

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université TAHRI MOHAMMED-BECHAR



Faculté sciences de la nature et de la vie
Département de Biologie

Polycopié des cours

Technologie des industries agroalimentaires

Présenté par Dr NAHAL BOUDERBA Nora

Polycopié destiné aux étudiants de troisième année biologie
Option : Technologie alimentaire et control de qualité des aliments

Année universitaire : 2020-2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université TAHRI MOHAMMED-BECHAR



Faculté sciences de la nature et de la vie
Département de Biologie

Polycopié des cours

Technologie des industries agroalimentaires

Présenté par Dr. NAHAL BOUDERBA Nora

Polycopié destiné aux étudiants de troisième année biologie
Option : Technologie alimentaire et control de qualité des aliments

Sommaire

Titre	Page
Introduction générale	01
Chapitre1 : Technologie des céréales	03
Chapitre 2 : La farine panifiable	15
Chapitre 3 : La panification	22
Chapitre 4 : Pâtes alimentaires	36
Chapitre 5 : Technologie des fruits et des légumes	42
Chapitre6 : Technologie du lait et ces dérivés	58
Références bibliographiques	57

Introduction générale

Introduction générale

Les industries agroalimentaires transforment des produits essentiellement d'origine agricole destinée à l'alimentation humaine ou animale. Elles se positionnent de plus en plus comme des intermédiaires obligatoires entre l'agriculteur-producteur agricole et le consommateur final.

Elles se caractérisent par une grande diversité de produits, l'utilisation de technologie avancées pour la transformation et la conservation des produits, et la mise en œuvre de méthodes et procédés visant à établir une sécurité alimentaire toujours plus grande.

Un aliment ; est l'ensemble de substances complexes, le plus souvent d'origine naturelle, ayant subi ou non un traitement technologique et/ou culinaire, conservé avec ou sans traitement particulier, qui va libérer dans l'organisme des nutriments utilisés comme élément de construction et/ou source d'énergie.

L'aliment constitue le lien entre les industries agroalimentaires et les consommateurs ; sa définition nous renseigne sur les enjeux liés à son ingestion.

L'objectif de l'étude de la technologie des industries agro-alimentaires est de permettre aux ingénieurs et aux techniciens supérieurs de s'initier aux problèmes posés par les technologies de transformation, de conservation et de biotransformation des matières agricoles ainsi que tous les secteurs touchant à la notion de l'équilibre nutritionnel de l'homme.

L'ingénieur et le technicien Technologue doit être sensibilisé au cours de sa spécialisation à l'approche générale de la problématique des industries agro-alimentaires sous sa conception nouvelle liée au développement technologique à l'échelle mondiale.

Ce document s'articule autour de six chapitres, le premier chapitre donne la composition biochimique et la technologie des céréales, le deuxième traite un produit qui résulte de la mouture du blé tendre, le troisième et le quatrième chapitre décrivent la panification et la technologie de la préparation de différentes pâtes alimentaires. Le

cinquième chapitre décrit la technologie des fruits et des légumes et à la fin le dernier chapitre traite la technologie du lait et de ces dérivés.

Ce document sera non seulement un support pédagogique pour les étudiants de la troisième année licence spécialité technologie et control de qualité mais il représente aussi un savoir lors des problèmes technique dans les industries agroalimentaire.

Chapitre 01 : Technologie des céréales

Technologie des céréales

Introduction

Le blé constitue la première ressource en alimentation humaine. Un tiers de la population mondiale dépend principalement de sa culture.

Deux espèces de blé sont concernées par les productions actuelles :

- **Le blé tendre (*Triticum aestivum*)**

Les grains sont arrondis, les enveloppes sont épaisses, sans transparence. Ils se prêtent particulièrement bien à la mouture, libérant l'amande et donnant une très forte proportion de son. Les blés tendres permettent d'obtenir une farine de bonne qualité, contenant environ 8 à 10 % de gluten, ayant de bonnes aptitudes pour la panification.

- **Le blé dur (*Triticum durum*)**

Cette catégorie de blé est cultivée dans les pays de climat chaud et sec.

