

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn Badis  
Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

**MOUSSA Yassemine**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Spécialité : Production et Transformation Laitières**

Thème

**Evaluation de la coagulation des laits par des  
enzymes extraites d'origine animale et végétale.**

Soutenu publiquement le 16 septembre 2021

Devant les membres du jury

		<b>Grade</b>	
<b>Président</b>	Dr TAHLAITI Hafida	MCA	U. Mostaganem
<b>Examineur</b>	Dr RECHIDI SIDHOUM Nadra	MCA	U. Mostaganem
<b>Encadreur</b>	Dr DAHOU Abdelkader El-Amine	MCB	U. Mostaganem

*Travail réalisé au Laboratoire des Sciences et Techniques de Productions Animales*

*Année universitaire 2020-2021*

## **Remerciements**

*Avant tout je remercie «Allah» le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail.*

*Merci de m'avoir éclairé le chemin de la réussite.*

*Je tiens à remercier énormément et profondément mon encadreur*

***M Dahou. El Amine** pour avoir encadré ma thèse, je lui adresse un grand merci pour son aide précieuse, ses conseils, sa patience, et sa disponibilité tout au long de ce mémoire, avec lui j'ai appris beaucoup de chose sur ce domaine.*

*Mes remerciements les plus sincères aux membres du jury qui m'ont fait honneur de juger mon travail plus précisément pour **Mme TAHLAITI .H** Présidente du Jury et pour **Mme RECHIDI SIDHOUM .N**, examinatrice.*

*Je remercie l'ingénieur de laboratoire des sciences et techniques de production animale **M BENHARRAT.N**.*

*J'adresse mes plus vifs remerciements **mes parents, et mes proches** pour leur soutien et leur patience.*

*Je tiens aussi à remercier énormément **mes chers collègues et amis** qui ont rendu ma vie quotidienne agréable durant les mois de stage.*

*Sans oublier l'ensemble des enseignants ayant contribué à ma formation durant mes cycles d'études.*

*Finalement, je remercie tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.*

*A vous tous, un grand Merci.*

## **Dédicaces**

***Je dédie ce modeste travail :***

*Avant tout je remercie Dieu le tout puissant, le Miséricordieux, de m'avoir donnée le courage, la force, la santé et la persistance, qui nous a aidés à élaborer ce modeste travail.*

***À mes chers parents :*** *Je remercie infiniment pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien tout au long de ma vie, merci beaucoup d'être toujours à mes côtés au long de tout mon parcours universitaire.*

***À l'âme de ma grand-mère*** *qui a toujours souhaité que je réussisse dans mes études. Je prie le tout Puissant ALLAH pour la repose de son âme,*

*À ma chère sœur **Fatima** pour leurs encouragements et leur soutien,*

*À ma nièce **Ghofrane** qui forme le charme de la vie,*

*À mes chers frères **Abdou & Radouane** pour leurs appuis et ses encouragements,*

*À mes oncles, mes tantes et spécialement ma chère tante **Wahiba**,*

*À mes cousines, mes cousins et surtout mon cousin **Djamel** qui m'a aidé dans l'université.*

*À Mon amie intime **Rima** qui m'a toujours à côté de moi.*

*À mon Fiancé **Belahouel** qui m'a soutenu tout le temps,*

*À mon cher ami **Amine** qui m'a toujours encouragé,*

*À tous mes amies **Rania, Soumia, Houda, Djoher, Abir, Narimen.***

*À tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.*

*À ma promotion de master en production et transformation laitière  
2021.*

***Yassemine.***

## Résumé :

L'objectif du présent travail est de suivre le pouvoir coagulant sur le lait reconstitué de certaines enzymes extraites coagulantes soit de plantes cultivées en Algérie, particulièrement le figuier (*Ficus carica L*), l'artichaut (*Cynara scotymus*), soit celle d'origine animale extraite à partir de pro- ventricules de poulet (*Gallus gallus*). et par des essais expérimentaux apprécier la possibilité de leur utilisation comme succédanés de la présure commerciale importée. La répétition des essais de coagulation de ces enzymes extraites sur le lait reconstitué nous a permis de confirmer leur aptitude technologique pour leur adaptation à la transformation fromagère par une coagulation normalisée et l'obtention du rendement fromager escompté. Les résultats obtenus ont montré la conformité des temps de floculation respectant la norme FIL entre 8 et 15 minutes pour l'enzyme extraite de poulet, et de même pour les enzymes extraites d'origine végétale qui ont donné des résultats presque similaires. L'enzyme extraite du poulet possède une activité coagulante moyenne (UAC mL-1) égale à 0,85, l'enzyme extraite de figuier 0,42 U.A.C/ml et celle de l'artichaut 0,63 U.A.C/ml. Les caillés fromagers obtenus avec ces extraits d'enzymes présentent une activité coagulante proche à celle obtenue par la présure commerciale, le rendement fromager est aussi relativement similaire. Ces résultats préliminaires nous permettent d'envisager des essais semi-industriels par la possibilité de substitution de la présure commerciale par ces extraits enzymatiques soit de poulet, soit de figuier soit d'artichaut dans la fabrication des fromages, tout en envisageant la caractérisation des paramètres technologiques appropriés afin d'obtenir les caillés fromagers normalisés avec un meilleur rendement fromager.

**Mots clés:** Activité coagulante, Caillé fromager, enzymes extraites, Lait reconstitué, Rendement fromager.

## ملخص:

الهدف من هذا العمل هو مراقبة قوة التخثر على الحليب المعاد تكوينه لبعض الإنزيمات المستخرجة من التخثر سواء النباتات المزروعة في الجزائر ، وخاصة شجرة التين (*Ficus carica L*) ، أو الخرشوف (*Cynara scotymus*) ، أو من أصل حيواني المستخرج من pro-ventricules - بطينات الدجاج (*Gallus gallus*) ومن خلال تجارب تجريبية لتقييم إمكانية استخدامها كبديل عن المنفحة التجارية المستوردة. سمح لنا تكرار اختبارات التخثر لهذه الإنزيمات المستخرجة في الحليب المعاد تكوينه بتأكيد قدرتها التكنولوجية على التكيف مع معالجة الجبن عن طريق التخثر المعياري والحصول على محصول الجبن المتوقع. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها مطابقة أزمنة التلبد وفقاً لمعيار الفيدرالية العالمية للحليب FIL بين 8 و 15 دقيقة للإنزيم المستخرج من الدجاج وبالمثل مع الإنزيمات المستخرجة من أصل نباتي والتي أعطت نتائج مماثلة تقريباً. يحتوي الإنزيم المستخرج من الدجاج على نشاط تخثر متوسط (UAC mL-1) يساوي 0.85 ، والإنزيم المستخرج من التين UAC / ml 0.42 وأنزيم الخرشوف U.A.C / ml 0.63. تُظهر خثارة الجبن التي تم الحصول عليها باستخدام مستخلصات الإنزيم نشاطاً تخثراً قريباً من ذلك الذي تم الحصول عليه بواسطة المنفحة التجارية ، كما أن محصول الجبن متشابه نسبياً. تسمح لنا هذه النتائج الأولية بالنظر في القيام بتجارب شبه صناعية من خلال إمكانية استبدال المنفحة التجارية بمستخلصات الإنزيم هذه سواء من الدجاج أو التين أو الخرشوف في صناعة الجبن ، مع الأخذ في الاعتبار توصيف المعلمات التكنولوجية المناسبة من أجل الحصول على خثارة جبن معياري مع أفضل محصول الجبن.

**الكلمات المفتاحية:** نشاط التخثر ، خثارة الجبن ، الإنزيمات المستخلصة ، الحليب المعاد تكوينه ، محصول الجبن.

## **Abstract:**

The objective of this work is to monitor the coagulant power on reconstituted milk of some enzymes extracted coagulant either plants grown in Algeria, particularly the fig tree (*Ficus carica L*), the artichoke (*Cynara scotymus*), or that of animal origin extracted from pro-ventricles of chicken (*Gallus gallus*).and by experimental trials to assess the possibility of their use as substitutes for imported commercial rennet. The repetition of coagulation tests of these enzymes extracted on reconstituted milk allowed us to confirm their technological aptitude for their adaptation to cheese processing by a standardized coagulation and obtaining the expected cheese yield. The results obtained showed the conformity of the flocculation times respecting the IDF standard between 8 and 15 minutes for the enzyme extracted from chicken, and similarly for the enzymes extracted from vegetable origin which gave almost similar results. The enzyme extracted from chicken has an average coagulant activity (UAC mL-1) equal to 0.85, the enzyme extracted from fig 0.42 U.A.C/ml and that of artichoke 0.63 U.A.C/ml. The cheese curds obtained with these enzyme extracts show a coagulant activity close to that obtained by the commercial rennet, the cheese yield is also relatively similar. These preliminary results allow us to consider semi-industrial trials by the possibility of substitution of commercial rennet by these enzyme extracts either from chicken, fig or artichoke in the manufacture of cheeses, while considering the characterization of appropriate technological parameters in order to obtain standardized cheese curds with a better cheese yield.

**Key words:** Coagulant activity, Cheese curd, extracted enzymes, reconstituted milk, cheese yield.

## Liste des abréviations, sigles, acronymes et symboles

**AC:** Activité Coagulante.

**AFNOR :** Association française de normalisation.

**°C :** Degré Celsius.

**CMP :** Caséino-macropéptide.

**Cys :** la Cystine.

**Da :** Dalton

**EST:** Extrait Sec Total.

**FAO:** Food and agriculture organisation.

**FIL :** Fédération Internationale du Lait.

**His :** l’Histidine.

**ISO:** International Organization for Standardization.

**κ :** kappa.

**κ –CN :** kappa caséine.

**L.S.T.P.A :** Laboratoire des Sciences et Techniques de Productions Animales.

**MG :** Matière Grasse.

**MP :** Matière Protéique.

**MS :** Matière Sèche.

**ONS :** Office National des Statistiques.

**OMS :** Organisation mondiale de la santé.

**PH:** potentiel hydrogène.

**R% :** Le rendement en fromage en %.

**T° :** Température.

**µm :** Micro mètre.

**U.A.C :** Unité d’activité coagulante.

**UP:** Unité de Présure.

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau1	Différentes types de fromages et leurs caractéristiques.	20
Tableau2	Origine des différentes enzymes utilisées pour coaguler le lait (Mietton, 1991).	26
Tableau3	Plantes locales d'Algérie utilisées pour la coagulation du lait (Talantikite-Kellil S, 2016).	31
Tableau4	Résultats d'analyses physico-chimiques du lait reconstitué(%).	51
Tableau5	Le temps de coagulation pour l'enzyme extraite de poulet.	51
Tableau6	Le temps de coagulation pour présure commerciale.	52
Tableau7	Le temps de coagulation pour l'enzyme extraite de figuier.	52
Tableau8	Le temps de coagulation pour l'enzyme extraite d'artichaut.	52
Tableau9	Unité d'activité coagulante «U.A.C» pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.	52
Tableau10	Unité d'activité coagulante «U.A.C» pour les différentes doses de présure commerciale.	53
Tableau11	Unité d'activité coagulante «U.A.C» pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.	53
Tableau12	Unité d'activité coagulante «U.A.C» pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.	53
Tableau13	Rendement fromager en% pour différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.	53
Tableau14	Rendement fromager en % pour différentes doses de présure commerciale.	54
Tableau15	Rendement fromager en % pour différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.	55
Tableau16	Rendement fromager en % pour différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.	55
Tableau17	Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.	56



Tableau18	Extrait sec total pour les différentes doses de présure commerciale.	57
Tableau19	Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.	57
Tableau20	Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.	58

## Liste des figures

<b>Figure N°1</b> : Fromage à pâte fraîche.....	21
<b>Figure N°2</b> : Fromage à pâte molle.....	23
<b>Figure N°3</b> : Fromage à pâte pressé cuite .....	24
<b>Figure N°4</b> : Complexe stomacal du poulet ( <b>Bohak, 1969</b> ) .....	30
<b>Figure N°5</b> : Fleur de chardon ( <a href="http://www.blogs-afrique.info">www.blogs-afrique.info</a> ).....	32
<b>Figure N°6</b> : Photographie de l'étape de collecte de latex .....	33
<b>Figure N°7</b> : Hydrolyse de la caséine k par la présure ( <b>Fox et al., 1994</b> ).....	36
<b>Figure N°8</b> : Formation d'un caillé présure par action de la présure sur les caséines du lait ( <b>Florian R., 2012</b> ) .....	38
<b>Figure N°9</b> : Chauffage de l'eau à T°35°C. ....	42
<b>Figure N°10</b> : Préparation de lait reconstitué .....	43
<b>Figure N°11</b> : L'équipement : Lactoscan. ....	11
<b>Figure N°12</b> : La répartition du lait et l'ajout des différentes doses des enzymes. ....	45
<b>Figure N°13</b> : Filtration de caillé obtenu.....	49
<b>Figure N°14</b> : Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.....	54
<b>Figure N°15</b> : Rendement fromager en % pour les différentes doses de présure commerciale. ....	54
<b>Figure N°16</b> : Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier. ....	55
<b>Figure N°17</b> : Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.....	56

<b>Figure N°18 :</b> Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet. ....	56
<b>Figure N°19 :</b> Extrait sec total pour les différentes doses de présure commerciale .....	57
<b>Figure N°20 :</b> Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier .....	58
<b>Figure N°21 :</b> Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut. ...	58

## Sommaire

Abréviations, sigles, acronymes et symboles

Liste des tableaux

Liste des figures

**Introduction..... 12**

### **Première partie. Etude bibliographique**

**Chapitre I.** Technologie des fromages..... 15

**Chapitre II.** Enzymes coagulants en technologie fromagère..... 26

### **Deuxième partie. Recherche Expérimentale**

**Chapitre I.** Matériel et méthodes..... 41

**Chapitre II.** Résultats et discussion..... 51

**Conclusion ..... 63**

Références Bibliographiques ..... 66

Table de matières ..... 71

# **Introduction**

## INTRODUCTION

---

Le lait, par ses grandes qualités nutritionnelles, a toujours été considéré comme un produit noble. En effet, c'est un aliment indispensable dans les premiers mois de la vie et fondamental dans la vie de l'homme. Son altération rapide par son instabilité biologique et physico-chimique constitue un facteur limitant de son utilisation en l'état. C'est dans ce contexte que sont apparues pour garantir sa conservation et sa meilleure utilisation les premières transformations fromagères.

Aujourd'hui, Selon l'organisation mondiale de l'alimentation (F.A.O.), 40% du lait fabriqué dans le monde est transformé en fromage. L'intérêt majeur de la transformation du lait en fromage était de conserver les principaux constituants du lait. De nos jours, il s'agit plutôt d'un aliment, possédant des qualités nutritionnelles indéniables (**Fredot, 2005**).

Les fromages constituent une forme ancestrale de conservation des protéines, de la matière grasse ainsi que d'une partie du calcium et du phosphore, dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans presque toutes les régions du globe (**Mahaut et al., 2000**).

La coagulation du lait est l'étape clé de la réussite des préparations fromagères, il apporte des modifications physico-chimiques intervenant sur les micelles de caséines, d'où la formation d'un gel qui diffère selon la nature de l'agent coagulant et le type du fromage (**Muehlhoff, Bennett et al., 2013; Dahou et al., 2021**).

Concernant les agents coagulants, la quantité de présure de veau disponible est devenue insuffisante du fait de l'augmentation de la production mondiale de fromage : le besoin de coagulants de remplacement s'est fait sentir dès le début des années 1990. De nombreux substituts d'origine variable (animale, végétale, ou microbienne) ont été proposés (**Ernesrom, 1997**).

Pour cela, la recherche et l'étude des succédanés susceptibles de remplacer la présure en fromagerie, ont été fortement stimulées. Pour le choix des succédanés de la présure, il faut tenir compte non seulement de l'activité coagulante, mais aussi de son activité protéolytique non spécifique, dans les conditions de pH et de température qui se présentent en fromagerie (**Alais, 1984**), et également doivent aussi répondre à trois critères principaux, à savoir, l'absence de la toxicité ; l'obtention d'un produit fromager comparable à ceux de la présure animale et avec un prix de revient moins élevé à celui de la présure.

