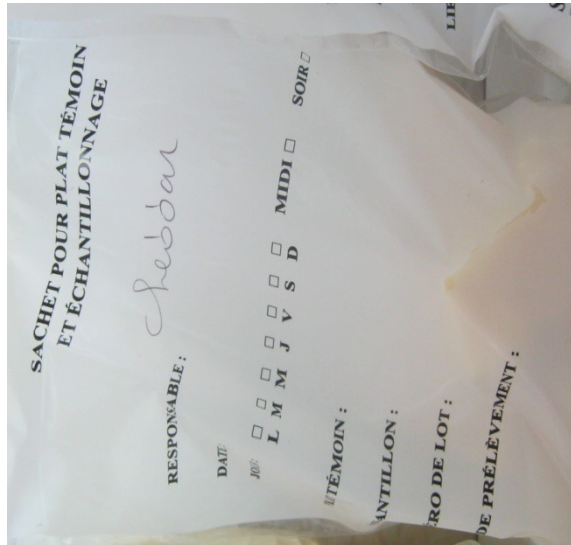
Poudre de lait 26%MG



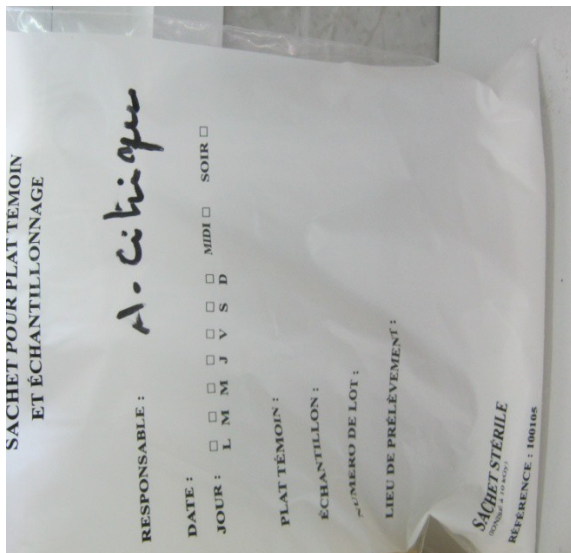
matière protéique composé



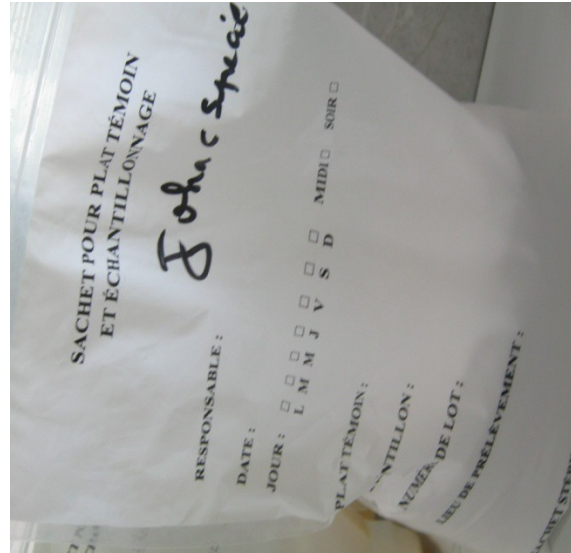
Beurre



cheddar



Acide Citrique



Sels de fonte



NaCl



KCl



Eau