Les grains sont allongés, souvent même pointus, les enveloppes sont assez minces et légèrement translucides. Ils donnent moins de son que les blés tendres et la farine obtenue, bien que contenant plus de gluten (12 à 14 %), se prêtent moins bien à la panification (Kent & Evers, 1994)

I.1. Anatomie de la graine de blé

C'est une plante monocotylédone annuelle de la famille des graminées et du genre *triticum*.

Le grain de blé est composé de trois parties essentielles (l'enveloppe, l'amande farineuse et le germe). Chacune de ces parties est formé de réseaux très complexes qui font encore l'objet de nombreuses recherches.

1.a. L'enveloppe

C'est la pellicule cellulosique qui protège le grain pendant sa formation dans l'épi, au cours de sa conservation et aussi pendant la levée, dans le sol, en limitant l'entrée des moisissures et des bactéries. Toutefois le péricarpe n'est pas étanche et permet le passage de l'air et de l'eau (Lepatre, 1988).

L'enveloppe représente environ 12 à 14% du poids du grain de blé. Elle est formée :

- du péricarpe riche en fibres cellulosiques et sels minéraux.
- d'une assise protéique ou couche à aleurone qui représente la première assise constitutive de l'albumen, riche en protéines, lipides, pentosanes, hémicellulose et minéraux (**JEANTET et al., 2007**).

1.b. L'amande farineuse (ou l'endosperme)

Constitue presque tout l'intérieur du grain (environ 80 à 85% du poids du grain) et se compose principalement de minuscules grains d'amidon. On y trouve l'essentiel des réserves énergétiques qui nourrissent la plantule au moment de la germination.

1.c. Le germe (ou l'embryon)

Comprend deux parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain dans le cas des céréales. Il représente 2% du poids du grain de blé (**Lepatre, 1988 ; Guide pratique, 2000**).

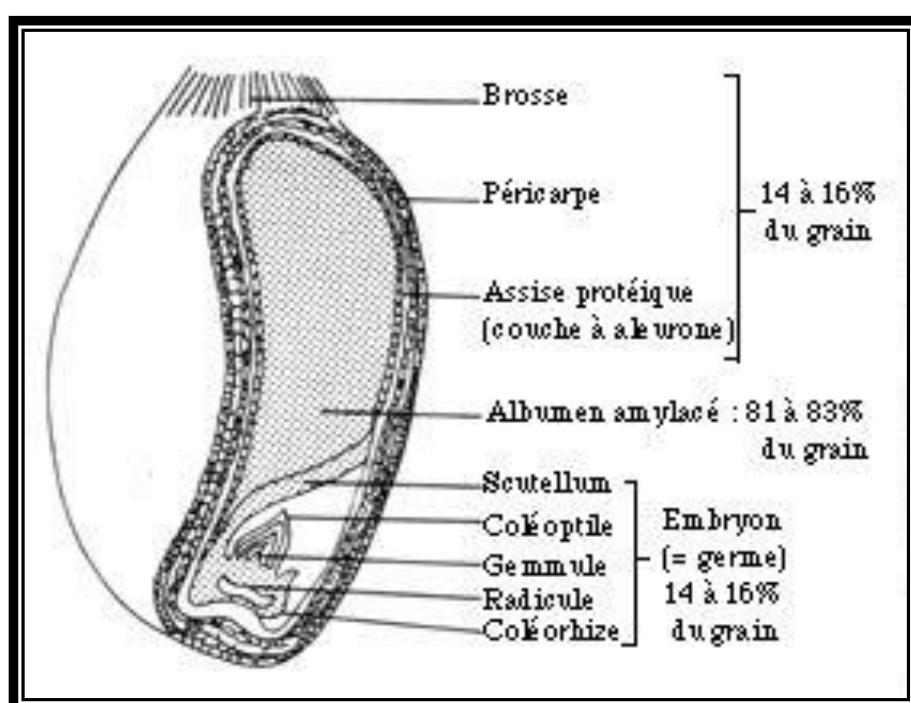


Figure 01 : Coupe schématique d'un grain de blé (**Guide pratique, 2000**).

I.2. Composition chimique du blé

La composition chimique du grain de blé diffère avec la variété et le milieu.