Ces raisons ont fait que de nombreuses recherches ont été entreprises afin de trouver des succédanés efficaces et compétitifs utilisables industriellement. Parmi ces succédanés, les protéases d'origine végétale sont très anciennement utilisées dans des préparations traditionnelles telles que celles provenant de l'artichaut, du chardon et de latex du figuier. D'autres enzymes ont été testées telles que les protéases d'origine fongique synthétisées par diverses espèces. Il existe aussi des succédanés d'origine animale tels que les pepsines bovines et les pepsines extraites des pro-ventricules des volailles (**Siar, 2014**).

## INTRODUCTION

---

Bien que notre pays dispose d'un potentiel de production en succédanés capables de subvenir aux besoins en agents coagulants, l'Algérie reste dépendante des fournisseurs étrangers en matière d'approvisionnement et importe la quasi-totalité des quantités d'enzymes nécessaires à l'industrie fromagère. En 2011, environ 25 mille tonnes de fromages ont été vendus dans le marché algérien. Selon l'Office National des Statistique (O.N.S), l'industrie fromagère algérienne a utilisé près de 1,5 tonne de présure et ses substituts (**Siar, 2014**).

Le coût élevé d'importation (plus de 102 millions de Dollars) ainsi que la dépendance de l'Algérie vis-à-vis des fournisseurs étrangers en matière d'approvisionnement en présure et/ou ses succédanés, nous ont encouragés à mettre en valeur des sources locales pour la production d'agents coagulants utilisables en industrie fromagère. Ces succédanés que nous envisageons d'étudier peuvent être obtenus à partir de matières premières locales disponibles et avec des prix convenables et qui ne sont pas valorisés dans notre pays (**Siar, 2014**).

Notre travail a pour objectif la possibilité de substituer les extraits enzymatiques obtenus à partir de pro ventricules de poulet, de figuier et d'artichaut à la présure commerciale, et leur efficacité coagulante sur le lait reconstitué. Ce travail est divisé en deux parties : La première partie comporte une synthèse bibliographique et la deuxième une partie pratique.

- ❖ La première partie qui résume l'étude de technologie des fromages, et également les enzymes coagulantes de divers d'origine (Animale, végétale et microbienne).
- ❖ Une deuxième partie exposant le matériel et les méthodes mis en œuvre dans le cadre de ce travail, les analyses réalisées permettent d'apprécier l'aptitude fromagère des extraits d'enzymes dans un lait reconstitué normalisé à la transformation fromagère. Enfin les résultats obtenus sont discutés et interprétés par une comparaison aux nomes de fabrication fromagère.

L'étude est finalisée par une conclusion générale et des perspectives pour compléter la présente étude.

***SYNTHESE***  
***BIBLIOGRAPHIQUE***



*Chapitre I :*  
*Technologie des*  
*fromages*

## 1. Technologie fromagère

Le fromage est le véritable moyen de préservation des principaux composants de lait. A l'échelle mondiale, il existe plus de 1000 variétés de fromage produites grâce à la fois de la récupération des matières sèches et de l'élimination de l'eau à partir du lait (**Irlinger and Mounier 2009**). Le fromage est un système biochimique complexe et variable qui s'explique comme un gel de protéines concentrés englobant de la graisse et de l'humidité. La fabrication du fromage implique une gélification de la protéine du lait, une formation d'un caillé après déshydratation du gel et un traitement du caillé obtenu (par exemple: agitation à sec, cheddarisation, salage, moulage...etc). Le caillé moulu obtenu peut être consommé frais (peu de temps après sa fabrication) et sa qualité est fortement liée à la composition du caillé. Cette dernière dépend particulièrement de la charge microbienne, la richesse en caséine et la qualité chimique et organoleptique du lait utilisé. Le caillé obtenu peut également être affiné pendant une période allant de 2 semaines à 2 ans pour donner un fromage affiné avec la saveur, la texture et la fonctionnalité appropriée (**Law and Tamime 2010**).

## 2. Méthode générale de fabrication du fromage

Selon **Brule et al., (1997)**, la transformation du lait en fromage comporte quatre étapes principales, ces dernières peuvent être précédé par une opération de standardisation du lait, qui comprend l'ajustement du pH d'emprésurage pour faciliter la coagulation du lait, l'ajout de minéraux, la réduction de la teneur en lactose, l'ajustement de la teneur en matière grasse et ou en protéines (**Vignola, 2002**), parce que les laits n'ont pas la même aptitude à la transformation fromagères, ils présentent un certain nombre de caractéristiques différentes qui conditionnent leur aptitude à la déstabilisation, nécessaire pour passer de l'état liquide de à l'état solide (**Jeant et al., 2006**).

La transformation du lait en fromage comporte en générale quatre étapes (**Brule et al., 1997**).  
**La coagulation:** modification physico-chimique entraînant la formation d'un gel sous l'action d'acide lactique et/ou enzymes.

**L'égouttage:** séparation d'une partie de lactosérum qui conduit à l'obtention du caillé.

**Le salage:** par incorporation du sel sur le caillé de fromage.

**L'affinage:** est la transformation biochimique des constituants du caillé sous l'action d'enzymes, pour la plupart d'origine microbienne (**Eck, 1987**). A l'exception des fromages frais, tous les autres types de fromages subissent une maturation biologique plus ou moins prononcée, destinée à développer leur saveur, tout en modifiant leur aspect, texture et leur consistance.

### Coagulation du lait

La coagulation du lait correspond à une modification d'état physique irréversible des micelles de caséines. Celle-ci entraîne un passage du lait de l'état liquide à l'état semi-solide après formation d'un réseau protéique tridimensionnel appelé coagulum ou gel (**Eck and Gillis 1997**). La gélification de la protéine du lait peut être effectuée par: hydrolyse de la

caséine du lait (représente environ 75% de la production en fromage) par le biais des protéinases acides en particulier la présure (chymosine, pepsine) au niveau de la liaison peptidique phénylalanine105-méthionine106; acidification du lait (représente moins de 30% de la production en fromage) à l'aide d'addition de ferments ou d'acides de qualité alimentaire à une température qui varie entre 20 et 40°C jusqu'à atteindre un pH proche du pH isoélectrique de la caséine, c'est-à-dire 4.6; ou une combinaison acide-thermique (par exemple, chauffage du lait à un pH de 5.6 à une température de 90°C) (**Law and Tamime 2010**).

### **Première voie: coagulation par voie enzymatique**

La coagulation par voie enzymatique du lait s'effectue par l'hydrolyse des caséines par le biais des enzymes protéolytiques d'origine animale (veau, porc, poulet), végétale (artichaut, chardon, graines de citrouille) et microbienne (enzymes extraits de certains champignons, comme: *Mucorpusills*, *Endothia parasitica*), ayant la propriété de coaguler le lait. L'enzyme animale la plus utilisée en fromagerie est la présure, provenant du sac gastrique (la caillette) des jeunes ruminants non sevrés (**Eck and Gillis 1997**). Cette enzyme est constituée de la pepsine (représente 20%) et de la chymosine (représente 80%). Son mécanisme d'action comporte trois phases: L'hydrolyse de la caséine kappa au niveau de la liaison peptidique phénylalanine105-méthionine106 et libération de la para-caséine et caséino-macropéptide (CMP) dans le sérum du lait; La coagulation proprement dite et formation d'agrégats de paraffine, due à l'augmentation des forces d'attraction des micelles de para-caséine (agrégation des micelles)et à la perte du CMP dans le sérum; La réorganisation des liaisons entre les para-caséines des micelles de caséines et formation du coagulum (**Brulé et al.1997**). Le calcium joue un rôle très important dans l'agrégation des micelles de caséines en gel dont la caséine calcique constitue le principal agent induisant à cette agrégation. Néanmoins, sa contribution exacte à la coagulation ne soit pas claire (**Brulé et al., 1997**). Le gel obtenu de la coagulation par voie enzymatique est élastique, souple, peu friable, fortement imperméable et contractile avec un raffermissement important et rapide par rapport au gel lactique (**Aissaoui-Zitoun, 2014**).

### **Deuxième voie: coagulation par voie acide**

L'acidification du lait conduit à une précipitation des caséines du lait à leurs points isoélectriques par action des produits de fermentation de bactéries acidifiantes (processus progressif) ou par des composés chimiques d'action acidifiante soit directe(acide lactique)ou indirecte(protéines sériques à pH acide) (**Brulé et al., 1997**). L'acidification aboutit à une

diminution du pH du lait. La réduction du pH à environ 5.2–5.4 provoque une solubilisation de l'agent cimentant des micelles (phosphate de calcium colloïdal chargé positivement) avec diminution des charges négatives. Par contre, une réduction supplémentaire du pH à environ 5.2–4.6 provoque une désorganisation des micelles suivies d'une réorganisation des sous unités micellaires (**Law and Tamime 2010**). L'acidification biologique est un mécanisme progressif, lent et uniforme. Elle est due grâce à l'aptitude des bactéries lactiques à produire de l'acide lactique à partir du lactose. Le gel acide ainsi formé est friable, lisse, homogène, perméable, peu contractile et occupe entièrement le volume initial du lait. Cependant, l'acidification rapide par ajout d'acide organique ou minéral provoque la formation d'un précipité plus au moins granuleux dispersé dans lactosérum (**Eck and Gillis 1997**).

### Troisième voie: coagulation mixte

La coagulation résulte le plus souvent, d'une action conjuguée de l'acidification et des enzymes protéolytiques. Les gels formés par cette coagulation mixte possèdent des caractéristiques intermédiaires entre celles du gel obtenu par voie acide et celle du gel obtenu par voie enzymatique (**Brulé *et al.*, 1997**).

### Egouttage :

L'égouttage est un phénomène dynamique qui se caractérise par une déshydratation partielle (élimination du lactosérum) et durcissement du gel. Ce qui conduit à l'obtention d'un caillé correspondant au fromage formé et avec une teneur en matière sèche plus ou moins élevée (**Brulé *et al.*, 1997**). Ce phénomène dépend des facteurs directs (il s'agit des traitements mécaniques et thermiques), des facteurs indirects (il s'agit de la coagulation enzymatique et/ou de l'acidification) et des facteurs liés à la matière première (richesse en caséines, en protéines solubles et en matière grasse) (**Ramet, 1985**). L'élimination rapide du lactosérum consiste à couper le gel en morceaux (particules de caillé), le brasser, le presser et/ou le cuire (améliore l'égouttage dans certaines variétés). Et plus rapidement, elle peut être atteinte par centrifugation ou ultrafiltration. Par contre, l'élimination lente du lactosérum consiste une filtration du gel dans des sacs à fromage (**Law and Tamime 2010**). Le gel obtenu par voie enzymatique (gel imperméable avec égouttage par voie mécanique) possède des propriétés rhéologiques opposées à celles du gel obtenu par voie acide (gel très friable avec égouttage spontané) (**Veisseyre 1975**).

**Salage :**

Le salage est une opération indispensable dans la plupart des fromages (les fromages affinés) qui consiste à enrichir le fromage en chlorure de sodium. Par action sur l'activité de l'eau, le salage conserve le fromage, améliore l'arôme et accélère le mécanisme du séchage (**Bendimerad 2013**). Le salage exerce un effet inhibiteur sur l'activité des enzymes et joue un rôle très important dans le mécanisme d'affinage. Plusieurs techniques sont envisagées, saupoudrage du sel en surface ou dans la masse du gel ou par saumurage (**Eck and Gillis 1997**).

**Affinage :**

Le processus du vieillissement des fromages consiste à les maintenir dans des cuves spéciales parfois appelées «hâloirs», ventilées ou non, dans des conditions spécifiques de température et d'humidité pendant des durées variantes de 2 à 4 semaines pour les fromages à pâte molle et jusqu'à 2 ans pour certains fromages à pâte dure (**Law and Tamime 2010; Bendimerad 2013**). Ce processus implique une cascade complexe d'événements biologiques et biochimiques qui s'effectuent simultanément ou successivement aboutissant à la transformation du caillé de fromage frais en un fromage affiné caractérisé de qualité souhaitée (développement de l'odeur approprié, la texture et les propriétés physiques du fromage) (**Law and Tamime 2010; Othman 2011**).

L'affinage est la transformation biochimique complexe des composants du caillé sous l'action des agents d'affinage, soient les enzymes. Elles ont trois origines différentes: les enzymes de coagulation (présure avec un effet protéolytique ou protéases microbiennes); les enzymes indigènes du lait (microflore du lait particulièrement: la plasmine, la cathepsine D et lipoprotéine lipase) et les enzymes des micro-organismes intervenant au moment de l'affinage (provenant des ferments lactiques ou des ferments secondaires) (**Fox and Kelly 2006**). Les principales modifications physicochimiques sont: La glycolyse qui consiste à convertir le lactose en acide lactique par le biais des cultures starters et le catabolisme des acides lactiques et du citrate en d'autres composés sous l'action des cultures de démarrage secondaires; La protéolyse qui consiste à hydrolyser les caséines en peptides par le biais des endopeptidases (protéinases) et la transformation des lipides libérés en acides aminés sous l'action des exopeptidases (peptidases); La lipolyse qui consiste à hydrolyser les triacylglycérols, di-et monoacylglycérols en acides gras libres par le biais des lipases et des estérases provenant

---

de diverses sources(à partir du lait natif et / ou des cultures secondaires ajoutées (**Choisy et al., 1997;McSweeney and Fox, 2004**).

### 3. Classification des fromages :

La classification des fromages sera détaillée selon le type de caillé (lactique ou Présure et mixte). Il existe différents types de caillés : le caillé lactique, le caillé enzymatique et le caillé mixte. Le caillé lactique est obtenu grâce à une fermentation prolongée du lactose par des bactéries lactiques, ou par l'ajout d'agent acidogène dans le cas de procédés plus industriels (ex. : glucono- $\delta$ -lactone) (**Mietton et al., 2018**). Ce type de fromage contient également une faible quantité de présure (1-2 ml/ 100L de lait) (**Mietton et al., 2018**). Le caillé enzymatique est obtenue l'hydrolyse des caséines par des enzymes protéolytiques de diverses origines. certaines sont d'origine animale comme la présure (composée de 80% de chymosine et 20% de pepsine), d'autres sont d'origine végétale, ou microbienne (**Bendimerad, 2013**). Le caillé mixte à tendance présure résulte d'un procédé au cours duquel les voies lactiques et enzymatiques sont utilisées en parallèle. (**Desmaures, 2014**). On peut classer les fromages en 3 catégories différentes (**tableau1**):

Tableau 1 : Différents types de fromages et leurs caractéristiques (Mietton *et al.*, 2018).

Type de fromage	Fromage de type lactique	Fromage de type présure	Fromage de type mixte
Caractéristique	<p>-Obtenus essentiellement par coagulation biologique appelé aussi coagulation lactique ou coagulation par acidification.</p> <p>-Ce sont des fromages à pâte fraîche.</p> <p>-ils sont fabriqués à une température qui va de 16 à 23°C.</p> <p>-Ce type de fromage demande pour sa fabrication 3 à 10ml de présure pour 100l de lait.</p>	<p>-Obtenus essentiellement par coagulation chimique appelé aussi coagulation par l'action des enzymes (la présure).</p> <p>-Ce sont des fromages à pâte pressée, à pâte ferme cuite et à pâte ferme non cuite.</p> <p>-ils sont fabriqués à une température qui va de 34 à 40°C.</p> <p>-Ce type de fromage demande pour sa fabrication 25 à 35 ml de présure pour 100l de lait.</p>	<p>-Obtenus par coagulation chimique et par coagulation biologique.</p> <p>-Ils sont obtenus par les deux méthodes de manière équivalente.</p> <p>-Ce sont des fromages à pâte molle.</p> <p>-Ils sont fabriqués à une température de 28 à 37°C.</p> <p>-Ce type de fromage demande pour sa fabrication 15 à 25 ml de présure pour 100 l de lait.</p>
Exemples	<p>Fromage à pâte fraîche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Petit suisses</li> <li>-Fromage demi-sel</li> <li>-Chabichou</li> <li>-Mothais sur feuille</li> <li>-Rocamadour</li> <li>-Picodons</li> </ul>	<p>Fromage à pâte pressée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Saint-Nectaire</li> <li>-Tome de Savoie</li> <li>-Saint-Paulin</li> <li>-Port-Salut</li> <li>-Reblochon</li> </ul> <p>Fromage à pâte ferme non cuite :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Cantal</li> <li>-Laguiole</li> </ul> <p>Fromage à pâte ferme cuite :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Comté</li> <li>-Emmenthal</li> <li>-Beaufort</li> </ul>	<p>Fromage à pâte molle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Camembert</li> <li>-Brie</li> <li>-Carré de l'est</li> <li>-Bleu</li> <li>-Roquefort</li> <li>-Munster</li> <li>-Pont-l'évêque</li> <li>-Maroille</li> <li>-Livarot</li> </ul>

### Fromage frais

Le fromage frais est un fromage qui peut être consommé directement après sa fabrication, c'est le seul fromage qui n'est pas affiné juste peu égoutté (**Jaime le fromage.ch, 2019**). Ce fromage subit une coagulation des protéines du lait sous l'effet des ferments lactiques, le caillage du lait est obtenue après l'ajout des ferments et de présure, puis égouttage léger pour obtenir à la fin une pâte fraîche consistance plus ferme, il présente un taux d'humidité très élevé de 70 à 80%, la pâte fraîche a une couleur blanche, une texture molle lisse crémeuse et granuleuse, elle peut être mélanger avec d'autre arômes et ingrédients comme les herbes fines et les fruits. La durée de conservation de ce type de fromage est très courte, entre une semaine à une quinzaine de jours (**Chamba et Irlinger, 2004**).



**Figure 1** : Fromage à pâte fraîche (**Syndifrais, 2011**).



### **Fabrication du fromage frais**

Les fromages frais sont des fromages non affinés. Leur fabrication comprend trois étapes essentielles, à savoir, la pasteurisation du lait, le caillage et l'égouttage spontané (Syndifrais, 2011).

1. **Pasteurisation du lait** : La pasteurisation du lait pendant quelques minutes permette notamment de détruire les germes pathogènes.
2. **Caillage** : C'est la coagulation du lait tiède en présence de ferments lactiques et d'une enzyme de coagulation (exemple : présure).
3. **Egouttage spontané** (ou accéléré par centrifugation)

L'égouttage spontané (ou accéléré par centrifugation) permet de séparer le caillé du lactosérum (petit lait). On peut également concentrer le lait préalablement à la fermentation en éliminant partiellement la partie aqueuse (par ultra filtration par exemple). Les fromages frais sont en général peu égouttés. Le caillé est ensuite mis en pots (fromages frais de type "faisselle"). Il peut aussi être battu (fromages blancs lisses) et éventuellement additionné de crème ou d'autres ingrédients (sucre, fruits...), salé ou aromatisé. Tous les fromages frais sont immédiatement réfrigérés et stockés en chambre froide. Les modalités de stockage et de conservation (durée et température) sont bien encadrées (la température doit toujours se situer entre 0° et 6°C et la date limite de consommation est courte pour que le produit garde toute sa fraîcheur).

### **Fromage à pâte molle**

C'est un fromage affiné avec une pâte ni cuite ni pressée, fabriqué à partir du lait de vache, de chèvre, de brebis ou de lait pasteurisé, il a une texture crémeuse et onctueuse, sa teneur en eau est supérieure à 67 % après élimination des matières grasses (**Codex Stan A-6-1978, révisé 1-1999, amendé, 2001**)

19 Dans cette catégorie, on distingue: les fromages pâte molle à croûte fleurie, et les fromages pâte molle à croûte lavée.



**Figure 2 :** Fromage à pâte molle (Syndifrais, 2011)..

### **Fromages de pâte molle à croûte fleurie**

Ces fromages se caractérisent par une croûte blanche recouverte d'un duvet de moisissure blanc qui se développe pendant l'affinage ce qui leur donne le nom de croûte fleurie il a une pâte souple, onctueuse et fondante (**Pradal 2012**), l'aspect de la croûte est dû à la présence d'un champignon (penicillium) pulvérisé à la surface après salage et égouttage (ex: camembert, brie).

### **Fromages de pâte molle à croûte lavée**

la surface des fromages à croûte lavée est généralement traitée par une culture bactérienne spécial (*Bacteriumlinens*), le mode de fabrication des fromages à croûte lavée est le même que celle pour les fromages à croûte fleurie, sauf que la surface de ce fromage est lavée en saumure légère et brossée à plusieurs reprises afin d'éliminer les moisissures qui se forment, le fromage est lavée pour être plus humide, plus souple; permettant la croissance d'un type particulier de bactéries qui donnent la couleur de la croûte typique rouge-brun, en maintenant une humidité superficielle. Ce fromage s'affine à une température de 10 à 15°C et à une humidité près de 90% (**St-Gelais. Tirard-Collet., 2002**).

### Fromage à pâte pressée

Le fromage à pâte pressée c'est un fromage qui a subi une pression mécanique sur le caillé et qui a un effet direct sur la structure, plus cette pression est forte plus le taux de lactosérum éliminé est important et la pâte fromagère est plus dure. Ce fromage a une pâte compacte qui contient un peu moins d'eau que les fromages frais, mais contenant plus de sels minéraux dont les sels de calcium. Dans ces types de fromage on a: les fromages à pâte pressée non cuite et les fromages à pâte pressée cuite. (Parente et Cogan, 2004; Yildiz, 2010).

### Fromages à pâte pressée cuite

C'est un fromage avec une pâte qui contient 40% d'humidité, le caillé de ce fromage est chauffé à plus de 45°C pour éliminer le maximum de lactosérum, puis il est affiné plus de 6 mois à un an (Nouari et Bouziani, 2018).



Figure 3 : Fromage à pâte pressée cuite (Syndifrais, 2011)..

### Fromages à pâte pressée non cuite

Ce sont des fromages à pâte ferme (comme le saint-paulin), ne contiennent que 45% d'humidité, ils ont une durée d'affinage un peu plus longue, et se conservent plus longtemps que les autres fromages. Il y a aussi des fromages à pâte pressée non cuite demi ferme (comme le cheddar) qui contient 40 à 60% d'humidité et qui subit une période d'affinage de 6 semaines à plus d'un an. (Nouari et Bouziani, 2018)

**Chapitre II :**  
**Enzymes coagulants**  
**en technologie**  
**fromagère**

### 1. Enzymes coagulantes en technologie fromager

Les enzymes sont des catalyseurs biochimiques de nature protéique qui interviennent dans toutes les réactions métaboliques énergétiquement possibles, qu'elles accélèrent par activation spécifique dans des conditions douces de température et de pH (Cuvellier, 1993).

Ce sont des outils clés de la biotechnologie et de la bioindustrie. Un grand nombre d'enzymes protéolytiques, qui ont la propriété de coaguler le lait, sont présentés dans le **Tableau 2** (Cuvellier, 1993).

elles sont soit d'origine animale (présure, pepsine) ; soit d'origine végétale (ficine, bromélaïne, enzymes extraites de l'artichaut, de la courge, du chardon, etc.); soit d'origine microbienne (enzyme de certaines moisissures ou des bactéries) (Mahaut et al., 2000)

**Tableau 2 :** Origine des différentes enzymes utilisées pour coaguler le lait (Mietton, 1991).

	Origine	Enzyme
Animaux	<b>Ruminants :</b>	
	Veau	
	Chevreau-----	Chymosine+ pepsine
	Agneau	
	Bovins adultes-----	Pepsine+chymosine
	<b>Oiseaux :</b>	
	Poulet.....	Pepsine
Végétaux	Figuier.....	Ficine
	Ananas-----	Bromélaïne
	Chardon, Artichaut	
	Gaillet	
	Courge	
Moisissures	Endothia parasitica-----	Protéase
	Mucor pusillus-----	Protéase
	Mucor miehei-----	Protéase
	Aspergillusniger-----	Chymosine (génétique)
Levures	Kluyveromyceslactis-----	Chymosine (génétique)

### Présure

La présure est une enzyme protéolytique, extrait de la quatrième poche de l'estomac (abomasum ou caillette) des jeunes ruminants nourris exclusivement au lait (avant sevrage) (**Eck et Gillis, 1997**). La présure de veau est l'agent coagulant traditionnellement utilisé pour la coagulation du lait en vue de la fabrication de la majorité des fromages (**Alais, 1984; Ramet, 1997**). Elle contient deux fractions actives, l'une majeure, constituée par la chymosine (80%) l'autre mineure, par la pepsine (10 –20%) (**Alais, 2003**).

### Chymosine

La chymosine est la protéase majeure responsable d'au moins 85% de l'activité coagulante totale du lait. Elle est sécrétée inactive sous forme de prochymosine dans la caillette. Sous l'action de l'acidité (ions H<sup>3</sup>O<sup>+</sup>) du milieu, elle devient active. C'est une holoprotéine, appartenant au groupe des protéases acides. Elle est stable aux pH (5.3 à 6.3), inactivée aux pH (vers 7.5) et dénaturée à pH 8. L'inactivation thermique à lieu 50°C, elle est totalement inactivée à 61°C (**Bouyoucef, Taouzine et al., 2016**).

### Pepsine

La pepsine est le constituant mineur de la présure dont la sécrétion gastrique ne devient prépondérante qu'après sevrage (**Ramet, 1997**). Elle est produite sous forme d'un précurseur inactif, le pepsinogène. Il passe par acidification sous la forme active: la pepsine de poids moléculaire 35 kDa (**Alais, 1984**).

A l'opposé de la chymosine, la pepsine possède une activité protéolytique élevée et une faible activité coagulante. D'après (**Broome et Hickey, 1990**), 20% de l'activité coagulante est assurée par la pepsine dans la fabrication fromagère (Cheddar, Emmental,...). La pepsine est relativement stable à des pH compris entre 5 et 5,5. Son activité enzymatique est plus élevée entre pH 1 et 4 avec un maximum vers 1,8 et varie selon la nature du substrat. C'est une enzyme thermosensible en solution après 55°C. Elle est dénaturée à des températures à 70°C (**Graiday, 1978**).

### Succédanés de présure

La présure traditionnelle telle que la chymosine est très utilisée dans les industries fromagères. La forte demande subite l'approvisionnement de la présure est plus difficile. Des travaux ont été lancés afin de trouver d'autres sources potentielles de protéase pour remplacer la présure nommée des succédanés de présure (**Nouani et al., 2009**).

Les enzymes coagulantes appelées aussi les succédanés de présure, ils sont classés en 3 catégories selon l'origine de l'enzyme:

- ❖ Succédanés de présure d'origine animale.
- ❖ Succédanés de présure d'origine végétale.
- ❖ Succédanés de présure d'origine microbienne.

Les enzymes de remplacement de la présure doivent répondre aux critères suivants (**Ramet, 1997**):

- ✓ Une bonne solubilité dans l'eau.
- ✓ Une odeur et une couleur faibles ou nulles.
- ✓ Une activité coagulante bonne et une durée de consommation raisonnable.
- ✓ Une absence de toxicité pour le consommateur et un degré de pureté élevé pour éviter tout accident de prolifération de microorganismes indésirables.
- ✓ Les propriétés rhéologiques du coagulum doivent être évaluées après floculation de façon à permettre le travail mécanique du gel dans les délais habituels.
- ✓ La synérèse du coagulum au cours de l'égouttage et les modalités de l'affinage devrait permettre d'obtenir les caractéristiques usuelles des fromages dans un délai sensiblement égal à celui de la présure.
- ✓ Les rendements fromagers doivent être très proches ou supérieurs à ceux révélés lors de l'emploi de la présure.

### Succédané de présure d'origine animale

#### Pepsine bovine

Nommée aussi la pepsine A, elle provient de l'estomac d'animaux adultes, sa masse moléculaire est de 33370 Da et contient 313 acides aminés (**Graindy, 1978**), (**Fox, 1969**) et (**Mathieu, 1981**). La pepsine bovine a une activité protéolytique proche de

celle de la chymosine, cette activité dépend du pH du milieu, elle est généralement active dans des milieux acide ou le PH est de 1.5 à 2 et l'activité soit plus élevée (**Goursaud, 1992**). Par contre dans des milieux basique pH supérieure de 6.3, l'activité baisse rapidement et le lait ne coagule pas (**Eck et Gillis, 1997**). La pepsine bovine est destinée à la fabrication du Cheddar (**Shamsuzzuman et al., 1985**) et (**Cuvellier, 1999**). D'après **Bengana, (2001)**, le remplacement de la présure par la pepsine bovine permet la fabrication de fromage à pâte molle type Camembert.

### **Pepsine de poulet :**

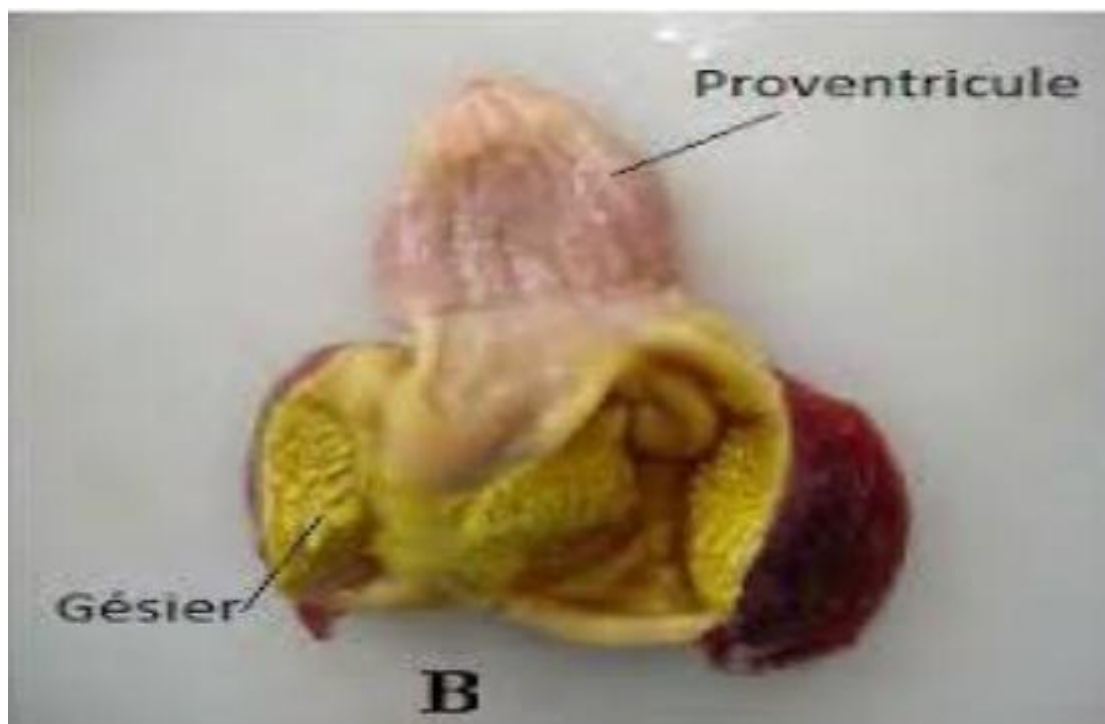
Nommée aussi pepsine C, elle a une forte activité vis-à-vis l'hémoglobine (**Linden et Humbert, 1991**). Elle est extraite de pro ventricule de poulet utilisé pour la fabrication du fromage à pâte molle, les résultats obtenus sont comparés avec un fromage fait par la présure confirme qu'il y a aucune différence dans le rendement et la qualité du fromage. D'après l'étude de **Morsli, (1997)**. Cette pepsine a été utilisée en Israël pour la fabrication des fromages locaux d'après (**Cuvellier, 1999**). Récemment en Turquie les travaux ont été repris (**Hasan Temiz, 2009**).

Le pepsinogène du poulet est composé de 387 résidus d'acides aminés avec un poids moléculaire de 43000 Da. La pepsine elle, est composée de 308 résidus d'acides aminés et un poids moléculaire de 35000 Da (**Bohak, 1969**).

Le pH optimum de la pepsine de poulet est de 2.8. L'enzyme reste stable à pH 8, et devient inactive à pH 8,5 (**Bohak, 1969**).

La pepsine du poulet est extraite du pro ventricule ou ventricule succenturié qui est un renflement fusiforme de 3 cm de long en moyenne, situé au-dessus du gésier, il est revêtu d'un épithélium de cellules cylindriques.





**Figure 4:** Complexe stomacal du poulet (Bohak, 1969).

### Succédané de présure d'origine végétale

On connaît de très nombreuses préparations coagulantes provenant du règne végétal; elles sont extraites par macération de divers organes de plantes supérieures. Parmi les espèces européennes, on peut citer le gaillet, l'artichaut, le chardon qui ont été et (ou) sont encore utilisés dans des fabrications de fromages fermiers, en particulier dans l'ouest du bassin Méditerranéen (Espagne, Portugal). D'autres extraits coagulants ont été obtenus à partir de plantes tropicales: les plus connus sont les ficines, extraites du latex du figuier, la papaïne, extraite des feuilles du papayer, la bromé laine, extraite de l'ananas et l'extrait de chardon Marie. D'une façon générale, ces diverses préparations végétales ont donné des résultats assez décevants en fromagerie car elles possèdent le plus souvent une activité protéolytique très élevée, qui se traduit par l'apparition des inconvénients technologiques majeurs précédemment signalés. L'activité coagulante est d'autre part très variable car elle est fortement influencée par l'état de maturité de la plante et par les conditions de collecte et de stockage. De ce fait, l'emploi de ces protéases coagulantes est toujours resté limité aux aires locales de production (Tableau 3) (Veisseyre, 1979).

**Tableau 3:** Plantes locales d’Algérie utilisées pour la coagulation du lait (**Talantikite-Kellil S, 2015**).

Nom scientifique	Nom vulgaire		
	Français	Anglais	Algérien
<i>Cynara scolymus</i> L.	Artichaut	Artichocke	Karnoune
<i>Cynara cardunculus</i> L.	Cardon	Cardoon	Thaga/ khorchef
<i>Seneciojacobaea</i> L.	Séneçon	Ragwort	Debouz-el-arabe
<i>Ficus carica</i> L.	Figuier	Figtree	Kerma

- Les protéases végétales les plus connues sont extraites du :

### **Le chardon (*Cynara cardunculus* L)**

Le chardon pousse sur les sols argileux dans des endroits pierreux. Il est utilisé pour coaguler principalement le lait de brebis. Son utilisation dans le lait de vache provoque une modification de texture et de goûts (plus acide et amer) des produits laitiers du fait de son activité protéolytique non coagulante élevée (**Chazarra et al., 2007; Jacob et al., 2011**).



**Figure 5:**Fleur du cardon ([www.blogs-afrique.info](http://www.blogs-afrique.info)).

### **L'artichaut (*Cynara scolymus* L)**

L'artichaut possède les mêmes propriétés coagulantes que le chardon dont leur activité coagulante résulte de la présence des protéinases aspartiques à caractère acide qui rompre la liaison phénylalanine<sup>105</sup>-méthionine<sup>106</sup> de la caséine-k. Ces protéinases appelées cardosine A et cardosine B possèdent des caractéristiques et activités similaires de la chymosine et la pepsine (Silva *et al.*, 2003).

### **La ficine (*Ficus carica* L)**

La ficine est une enzyme extraite du latex du figuier, dont le nom botanique *Ficus carica* L, un arbre à feuilles caduques de la famille des Moraceae qui comprend environ 1500 espèces classées en 52 genres dont le genre ficus (Solomon, Golubowicz *et al.*, 2006; Nicotra, Vicentini *et al.*, 2010; Mawa, Husain *et al.*, 2013).

Le figuier originaire du Moyen Orient et naturalisé dans plusieurs régions du bassin méditerranéen, dont il fournit l'essentiel de la production mondiale (Abdelkader, 2017), dont la wilaya de Bejaia occupé le sommet de la production nationale.

La ficine est une cystéyl protéase extraite de la figue, elle est semblable à la papaïne et constitué de deux acides aminés qui sont la cystéine (Cys-25) et l'histidine (His-159) Katsaros, Katapodis *et al.*, (2009). Cette protéase végétale est isolée à partir du latex de

*Ficus carica*, et utilisée dans l'industrie alimentaire pour améliorer l'attendrissement des viandes (Sullivan et Calkins, 2010) et la fabrication de fromages traditionnels.

La ficine est une endopeptidase activée par les thiols et les réducteurs (cystéine, thiosulfate, glutathion), elle est inactivée par les ions métalliques, les oxydants et les réactifs qui réagissent avec les thiols. La ficine présente une grande stabilité thermique. Sa température d'activité est comprise entre 30°C à 65° C, elle est active à des valeurs de pH comprises entre 6,5 et 8 avec une activité optimale à pH 6,5 l'inactivation complète de la ficine se produit en dessous de pH 3 (Devaraj, Kumar *et al.*, 2008; Azarkan, Matagne *et al.*, 2011).

Selon Öner et Akar (1993), la ficine peut remplacer avec succès la chymosine dans la fabrication de fromage. Traditionnellement, dans les montagnes d'Algérie, particulièrement la Kabylie, le latex de figuier est utilisé comme agent coagulant pour la préparation d'un fromage connu sous le nom AGUGLI ou IGUISSI selon la région.



**Figure 6:** photographie de l'étape de la collecte de latex.

### Succédané de présure d'origine microbienne

En pratique, l'utilisation des préparations enzymatiques microbiennes a été soumise à une stricte réglementation, imposant des contrôles hygiéniques (liés à leur production et extraction) et toxicologiques sévères, afin d'éviter tout risque de toxicité lié à la présence d'antibiotiques et/ou d'aflatoxines (Noor-Devilliet *et al.*, 1983). Ces coagulants peuvent être facilement produits par fermentation. Toutefois, ils montrent une forte activité protéolytique pendant la fabrication du fromage, ce qui peut entraîner une perte de protéine, un rendement plus faible, et la génération de saveur désagréable (Harboe *et al.*, 2010).

On distingue deux catégories de protéases microbiennes: les succédanés d'origine bactérienne et les succédanés d'origine fongique.

#### D'origine bactérienne

Depuis une quarantaine d'années, une puissante industrie de transformations s'est développée dans le monde. Elle produit des substances variées dont une grande partie d'enzymes qui trouvent de nombreuses applications dans des secteurs industriels variés et en particulier des protéases susceptibles de coaguler le lait. Ce sont surtout les souches du genre *Bacillus*: *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus polymixa* et *Bacillus coagulans*, qui ont fait l'objet de plusieurs recherches pour la production de coagulases. Leur utilisation demeure limitée par suite de réglementation stricte et leur prix de revient. D'autre part, leur aptitude à la coagulation est meilleure que celle d'origine végétale et moins bonne que celle des enzymes produites par les moisissures. Les caillés obtenus manquent de cohésion du fait d'une trop forte activité protéolytique par comparaison à la présure animale (Alais, 1984).

#### D'origine fongique

au contraire, ont donné des résultats meilleurs, souvent comparables à ceux obtenus avec la présure (Pa) ; plusieurs préparations sont déjà commercialisées sur le marché international et utilisées à plus ou moins grande échelle selon les pays. Ces préparations proviennent de trois genres de moisissures : *Endothia parasitica* (E.p.), *Mucor pusillus* (M.p.), *Mucor miehei* (M.m.).

## 2. Coagulation du lait

La coagulation du lait constitue une forme ancestrale de conservation des protéines, de la matière grasse ainsi que d'une partie du calcium et du phosphore, dont les qualités nutritionnelles et organoleptiques sont appréciées par l'homme dans presque toutes les régions du globe (**Abiazar, 2007**), en industrie fromagère, le procédé choisie pour la coagulation à un large effet sur la texture du produit fini (**Herbert *et al.*, 1999**).

### Coagulation enzymatique du lait

La coagulation enzymatique est assurée par un grand nombre d'enzymes protéolytiques, d'origine animale, végétale ou microbienne, ayant la propriété de coaguler le lait. Il faut aussi tenir compte de leur grande activité protéolytique non spécifique supplémentaire qui leur permet d'hydrolyser les caséines  $\alpha$  et  $\beta$  avec libération de peptides (**Mietton, 1995**). Si cette hydrolyse est trop élevée, il peut en résulter une baisse du rendement fromager, une texture molle et l'apparition de goûts anormaux. La présure est une enzyme protéolytique provenant de la caillette du veau non sevré. Cette enzyme correspond à deux fractions actives: l'une mineure (20 %), constituée par la pepsine; l'autre majeure (80 %), est représentée par la chymosine qui est le coagulant le plus utilisé (**Eck, 1990**). En pratique, la coagulation du lait peut se caractériser par trois paramètres: le temps de floculation, la vitesse de raffermissement et la fermeté maximale du gel (**Caron *et al.*, 1997**).

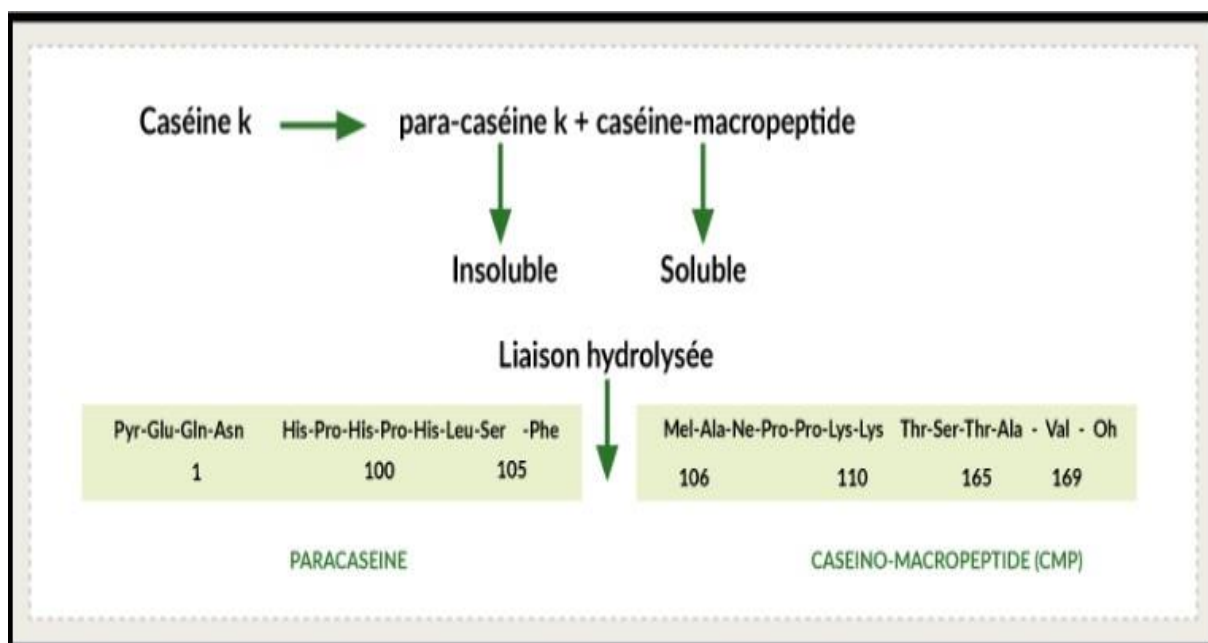
### Mécanisme de la coagulation enzymatique du lait

Un grand nombre d'enzymes protéolytiques d'origine animale, végétale ou microbienne ont la propriété de coaguler le complexe caséinique.

#### Phase primaire

La micelle est principalement constituée de caséine  $\kappa$  avec son segment C-terminal hydrophile libre qui s'étend dans la phase aqueuse du lait assurant la stabilité stérique et agissant comme une barrière contre l'association des micelles (**Eck et Ghilis, 2006**). Au cours de la phase enzymatique (primaire), il y'a une attaque de l'enzyme sur la caséine- $\kappa$

(composante qui stabilise la micelle) au niveau de la liaison PHE105-MET106. La chaîne peptidique se trouve ainsi coupée en deux segments, le segment 1-105 est la paracaséine- $\kappa$  (**Figure 7**) et le segment 106-169 qui est le caséine macropeptide (CMP). La paracaséine- $\kappa$  liée aux caséines  $\alpha$  et  $\beta$  reste intégrée à la micelle hydrophobe et le CMP contenant tous les glucides est libéré dans le lactosérum, ce qui entraîne une réduction de la charge négative et leurs degrés d'hydratation (**Li J et al., 2006**).



**Figure 7:** Hydrolyse de la caséine  $\kappa$  par la présure (**Fox et al., 1994**).

### Phase secondaire

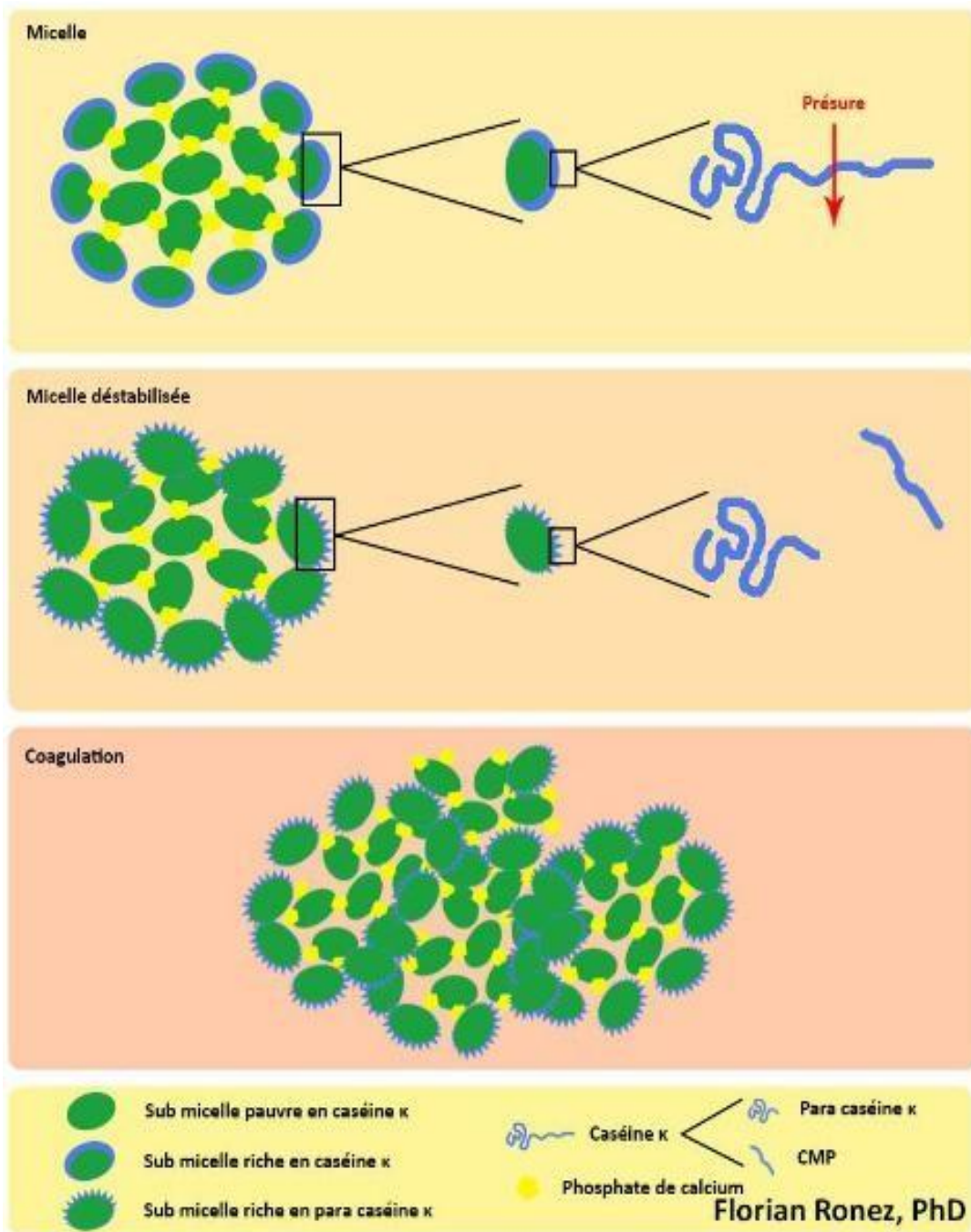
Cette phase commence dès que 85 % de la caséine- $\kappa$  est hydrolysée. Elle est dite phase d'agglomération ou d'agrégation ou phase de coagulation proprement dit (**Lucey, 2002**). Durant laquelle la libération du macropeptide de la caséine- $\kappa$  sous l'action de l'enzyme entraîne la réduction des répulsions électrostatiques entre les micelles de caséines hydrolysées. L'élimination de ces macropeptides entraîne également une réduction du diamètre hydrodynamique et une perte de la stabilité (**Lucey, 2002**). La nature des interactions intervenant durant cette phase n'est pas encore bien connue. Toutefois, les ponts calciques et les forces de Van der Waals ainsi que les interactions hydrophobes semble être impliquées (**Schmidt, 1982**). Les micelles déstabilisées s'agrègent en présence des ions de calcium libres ( $\text{Ca}^{++}$ ). Au début, il y a une formation de chaînes linaires de

micelles qui continuent de s'agréger pour former des amas. Ces derniers constituent le gel protéique qui se sépare nettement de lactosérum (**Lucey, 2002**).

### **Phase tertiaire**

Durant cette phase, les micelles agrégées subissent une profonde réorganisation par la mise en place de liaisons phosphocalciques et peut être de ponts disulfures entre les para caséines (**Vignola, 2002**).





**Figure 8:** Formation d'un caillé présure par action de la présure sur les caséines du lait (Florian R., 2012).

***ETUDE***  
***EXPERIMENTALE***

***Chapitre I :***  
***Matériel et Méthodes***

## 1. L'objectif

Les objectifs de cette étude s'articulent autour des points suivants :

- Déterminer le pouvoir coagulant des enzymes extraites d'origine animale (extraite de poulet) et d'origine végétale (extraite de figuier et d'artichaut) et de le comparer à celui de la présure commerciale.
- L'évaluation de l'aptitude à la coagulation sur un lait fromager reconstitué selon les normes de la transformation fromagère et appréciation technologique de ces enzymes par rapport à l'enzyme commerciale « la présure ».

## 2. Lieu de l'étude

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Sciences Techniques de Production Animale LSTPA de Hassi-Mamèche Mostaganem, durant la période 22/06/2021 jusqu'à 07/07/2021.

## 3. Matériel enzymatique

### Collecte des extraits enzymatiques

Les matières premières sont représentées par :

- L'enzyme extraite de pro-ventricule provenant du système digestif de poulet (*Gallus gallus*).
- L'enzyme extraite du Latex de Figuier (*Ficus carica L*).
- L'enzyme extraite de la fleur d'artichaut (*Cynara scotymus*).
- La présure commerciale, habituellement utilisé en technologie fromagère.

## Matériel

### Appareillage

- Agitateur.
- Place chauffante.
- Etuve (37°C et 45°C).
- Lactoscan.
- Balance de précision.
- Thermomètre.
- Réfrigérateur.
- Four à moufle.

### Petit matériel

- Verrerie (Bécher, pipettes graduées, fiole jaugée, flacons stériles avec fermeture hermétique).

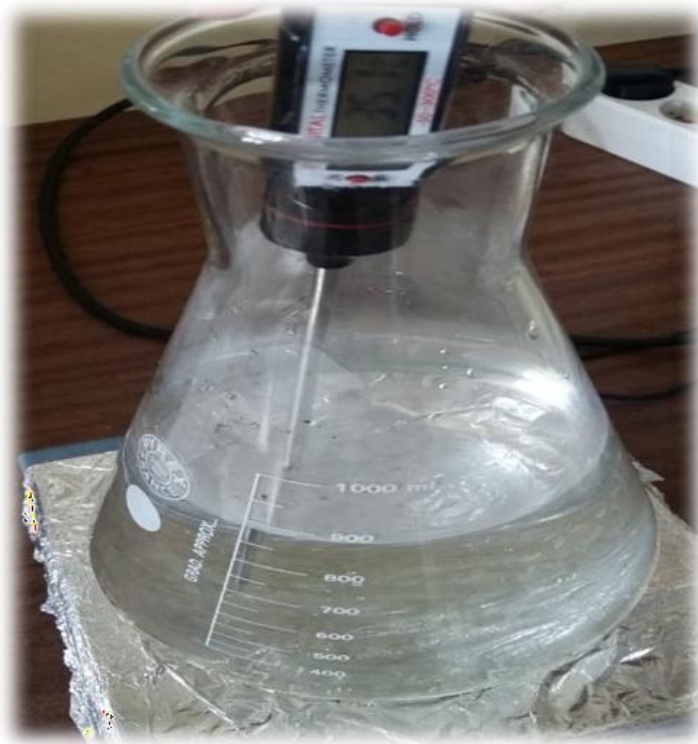
#### 4. Préparation des laits fromagers

##### Préparation du lait reconstitué

La matière première utilisée est de la poudre de lait partiellement écrémé de marque «Loya».

Une quantité de 120 g de lait en poudre écrémé est dissoute dans 870 ml d'eau distillée sous agitation magnétique sur plaque chauffante.

- ✓ Tout d'abord, l'eau est préchauffé à 35°C (**Figure 9**).



**Figure 9:** Chauffage de l'eau à  $T=35^{\circ}\text{C}$ .

- ✓ Puis on commence à ajouter la poudre du lait progressivement avec un mélange magnétique jusqu'à ce que la température de pasteurisation atteigne une température de 85°C (**Figure 10**).



**Figure 10:** Préparation du lait reconstitué.

### **Conservation du lait**

Après la préparation on met la fiole du lait dans un bain marie à 32°C pendant 30min, puis on répartit la quantité préparée dans des flacons en verre stériles de 200ml.

Ensuite on laisse les flacons dans le réfrigérateur 24h en réhydratation pour une utilisation appropriée.

## **5. Contrôle physico-chimique**

Afin de savoir les caractéristiques physicochimiques du lait utilisé dans notre travail, On a utilisé le Lactoscan pour mesurer quelques paramètres physico-chimiques du lait:

### **Définition du Lactoscan**

Le lactoscan est un appareil d'analyse moderne qui convient à l'analyse de tout type de lait, rapidement et avec précision après prise d'un échantillon d'environ 50ml. Grâce à la technologie à ultrasons qu'il utilise, il n'est pas nécessaire de procéder à son calibrage à intervalles réguliers. Il est automatiquement calibré, sans utilisation d'ordinateur. Cet équipement est représenté dans **la figure 11**.

On cite les paramètres analysés suivants :

T : Température

pH : Potentiel Hydrogène

F : La teneur en matières grasses

S : Matière sèche

P : La teneur en protéines

L : La teneur en lactose

D : La densité,

FP : Le point de congélation

C : Taux de cendre

S : Taux de salinité



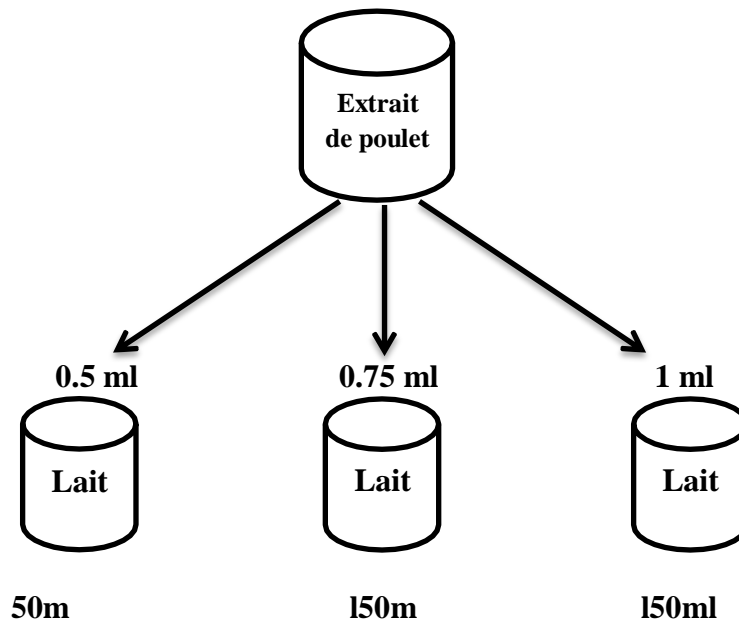
**Figure 11:** L'équipement : Lactoscan.

### Les laits fromagers

Dans cet essai notre but est d'étudier les aptitudes à la coagulation du lait par des enzymes extraites de poulet, de figuier et d'artichaut en les comparant avec celles de la présure commerciale.

#### On a établi la démarche suivante

- On a réparti le lait dans 12 flacons transparents, chaque flacon contient 50 ml du lait, et on a établi 4 série de trois flacons, dans chaque série, il a été réalisé des essais de différentes doses (de 0,5ml, de 0,75ml et de 1ml) des enzymes coagulantes extraites comparées à la présure commerciale.
- Les enzymes coagulantes ont été ajoutées au lait à 37°C. Comme indiqué dans la figure 12.



**Figure 12:** Répartition du lait et ajout des différentes doses des extraits d'enzymes.

- Cette démarche a été établie pour l'ensemble des enzymes et dans les mêmes conditions.
- Un chronomètre a été utilisé pour mesurer les temps technologiques de coagulation.



## 6. Dosage enzymatique et suivi des temps de coagulation

### Coagulation et la formation du coagulum

Le principe de la coagulation est le changement d'état du lait de liquide à demi solide qui est appelé gel ou coagulum. Le produit se sépare alors en deux phases : le lactosérum et le coagulum.

### Caractéristiques de coagulation

La coagulation du lait se caractérise par trois paramètres essentiels :

- Le temps de floculation.
- Le temps de prise.
- Le temps de coagulation.

#### ❖ Détermination du temps de floculation

Le temps de floculation est l'intervalle de temps compris entre le moment de l'emprésurage et l'apparition des premiers flocons de caséines visibles à l'œil nu.

#### ❖ Détermination du temps de prise

Le temps de prise est le moment où apparaissent les premières gouttelettes du lactosérum (début de l'exsudation du lactosérum) sur la surface du gel appelé aussi coagulum qui devient rigide et ne coule plus sur les parois du tube. Ce temps de prise en masse compacte est noté. Pour toute coagulation, le temps de prise représente généralement environ le double du temps de floculation: ainsi pour un temps de floculation compris entre 8 et 15 minutes, le temps de prise se situe entre 16 et 30 minutes (FAO/OMS, 1999).

#### ❖ Détermination des temps de coagulation

L'activité coagulante est déterminée par la mesure du temps de floculation et du temps de prise selon la méthode d'Alais, (1974) et actualisée par (Tanaka *et al.*, 2001).

## 7. Détermination de l'activité coagulante

L'activité coagulante qui est exprimée par la rapidité avec laquelle l'enzyme coagule le lait est déterminée selon la méthode de Berridge, (1955) et de Libouga *et al.*, 2006).

Elle est basée sur l'évaluation visuelle de l'apparition des premiers flocons de la coagulation du substrat de Berridge.

Cette activité est exprimée en unité d'activité coagulante (U.A.C) ou d'unité présure (UP) qui est définie par la quantité d'enzyme contenue dans 1mL de la solution enzymatique qui peut coaguler 10 ml de substrat standard de Berridge en 100 secondes à 35°C (Alais, 1984; Ramet, 1997).

Le substrat de Berridge est préparé par l'addition de 12 mg de lait écrémé à 100ml de solution de  $\text{CaCl}_2$  (0.01M). Après 30 minutes d'agitation lente, le pH est ajusté à 6,4.

Afin de mesurer l'activité coagulante à 35°C, ce substrat est chauffé au bain marie jusqu'à la température voulue. Un volume de 5 ml de ce substrat (35°C) est additionné de 500 $\mu\text{L}$  l'extrait enzymatique.

La mesure du temps de coagulation correspond au temps s'écoulant entre l'addition de l'extrait enzymatique au substrat de Berridge, et de l'apparition des premiers flocons de caséines visibles à l'œil nu sur la paroi interne du tube incliné, subissant un lent mouvement rotationnel. L'activité coagulante (U.A.C) est calculée selon l'expression suivante:

$$U.A.C = \frac{100 \times V}{10vt}$$

Avec :

**V** : Volume du lait à coaguler (10ml).

**v** : Volume de la solution enzymatique (1ml).

**t** : Temps de floculation en secondes.

**100** : 100 secondes.

Où l'unité présure correspond à la quantité d'enzyme contenu dans un ml d'extrait enzymatique pouvant coaguler 10 ml de substrat en 100 secondes à 32°C, exprimée en Unité Présure (UP), est calculée selon l'expression suivante :

$$UP = 10 V / Tv$$

Avec :

**V** : Volume de lait

**T** : Temps de coagulation en secondes

**v** : volume de l'enzyme.

## 8. Rendement fromager en %

### Principe

Le rendement fromager ou le rendement de la transformation du lait en fromage présente un grand intérêt en industrie fromagère car il reflète globalement comment a été réalisée la répartition quantitative des constituants du lait lors de l'égouttage. Il nécessite un taux élevé en extrait sec et plus précisément en protéines (caséine) et des concentrations élevées en matière grasse (Naoani, 2009). Elle s'obtient selon la formule ci-dessous (Vignola, 2002) :

$$R\% = \frac{Fg}{L + I} \times 100$$

Avec :

**R**: signifie le rendement fromager en %.

**Fg** : signifie le poids du fromage obtenu en kilogrammes.

**L**: signifie le poids du lait en kilogrammes.

**I**: signifie le poids des ferments et de présure

### Mode opératoire

Après la coagulation complète du lait, le caillé est mis à égoutter dans des papiers filtre, afin d'éliminer le lactosérum (**Figure 13**).

Le caillé obtenu est mis dans un papier aluminium puis pesé à l'aide d'une balance de précision.



**Figure 13:** Filtration du caillé obtenu.

## 9. Rendement fromager en ES

### Mode opératoire

Une capsule vide est pesée et sa masse sera notée ( $m_0$ ). Dans cette capsule, 5g de fromage sont ajoutés sa masse est notée ( $m_1$ ). Le tout est porté dans un four pasteur chauffée à 103°C pendant 3 h. Après refroidissement, la capsule est pesée, sa masse est notée ( $m_2$ ).

### Expression des résultats et mode de calcul

Le résultat est calculé selon la formule :

$$C = \frac{m_2 - m_0}{m_1} \times 100$$

# **Chapitre II :**

# **Résultats et**

# **Discussion**

### 1. Les résultats des analyses physico-chimiques

Le tableau ci-dessous représente les résultats des analyses physico-chimiques du lait reconstitué mesurés par un Lactoscan:

**Tableau 4:** Résultats des analyses physico-chimiques du lait reconstitué en (%).

Les paramètres physico-chimiques	Valeur obtenue du lait reconstitué (%)
F : Matière grasse	1,12
D : Densité (pas d'unité)	1032.88
S : Matière sèche	11,99
P : Protéine	3,41
C : Taux de cendre	5,76
T : Température °C	33°C
PH: Potentiel Hydrogène (pas d'unité)	6,70
FP : Point de congélation °C	-0,544
S : Taux de salinité	0,67
L : Lactose	4,72

### 2. Dosages enzymatiques et suivi des temps de coagulation

#### La 1<sup>ère</sup> série (Enzyme extrait de poulet)

**Tableau 5:** Temps de coagulation pour l'enzyme extraite de poulet.

Doses de l'enzyme en ml	Temps de floculation	Temps de prise	Temps de coagulation
0,5	15à18 min	31à35 min	47à52 min
0,75	13à16 min	27à33 min	40à44 min
1	11à13 min	25à28 min	35à38 min

**La 2<sup>ème</sup> série (Présure commerciale)****Tableau 6:** Temps de coagulation pour la présure commerciale.

Doses de l'enzyme en ml	Temps de Flocculation	Temps de prise	Temps de coagulation
0,5	10à14 min	21à28 min	32à43 min
0,75	7.5à12 min	15à25 min	23à37 min
1	6à9 min	13à18 min	19à28 min

**La 3<sup>ème</sup> série (Enzyme extraite de figuier)****Tableau 7:** Temps de coagulation pour l'enzyme extraite de figuier.

Doses de l'enzyme en ml	Temps de Flocculation	Temps de prise	Temps de coagulation
0,5	30à33.5 min	61à65 min	89à94 min
0,75	26.5à29 min	54à58 min	78à83min
1	23à25min	48à51 min	72à78 min

**La 4<sup>ème</sup> série (Enzyme extraite d'artichaut)****Tableau 8:** Temps de coagulation pour l'enzyme extraite d'artichaut.

Doses de l'enzyme en ml	Temps de Flocculation	Temps de prise	Temps de coagulation
0,5	21à24.5 min	39à45 min	64à68 min
0,75	17.5à20 min	36à42 min	56à61 min
1	16à18min	34à37 min	50à55 min

**3. Détermination de l'activité coagulante****Tableau 9:** Unité d'Activité Coagulante « U.A.C » pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.

Doses de l'enzyme en ml	Unité d'Activité Coagulante
0,5	1,1 U.A.C
0,75	0,85 U.A.C
1	0,75 U.A.C

**Tableau 10:** Unité d'Activité Coagulante « U.A.C » pour les différentes doses de présure commerciale.

Doses de l'enzyme en ml	Unité d'Activité Coagulante
0,5	1,7 U.A.C
0,75	1,48 U.A.C
1	1,38 U.A.C

**Tableau 11:** Unité d'activité Coagulante « U.A.C » pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.

Doses de l'enzyme en ml	Unité d'Activité Coagulante
0,5	0,55 U.A.C
0,75	0,42 U.A.C
1	0,36 U.A.C

**Tableau 12:** Unité d'activité Coagulante « U.A.C » pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.

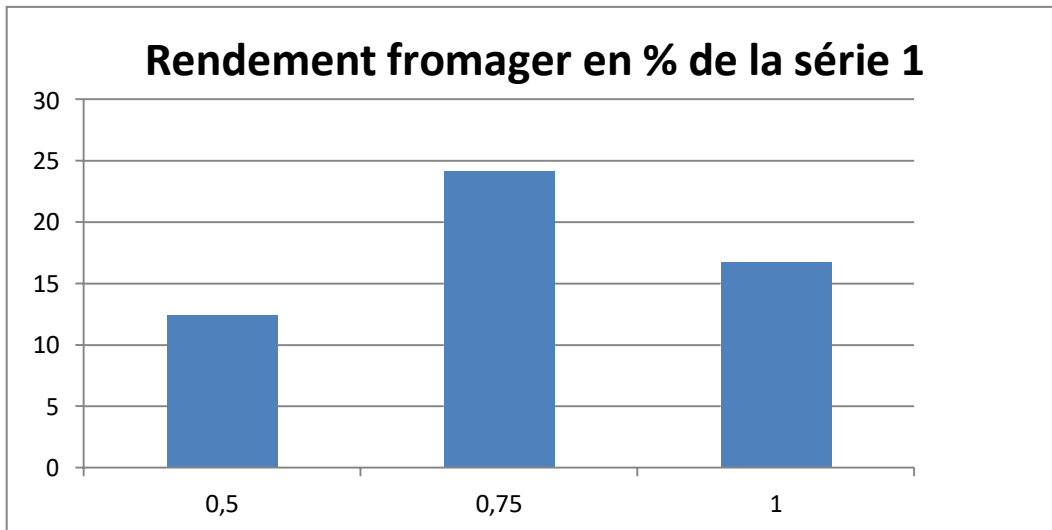
Doses de l'enzyme en ml	Unité d'Activité Coagulante
0,5	0,8 U.A.C
0,75	0,63 U.A.C
1	0,52 .A.C

#### 4. Rendement fromager en %

**Tableau 13:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.

Doses de l'enzyme en ml	Rendement fromager en %
0,5	12,4
0,75	24,17
1	16,70

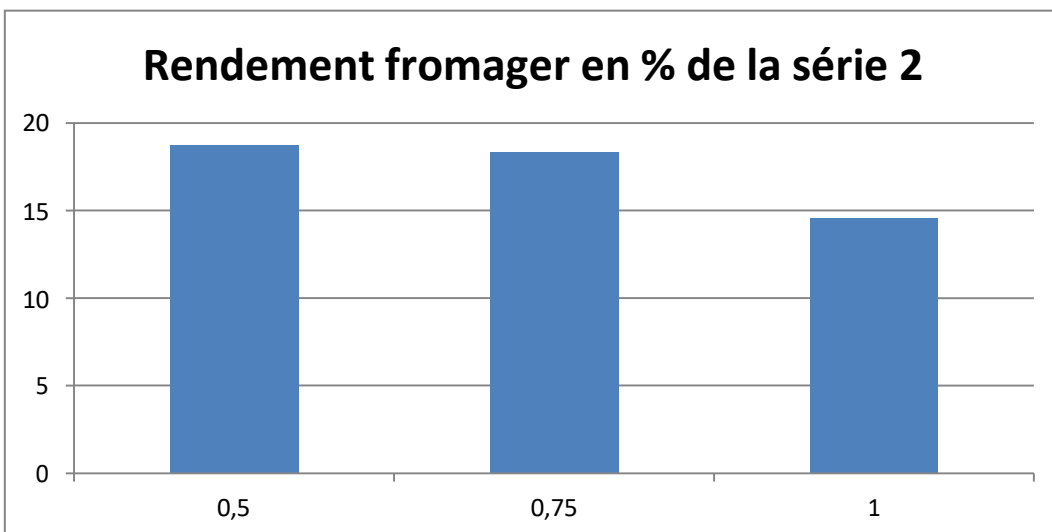




**Figure 14:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.

**Tableau 14:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de présure commerciale.

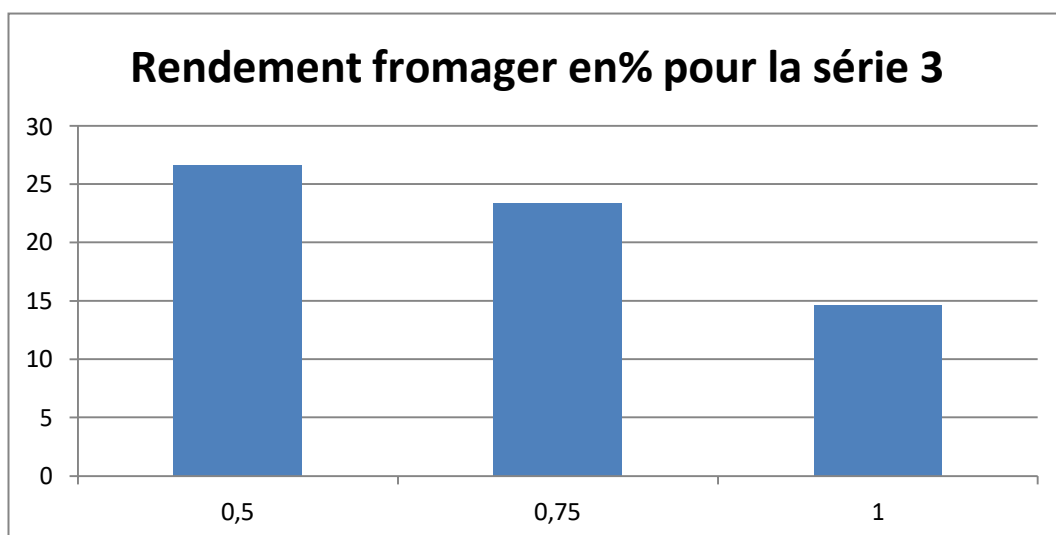
La dose de l'enzyme en ml	Rendement fromager en %
0,5	18,73
0,75	18,34
1	14,56



**Figure 15:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de présure commerciale.

**Tableau 15:** Rendement fromager en% pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.

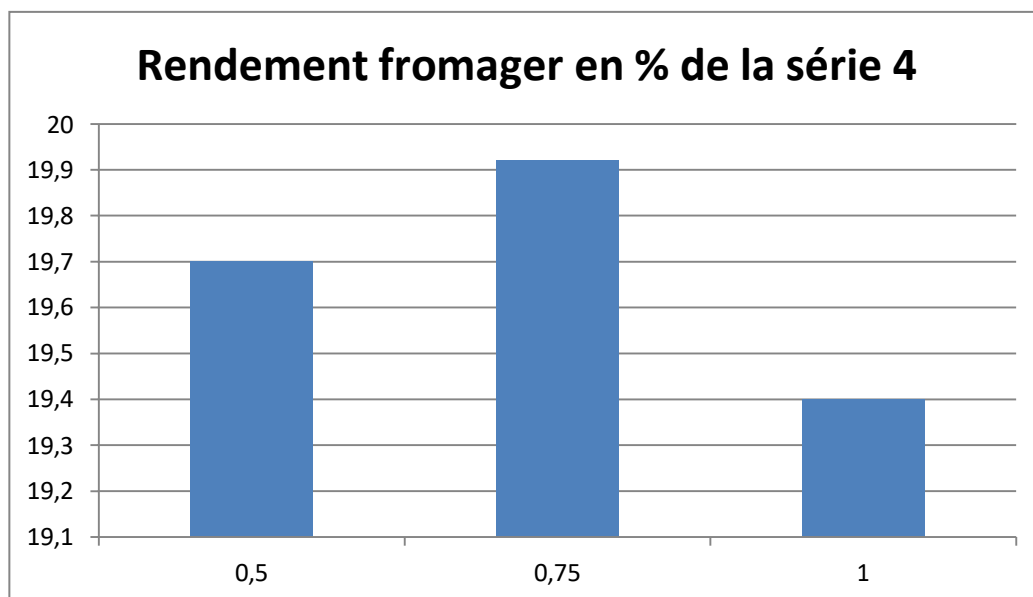
Doses de l'enzyme en ml	Rendement fromager %
0,5	26,59
0,75	23,3
1	14,6



**Figure 16:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.

**Tableau 16:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.

Doses de l'enzyme en ml	Rendement fromager en %
0,5	19,7
0,75	19,92
1	19,4

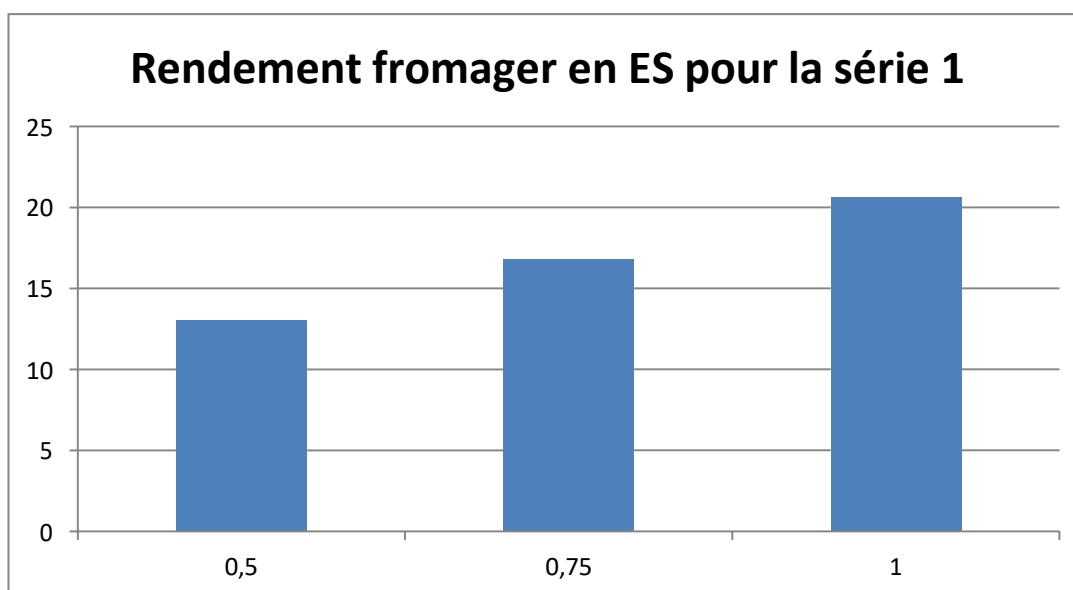


**Figure 17:** Rendement fromager en % pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.

## 5. Rendement fromager en ES

**Tableau 17:** Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.

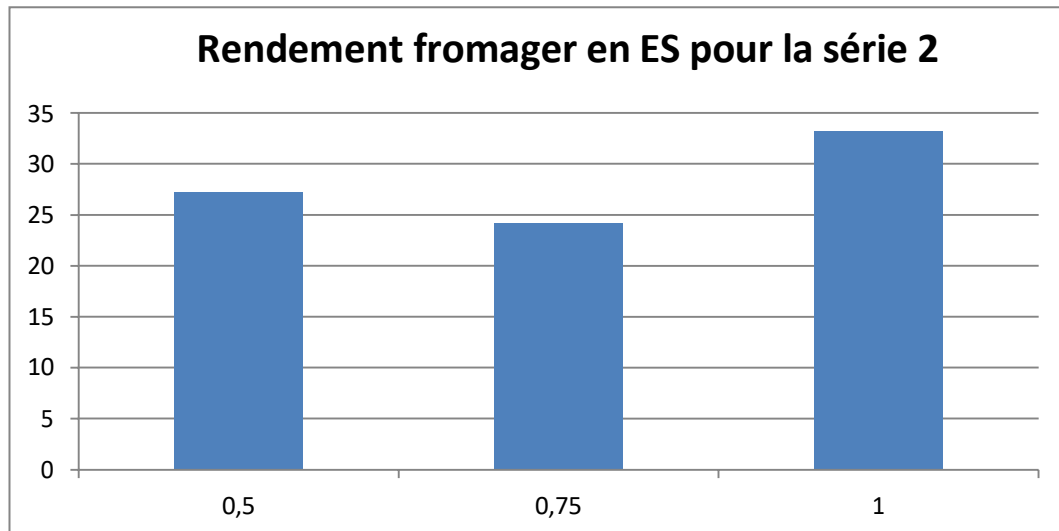
Doses de l'enzyme en ml	Extrait sec total
0,5	13,07
0,75	16,80
1	20,67



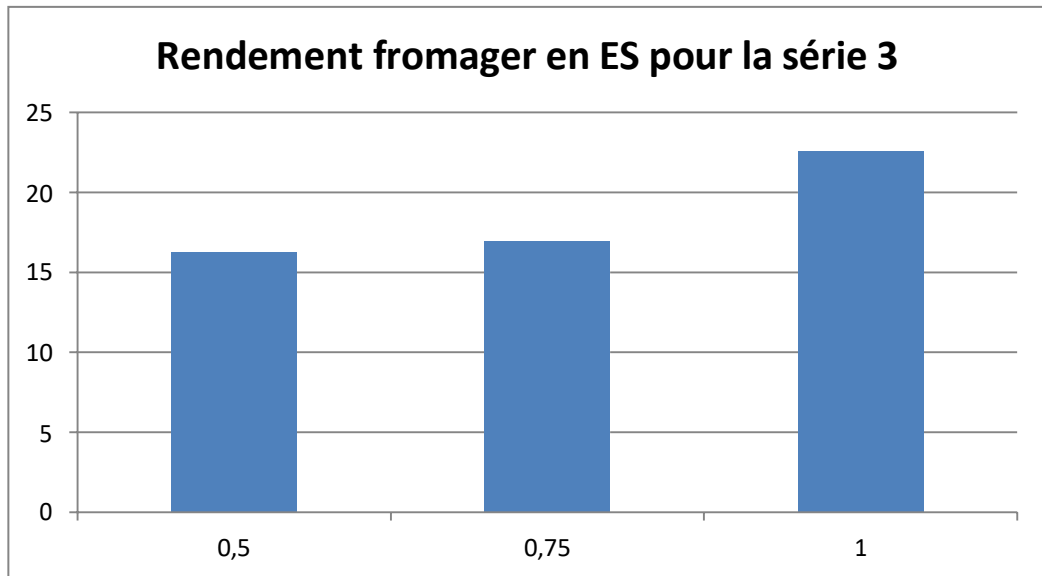
**Figure 18:** Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet.

**Tableau 18:** Extrait sec total pour les différentes doses de présure commerciale.

Doses de l'enzyme en ml	Extrait sec total
0,5	27,20
0,75	24,20
1	33,21

**Figure 19:** Extrait sec total pour les différentes doses de présure commerciale.**Tableau 19:** Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.

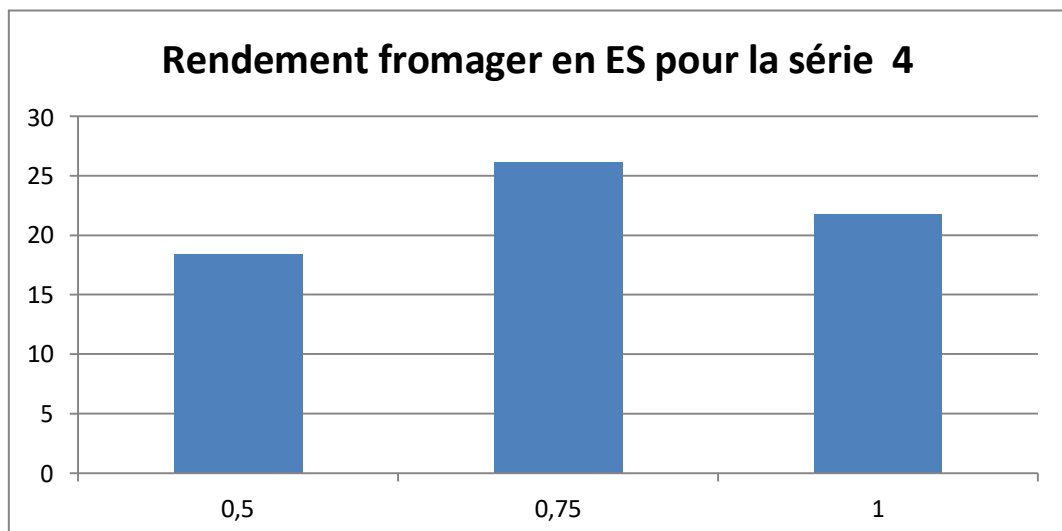
Doses de l'enzyme en ml	Extrait sec total
0.5	16.25
0.75	16.96
1	22.61



**Figure 20:** Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier.

**Tableau 20:** Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.

Doses de l'enzyme en ml	Extrait sec total
0,5	18,40
0,75	26,14
1	21,73



**Figure 21:** Extrait sec total pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut.

## 1. Les analyses physico-chimiques

L'aptitude du lait à la transformation s'apprécie à partir d'une qualité du lait pour une affectation technologique appropriée (Cauty et Perreau. 2009, Cremona. 2003 ; Jakob et Hänni, 2004).

L'intérêt nutritionnel du lait réside dans sa richesse en nutriments de base (protides, lipides et glucides) mais aussi en matière minérale.

Il paraît évident que l'analyse des laits avant leur transformation et leur caractérisation sur le plan physico-chimique peuvent aider à mieux orienter les technologues sur les possibilités de leur exploitation industrielle et leur valorisation efficace (Dahou *et al.*, 2017).

La qualité physico-chimique des laits a été évaluée et les résultats sont portés sur le tableau 4. Avec une teneur en masse protéique de 3,41%, une matière grasse de 1,12% et un taux de lactose de 4,72%. Ces résultats sont conformes aux normes de la F.I.L., de la FAO et du JORA.

## 2. Dosages enzymatiques et suivi du temps de coagulation

La coagulation enzymatique d'un lait est la première étape de la fabrication d'un fromage qui peut être considérée comme le résultat d'un processus dans lequel la caséine est concentrée après élimination du lactosérum (Mahaut *et al.*, 2000).

Pour le fromager, un lait de qualité joue un rôle important pour une bonne aptitude coagulante, assurer une cinétique adéquate de la floculation à la prise du lait, éviter les déperditions des protéines solubles après exsudation du lactosérum et la formation d'un gel ferme (Larbaletrier, 2015).

Nous avons opté pour différents dosages des enzymes extraites de diverses origines pour des essais expérimentaux dans le but d'obtenir un temps de floculation conforme à une bonne coagulation compris entre 8 et 15 minutes comme décrit par Tanaka *et al.*, (2001).

Dans ce sens, les résultats des tableaux (5, 6, 7,8) montrent que l'extrait de la pepsine de poulet donne un temps moyen de floculation de 13 min, un temps moyen de prise de 27 min et un temps de coagulation 40 min pour la dose de 0,75 ml de l'enzyme. L'extrait de figuier donne un temps de floculation 26 min, un temps moyen de prise de 54 min et temps de coagulation de 78 min pour la dose 0,75 ml de l'enzyme. Concernant l'enzyme extraite de l'artichaut cette dernière donne un temps moyen de floculation de 17 min, un temps moyen de prise de 36 min et un temps moyen de coagulation de 56 min pour la dose de 0,75 ml de l'enzyme.

En comparaison, la solution de présure commerciale à 0,75 ml a donné un temps de floculation moyen de 12 min, un temps de prise de 25 min et un temps moyen de coagulation de 37 min.

Après ces résultats, nous avons remarqué que le temps de coagulation du lait reconstitué avec l'enzyme extraite de poulet (40 min) est conforme aux normes technologiques avec un caillé ferme et homogène. Ce constat est établi en comparaison à la présure commerciale (37min) et à l'enzyme extraite d'origine végétale qui a un temps de coagulation assez important.

Il existe une règle approximative de proportionnalité entre la dose de présure et l'inverse du temps de floculation : Plus la dose est forte plus le temps est court.

### 3. Détermination de l'activité coagulante

L'unité de l'activité coagulante (U.A.C) qui représente la quantité d'enzyme contenue dans 1 ml de la solution enzymatique pour coaguler 10 ml de lait en 100 secondes à 30°C; est de 0,75 unité /ml pour l'extrait de pepsine de poulet, est de 0,36 unité/ml pour l'extrait de figuier, est de 0,52 unité/ml pour l'extrait d'artichaut, et de 1,38 unité /ml pour la solution mère de présure commerciale (1ml).

On observe que l'enzyme d'origine animale a une activité coagulante (0,75 unité/ml) plus élevée que les enzymes d'origine végétale respectivement 0,36 et 0,52 unité/ml.

Après les résultats obtenus dans les tableaux (9, 10, 11,12), nous concluons que L'unité d'activité coagulante a une relation avec le temps de floculation; l'unité d'activité coagulante est réduite chaque fois que le temps de floculation est bas.

En augmentant la dose de l'enzyme coagulante on aura tendance à réduire le temps de coagulation ainsi que l'unité de l'activité coagulante. Ce constat a été déjà confirmé par **Talantikite en 2015**.

### 4. Rendement fromager en%

Le rendement est la quantité de fromage obtenu à partir d'une quantité indiquée de lait. C'est le paramètre le plus important du point de vue économique dans l'industrie laitière (**Huppertz et al.,2006; Bittante et al., 2013**). Il reflète aussi le bon déroulement des conditions de fabrication.

Les résultats illustrés dans les tableaux (13,14,15,16), montrent que les rendements obtenus pour les essais réalisés varient de 14,56 à 18,73% pour les différentes doses de la présure commerciale, de 12,4 à 24,17% pour les différentes doses de l'enzyme extraite de poulet, de 14,6 à 26,59% pour les différentes doses de l'enzyme extraite de figuier, et de 19,4 à 19,92% pour les différentes doses de l'enzyme extraite d'artichaut. Pour les caillés fromagers obtenus soit d'une coagulation par un extrait enzymatique d'origine végétal ou de celle réalisée par l'extrait animal ont donné satisfaction. Les valeurs obtenues sont satisfaisantes et sont proches de ceux rapportées par d'autres auteurs à savoir **Boudjenah-Haroun (2012)** (avec une valeur de 24%) et **Kouniba et al., (2007)** (avec une valeur de 23.8%).

La variabilité des valeurs du R% entre les différents échantillons de fromage étudiés peut être attribuée à la composition du lait utilisé. En effet, le R% dépend de la teneur en protéines et en matière grasse du lait (**Bensmail *et al.*, 2013**).

Selon **Bensmail *et al.*, (2013)**, les faibles R% résultent des pertes de protéines et de la matière grasse suite à l'activité protéolytique de l'extrait enzymatique. Les résultats rapportés par **Colin *et al.*, (1992)** montrent que 77% des variations du rendement fromager frais sont expliqués par les taux protéiques et du taux butyreux. Ces derniers constituent des critères pertinents de la détermination du R%. **Ricordeau *et al.*, (1967)** et **Portmann *et al.*, (1968)** ont rapporté des résultats similaires.

## 5. Rendement fromager en ES

Nous avons enregistré des valeurs dans les échantillons des caillés fromagers préparés à partir de différentes doses d'extraits d'enzyme et qui sont représentés dans les figures (17, 18, 19,20). Ces résultats montrent des valeurs comprises entre 24,20 à 33% pour les essais réalisés avec des doses différentes de la présure commerciale, de 16,25 à 22,61% pour les différentes doses utilisées pour l'enzyme extraite de poulet, de 13,07 à 20,67% pour les différentes doses utilisées pour l'enzyme extraite de figuier, et de 18,40 à 26,14% pour les différentes doses utilisées pour l'enzyme extraite d'artichaut.

Les valeurs du rendement en ES des enzymes extraites soit d'origine animale ou d'origine végétale pour les doses respectives de 0,5 et 0,75 ml sont en dessous des normes technologiques et pour la dose de 1 ml les rendements en ES sont conformes à la norme soit tenant compte des normes FAO du codex alimentaires et de la FIL, 2018.



# Conclusion

## Conclusion

---

Dans la préparation de notre mémoire, nous avons fait des essais expérimentaux pour la coagulation des laits avec diverses enzymes locales d'origine animale et d'origine végétale en vue de substituer la présure commerciale importée. Cette mémoire nous a permis de compléter nos connaissances théoriques et pratiques dans le domaine de la technologie de la transformation fromagère.

À travers cette étude, nous avons tenté d'apporter une contribution à la possibilité de substituer la présure par des extraits d'enzymes coagulantes à partir de pro-ventricule de poulet, de figuier et d'artichaut et de tester la répétition dans le temps des tests d'aptitude fromagère en utilisant pour la coagulation un lait reconstitué de qualité fromagère contrôlée.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, notre démarche a comporté deux étapes. En premier lieu, le contrôle des paramètres physicochimiques du lait reconstitué fromager, En second lieu, des caillés fromagers ont été élaborés en utilisant des extraits d'enzymes d'origine animale et d'origine végétale comme coagulant, afin de tester la possibilité de leur utilisation comme succédané de la présure commerciale.

L'ensemble des résultats auxquels a abouti notre étude constitue une première évaluation de la caractérisation des étapes de la coagulation lors de la substitution de la présure par des enzymes extraites d'origine animale et végétale.

Le lait reconstitué engagé dans la transformation fromagère est de bonne qualité physico-chimique. Les paramètres de fromageabilité du lait sont généralement compris sur des intervalles proches des normes internationales retenues pour ce produit.

L'activité coagulante sur le lait reconstitué des trois enzymes extraites en comparaison avec la présure commerciale a montré quelques différences. En effet, unité d'activité coagulante de l'extrait de poulet est 0,85 U.A.C pour un temps de floculation de 13 min, de l'extrait de figuier 0,42 U.A.C pour un temps de floculation de 26min, de l'extrait d'artichaut 0,63 U.A.C pour un temps de floculation 17min. Cette appréciation a été faite en comparaison avec la présure commerciale qui donne 1,48 U.A.C pour un temps de floculation 12min. Nous avons remarqué que le lait reconstitué se coagule rapidement avec la présure commerciale et l'enzyme animale extraite du poulet tandis que les enzymes d'origine végétale prennent beaucoup de temps pour assurer une floculation du lait.

Les résultats ne décèlent aucun inconvénient à substituer la présure commerciale par les enzymes extraites de pro-ventricule de poulet, de figuier et d'artichaut lors de la phase de la coagulation enzymatique. Au contraire nous avons remarqué des aptitudes avantageuses à la coagulation qui seront adaptées avec la maîtrise des temps technologiques (de la floculation à la prise totale du coagulum).

Pour conclure, nous pouvons dire que les résultats obtenus semblent intéressants d'autant qu'ils montrent la possibilité d'obtention des extraits enzymatiques capables de remplacer la présure commerciale dans l'industrie fromagère en adaptant ces essais expérimentaux à grande échelle semi-industrielle et industrielle. Surtout que ces extraits enzymatiques sont obtenus à partir de matières premières locales disponibles et inexploitées.

## Conclusion

---

En perspectives, il serait intéressant d'apporter à ce présent travail d'autres recherches plus complémentaires, notamment par:

- ❖ La détermination du type de la technologie fromagère à adapter pour ces enzymes.
- ❖ L'étude des paramètres influençant l'activité de l'enzyme afin d'améliorer la qualité et le rendement fromager.
- ❖ L'utilisation des enzymes extraites soit d'origine animale ou végétale à grande échelle en technologie fromagère et mener une étude comparative sur la qualité des produits finis
- ❖ L'établissement d'une étude de faisabilité technico-économique de l'extraction de ces enzymes coagulantes à valoriser en fromagerie.

# **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

---

1. **Abi-Azar R. (2007)** : Complication des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier: propriétés technologiques des coagulums obtenus [Thèse de Doctorat]: Ecole doctorale ABIÉS. 196 p.
2. **Aissaoui-Zitoun O. (2014)**. Fabrication et caractérisation d'un fromage traditionnel algérien « Bouhezza » [Thèse de doctorat]: Université Mentouri de Constantine. 196 p.
3. **Alais C (1974)**. Science du lait principes des techniques laitières. 3ème édition 807P.
4. **Alais. C. (1984)**. Sciences du lait, principes des techniques laitiers, volume11, 4ème édition, Paris: SEPAIC, 814p.
5. **Alais. C. (1984)**. Sciences du lait, principes des techniques laitiers, volume10, 3ème édition,
6. **Alais.C. (1984)**. Science du lait .Edition Sepaic. Paris .814P
7. **Azarkan, M., Matagne, A., Wattiez, R., Bolle, L., Vandenameele, J and Baeyens-Volant .D (2011)**. Selective and reversible thiol-pegylation, an effective approach for purification and characterization of five fully active ficin (iso) forms from Ficus carica latex. *Phytochemistry*72:1718-1731.
8. **Bendimerad N. 2013**. Caractérisation phénotypique technologique et moléculaire d'isolats de bactéries lactiques de laits crus recueillis dans les régions de l'Ouest Algérien. Essai de fabrication de fromage frais type «Jben.» [Thèse de Doctorat]: Aboubekr Belkaid de Tlemcen 255p.
9. **Bengana M.(2001)**;Caractérisation des enzymes protéolytiques (Pepsine/chymosine) isolées à partir des caillottes de bovins adultes. Thèse Magister, Sciences alimentaires, I.N.A., El-Harrach.
10. **Berridge N.J. (1955)** Purification and assay of rennin. *Methods in enzymology*. Ed. Perlmann G.E. and Loran Acad. Press Inc., New York. Vol. 2. 69-77
11. **Bohak Z (1969)**.Purification and characterization of chicken pepsinogen and chicken pepsin, *The journal of Biological chemistry* Vol. 244, N° 17 Sept 1969 PP 4638-4648.
12. **Bouyoucef Y, Taouzinet A and Bel Hamiche NE (2016)**: Obtention et caractérisation d'une protéase coagulante de *Penicillium* sp.
13. **Brulé G, Lenoir J, Remeuf F.1997**. La micelle de caséine et la coagulation du lait. In: *Les agents de transformation du lait. Le fromage*. Eck A and Gillis J C. Edition Tec et Doc Lavoisier. Paris: 7-41.
14. **Brule, Lenoir et Ramet (1997)**.Les mécanismes généraux de transformation du lait en fromage, chapitre I, la micelle de caséine et la coagulation du lait. Pp. 7 à 39. Dans *le fromage*. Coord. ECK A., et GILLIS J.C. 3ème édition Tec et Doc. Lavoisier. 875p
15. **Chamba J. F. et Irlinger F. (2004)**.Secondary and adjunct cultures. In *Cheese, Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 1 General Aspects, P. F. Fox, P. McSweeney, T.M. Cogan, and T. P. Guinee, 191-206p. London, UK : Elsevier Academic Press Inc.
16. **Choisy C, Desmazeaud M J, Gripon J C, Lambert G, Lenoir J. (1997)**. La biochimie de l'affinage In: *Le fromage*. 3ème édition. Edition Tec et Doc Lavoisier: 86-153.

## Références Bibliographiques

---

17. **Codex Alimentaire (codex Stan 283-1978.Amendé en 26).**Norme générale codex pour le fromage-méthode d'échantillonnage d'analyse.
18. **Cuvellier G.F (1993).** Production des enzymes in Biotechnologie. Coord Scriban R. 4ème édition Tec&Doc, Lavoisier. 948 p.
19. **Cuvellier G. F. (1999).** Production des enzymes In : Biotechnologie, Ed., Scriban R. (coordonnateur), 4ème édition, Lavoisier Tec et Doc, 904 p
20. **Dahou. A, Medjahed. M, Aissaoui. C, Homrani. A. (2021).** Approche préliminaire sur la fromageabilité des laits collectés au niveau d'une fromagerie industrielle. Revue Algérienne des Sciences/ <http://univ-eltarf.dz/fr/> ISSN : 2661-7064.Volume 6, Issue 1 : 34-39, Janvier 2021.
21. **Dahou .A, Bekada .A, Homrani. A, Latreche. B and Ait Saada. D. (2017).** Effect of processing technology on the biodiversity of the bacterial flora of an industrial cheese camembert soft type. *ADVANCES IN BIORESEARCH*. Vol. 8 [6] 2017.Online ISSN 2277-1573 Print ISSN 0976-4585
22. **Devaraj KB, Kumar PR and Prakash V (2008)** Purification, characterization, and solvent-induced thermal stabilization of ficin from *Ficus carica*.*Journal of agricultural and food chemistry*56:11417-11423.
23. **Eck (1987).**Le fromage. Edition. Tec et Doc Lavoisier. Paris.539p.
24. **Eck, Gillis.(1997);**Le fromage de la science à l'assurance qualité. 3<sup>ème</sup> Ed
25. **Eck A, Gillis JC. 1997.** Les agents de transformation du lait. Le fromage. 3<sup>ème</sup> éd: Edition Tec et Doc Lavoisier. Paris. 189 p.
26. **ECK., (1990).** Le Fromage 3eme Edition, Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris.
27. **Eck A et Gillis J.C. 2006.** Le fromage. 3eme édition : Tec et Doc, Lavoisier. Paris. 891p.
28. **Eck, Gillis. (1997);**Le fromage de la science à l'assurance qualité. 3<sup>ème</sup> Ed.
29. **FAO/OMS., 1999.** Norme générale pour le fromage. CODEX STAN A-6-1978, Rev.1-1999, 6 Pages.
30. **Florian R (2012).**Le lait et sa coagulation ( image en ligne ), disponible à l'adresse:<https://www.youlab.fr/blog/ressources-scientifiques-bibliographie/le-lait-et-sa-coagulation/>.
31. **Fox P. (1969):** Milk clotting and proteolytique activate of bovine, pepsine and porcine. *J. Dairy. Research*. Vol: 36. P 427-433.
32. **Fox P.F., Singh T.K. et Mc Sweenely P.L.H. (1994).**Proteolysis in cheese during ripening. 1-32 p.
33. **Fox P, Kelly A. 2006.**Indigenous enzymes in milk: Overview and historical aspects— Part 1. *International Dairy Journal* 16(6):500-516.
34. **Goursaud J. (1992)** Réacteurs traditionnels à enzymes libres: cas de l'industrie laitière. In *Bio technologie*. Coord. Scriban R. 4ème Ed. 391-419.
35. **Harboe, M., Broe, M. L., & Qvist, K. B., (2010).**The production, action and application of rennet and coagulants. *Technology of cheese making*,2.
36. **Herbert S. A., Riaublanc B., Bouchet D., Gallant J., and Dufour E., 1999:** Fluorescence spectroscopy investigation of acid or rennet-induced coagulation of milk. *J Dairy Sci* 82:2056 –2062 .

## Références Bibliographiques

---

37. **Irlinger. F, Mounier J. 2009.** Microbial interactions in cheese: implications for cheesequality and safety. *Current Opinion in Biotechnology* 20(2):142-148.
38. **Irlinger. F., Mounier J. 2009.** Microbial interactions in cheese: implications for cheesequality and safety. *Current Opinion in Biotechnology* 20(2):142-148.
39. **Jeantet, Croguennec., Schuck et Brule. (2006).** Science des aliments. Volume 2, Technologies des produits alimentaires, Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 4055, 456p
40. **Katsaros. G, Katapodis P and Taoukis P (2009)** High hydrostatic pressure inactivation kinetics of the plant proteases ficin and papain. *Journal of Food Engineering*91:42-48.
41. **Kayagama, T., and Takahachi, K. (1976)** Pipsinogène and pepsinfromgastricmucosa of japenesemonkey *J.Biochem.*,79: 455-468.
42. **Law. BA, Tamime AY. 2010.** Technology of cheese making. seconde, editor: JohnWiley& Sons. London, UK.
43. **Libouga. D, Vercaigne-Marko. D, Djangal SL, Choukambou I, Ebangi A, Ombiony M, Beka R, Aboubaka T and Guillochon D (2006)** Mise en évidence d'un agent coagulant utilisable en fromagerie dans les fruits de *Balanites aegyptiaca*. *Tropicult* 24:229-238.
44. **Li J and Dalglish D (2006)** Mixed coagulation of milk–gel formation and mechanism. *J Agric Food Chem* 54:4687-4695.
45. **Linden, 1991.** Les enzymes, le lait matière première de l'industrie laitière, volume 14, 1ère édition, p127.
46. **Lucey J (2002)** CHEESE| Rennet Coagulation of Milk.
47. **Mahaut M.,JeantetR. Et Brulé. G (2000).** Initiation à la technologie fromagère. Ed.Tec et Doc, Lavoisier, Paris 194 p.
48. **Mawa S, Husain K and Jantan I (2013)** *Ficus carica* L. (Moraceae): phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*2013.
49. **McSweeney P L H, Fox P F. 2004.** Metabolism of residual lactose and of lactate and citrate, general aspect In: *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology*. Fox P F, Mcsweeney. P L H, Cogan T M, Guine, T P. Third edition, Vol 1. Edition Elsevier London, England: 361-372.
50. **Mietton B., 1995 :** La typologie des fromages, Symposium organisé par la fondation des Gouverneurs et le centre de recherche et de développement sur les aliments d'agricultures et Agroalimentaire Canada, octobre, 245p.
51. **Mietton B. 1991.**Transformation du lait en fromage :deRossart H et Luquet F.M (Coord) les bacteries lactiques (vol .II ) Ed Lorica . uriage .FR . pp -55-133.
52. **Morsli A ; (1997) ;** Recherche sur les activités protéiniques des extraits de *cynarascolymus*, du latex de *ficus carica* et du proventricule de *Gallus gallus* en vue de leur utilisation en technologie fromagère .Thèse magister. I.N.A. El harrach: Alger (Algérie).
53. **Nicotra G, Vicentini S and Mazzolari A (2010)** Research and development of a dryextract.*Nutrafoods*9:27-30
54. **Noor-Develiet P.E., Gist-Brocades N.N. Et Delft N.C.D., (1983).** Les Enzymes Alimentaires : Utilisation et Innocuité. *Microbiol. Alim. Nut.*, 1 : 15.

## Références Bibliographiques

---

55. **Nouani A., Dako E., Morsli A., Belhamiche N., Belbraouet S., Bellal M.M., Dadie A. 2009.**Characterization of the purified coagulant extracts derived from artichoke flowers (*Cynarascolumus*) and from the figtree latex (*Ficus carica*) in light of their use in the manufacture of traditional cheeses in Algeria. *J. Food Technol.* 7(1): 20-29.
56. **Nouari Leila et BouzianiIbtissem., 2018.**Essai de fabrication d'un fromage type camembert à l'unité de Wanis, mémoire de master, chapitre 2, p19-20
57. **Öner M and Akar B (1993).** Separation of the proteolytic enzymes from figtreelatexanditsutilization in Gaziantep cheese production. *LWT-Food Science and Technology*26:318-321.
58. **Othman SMHMM. 2011.** Effect of technological treatments on the quality of traditional cheeses [Doctorat thesis]: Fayoum University. 181 p.
59. **Parente E. et Cogan T. M. 2004.** Starter cultures: general aspects. In : Fox, P. F., McSweeney P. L. H., Cogan T.M. et Guinee, T. P. (Eds.), *Cheese : Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. I. Chapman and Hall, London, 123-148p.
60. **Parente E. et Cogan T. M. 2004.** Starter cultures: general aspects. In *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, pp. 123-148. Edited by P. F. Fox, P. L. H. Mc Sweeney, T.M. Cogan& T. P. Guinee. London: Elsevier.
61. **Pradal M., (2012).** La transformation fromagère caprine fermière. Lavoisier, Paris, 289p.
62. **Ramet J. 1985.** La fromagerie et les variétés de fromages du bassin méditerranéen. Ed. Etude FAO. Production et santé animale, Roma (Italia). 187 p.
63. **Ramet J., (1997).**L'égouttage du coagulum. in: Eck A Gillis J.LE Fromage.3<sup>ème</sup> édition, Lavoisier, paris, p42-61.
64. **Ramet, J.P., (1997),** Les agents de transformation du lait; la présure et les enzymes coagulantes In: Le fromage. Ed., A. Eck, 3<sup>ème</sup> ed., Technique et documentation Lavoisier, p.101-107, 539p.
65. **Schamsuzzaman K. et Haard N.D., (1985)** Milk clotting and cheese making properties of a chymosine like enzyme from harpsealmucosa. In: *Biotechnologie.* Coord. Scriban R., Ed. Tec. et doc. Lavoisier. 4<sup>ème</sup> Ed. 355-356.
66. **Schmidt D (1982)** Association of caseins and casein micelle structure. *Developments in dairy chemistry.*
67. **Sepulvida, P., Marcinişum, J., Ianelui, J.R., TANG, DJ.(1975):** Primary structure of porcine pepsine III-Amino acids equence of a cyanogenbromide fragment, CB2A and the complete structure of porcine pepsine .*The journal of biological Chemistry*Vol.250, N°13:5082-5088
68. **Siar H (2014).** Utilisation de la pepsine de poulet et de la ficine du figuier comme agents coagulants du lait. Mémoire de Magister, Université Constantine 1. 17-32 p.
69. **Silva SV, Allmere T, Malcata FX, Andrén A. 2003.** Comparative studies on the gellingproperties of cardosinsextractedfrom *Cynaracardunculus* and chymosin on cow'sskimmilk. *International dairy journal* 13(7):559-564.
70. **Solomon A, Golubowicz S, Yablowicz Z, Grossman S, Bergman M, Gottlieb HE,Altman A, Kerem Z and Flaishman MA (2006)** Anti-oxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.).*Journal of agricultural and food chemistry*54:7717-7723.



## Références Bibliographiques

---

71. **St-Gelais, Tirard-Coller, Bélanger, Couture et Drapeau, (2002).** Fromage. In : Science et technologie du lait : transformation du lait (Vignola C.L.). Presses. Int. Polytechnique. 349-407.
72. **Sullivan, G. A. and C. Calkins (2010).** "Application of exogenous enzymes to beef muscle of high and low-connective tissue." Meat science 85(4): 730-734.
73. **Talantikite-Kellil, S., (2015).**Purification et caractérisation d'une enzyme coagulante d'origine microbienne pour application en fromagerie(Doctoral dissertation).p27.
74. **Veisseyre R. 1975.** Technologie du lait: constitution, récolte, traitement et transformation du lait. . Edition troisième. Maison Rustique.
75. **Veisseyre R., 1979:**Technologie du fromage: 3ème édition. Maison Rustique, 714 p.
76. Broome, M. C., &Hickey, M. W., (1990).Comparison of fermentation produced chymosin and calf rennet in Cheddar cheese. Australian Journal of Dairy Technology, 45(2), 53-59.
77. **Vignola. (2002).** Sciences et technologies du lait, transformation de lait. Ecole Polytechnique de Montréal, 599p.
78. **Vignola, (2002).** Science et Technologie du Lait Transformation du Lait. Edition Presses Internationals Poly technique, Canada. pp. 3-600
79. **Yildiz F. 2010.**Developpement and manufacture of yougurt and other dairy products, CRC Press Taylor &Francis Group, USA, 435p.

### Site internet :

[www.blogs-afrique.info](http://www.blogs-afrique.info).

## Table de matière

### Remerciements

### Dédicaces

Résumé.....	1
ملخص	2
Abstract .....	3
Abréviations, sigles, acronymes et symboles .....	4
Liste des tableaux .....	5
Liste des figures .....	7
Sommaire.....	9
Introduction.....	12

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### Chapitre I : Technologie des fromages

1. Technologie fromagère .....	15
2. Méthodes générale de fabrication du fromage .....	15
Coagulation .....	15
Coagulation par voie enzymatique .....	16
Coagulation par voie acide .....	16
Coagulation par voie mixte .....	17
Egouttage.....	17
Salage .....	17
Affinage.....	18
3. Classification des fromages.....	19
Fromage frais.....	21
Fabrication de fromage frais.....	22
Fromage à pâte molle .....	22
Fromage à pâte molle à croute fleurie.....	23
Fromage à pâte molle à croute lavée.....	23
Fromage à pâte pressé .....	24
Fromage à pâte pressé cuite.....	24
Fromage à pâte pressé non cuite.....	24

## Table des matières

### Chapitre II : Enzymes coagulants en technologie fromagère

1. Enzymes coagulants en technologie fromager .....	26
Présure.....	27
Chymosine.....	27
Pepsine .....	27
Succédanés de présure .....	28
Succédanés de présure d'origine animale .....	28
Pepsine bovine.....	28
Pepsine poulet.....	29
Succédanés de présure d'origine végétale.....	30
Le chardon .....	31
L'artichaut .....	32
La ficine.....	32
Succédanés de présure d'origine microbienne .....	34
D'origine bactérienne.....	34
D'origine fongique.....	34
2. Coagulation du lait.....	35
Coagulation enzymatique du lait .....	35
Mécanisme de la coagulation enzymatique du lait .....	35

## ETUDE EXPERIMENTALE

### Chapitre I : Matériel et Méthodes

1. L'objectif.....	41
2. Lieu de l'étude .....	41
3. Matériel enzymatique.....	41
Collecte des extraits enzymatiques .....	41
Matériels.....	41
4. Préparation des laits fromagers.....	42
Préparation du lait reconstitué .....	42
Conservation du lait .....	43
5. Contrôle physicochimique.....	43
Définition du Lactoscan .....	43
Les laits fromagers.....	45
6. Dosages enzymatiques et suivie des temps de coagulation .....	46
Coagulation et la formation de coagulum .....	46
7. Détermination de l'activité coagulante .....	46
8. Rendement fromager en %.....	48
9. Rendement fromager en ES.....	49

## Table des matières

---

---

### Chapitre II : Résultats et Discussion

1. Les résultats des analyses physicochimiques .....	51
2. Dosages enzymatiques et suivi des temps de coagulation .....	51
3. Détermination de l'activité coagulante .....	52
4. Rendement fromager en %.....	53
5. Rendement fromager en ES.....	56
Conclusion .....	63
Liste des références.....	66