2.a. Les éléments principaux

➤ Les glucides

Les glucides contenus dans les céréales sont essentiellement de nature macromoléculaire

Ils se présentent sous la forme de quelques sucres simples (glucose, fructose, saccharose, etc.) mais surtout de composés plus ou moins complexes. Le plus important est l'amidon qui est la substance énergétique par excellence, facilement digestible.

Les parois cellulaires des céréales sont constituées principalement de cellulose, hémicellulose, pentosane et de lignine. Toutes ces molécules forment dans la paroi une structure à la fois résistante et plastique, rigide et évolutive qui garantit la protection sans compromettre la croissance (**FEILLET, 2000**).

Ils se retrouvent surtout dans les issues de mouture. Le son contient en moyenne 20 % de cellulose, 35 % d'hémicellulose et 5 % de lignine.

➤ Les protides

Elles jouent un rôle important, tant du point de vue alimentaire que pour les différentes technologies de transformation des céréales ; les 3/4 se trouvent dans l'endosperme, le 1/4 qui reste se trouve dans l'embryon et les couches périphériques.

Les protides des céréales sont essentiellement composés de protéines (8 à 12 %). Les principales sont :

- des protéines de réserves insolubles (les plus abondantes) : gliadines et les gluténines. Ces protéines constituent le gluten qui confère au blé ses propriétés panifiables.
- des protéines solubles (présentes en petite quantité) : albumines et globulines ; ils ont un rôle très important dans la rétention gazeuse et le volume du pain (**Bar, 1995**).

➤ Les lipides

Ils sont peu abondants dans les grains sont fortement concentrés dans le germe. Leur teneur se situe autour de 2%. Ces lipides sont riches en Acides gras insaturés (A.linoléique 63%, A.linolinique 4%, A.oléique 15%).

2.b. Eléments secondaires

➤ Les vitamines

Ce sont des composés chimiques complexes, surtout concentrés dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles. Par rapport aux autres constituants. Les grains de blé contiennent surtout des vitamines du groupe B (B1: 0.38UI; B2: 0.25UI); PP5 UI et la vit E traces (**Godon, 1998**).

➤ Matières minérales

Ils représentent 1,5 à 2 % de la masse totale du grain de blé. Leur répartition entre les différentes parties du grain est inégale dont l'amande qui représente entre 80 à 85 % de la masse totale du grain ne contient que 25 % de matières minérales totales alors que le germe (3 % du grain) concentre 10 % des matières minérales totales.

Le blé dur est une source significative en magnésium (Mg), manganèse (Mn), Fe, Zn, cuivre (Cu) et molybdène (Mo). Il est également une source significative en sélénium bio-disponible (Se) à moins qu'il soit développé dans des sols pauvre en Se. La teneur du grain de blé dur en sodium est faible (0,01-0,05mg/g). Considérant que les concentrations typiques des autres macroéléments sont 3,8-5,5 mg/g de potassium (K), 1,8-5,2 de phosphore (P), 1,0-1,5 mg/g de Mg, et 0,32-0,47mg/g de calcium (Ca) (**MERMUT et al., 1996 ; FICCO et al., 2009 ; SPIEGEL et al., 2009**)

➤ Les enzymes

Ce sont aussi des substances complexes présentes en quantité négligeable mais dont le rôle est très important : ils sont responsables des transformations que subissent les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés).

En technologie des céréales les enzymes les plus importants sont-elles qui provoquent la dégradation des protéines (protéases), des lipides (lipase), d'amidon (amylases) et des pigments (lipoxygénases).

2.c. L'eau

Les grains sont naturellement peu hydratés, leur teneur en eau varie avec le taux d'humidité de l'air. L'équilibre se situe entre 13 et 18 %.

Du point de vue chimique et physique, son action solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes lorsque sa teneur dans le grain dépasse le seuil d'équilibre.

2.d. Les pigments

La couleur jaune ambré du blé est due à la présence des pigments caroténoïdes; principalement la xanthophylle, ester de xanthophylle et carotène.

Les flavones sont des composés de la chlorophylle ; ils ont une couleur orange ; elles appartiennent à des différents groupements chimiques.

I.3. Valeur nutritionnelle du blé

En nutrition humaine, les céréales constituent la base de la pyramide alimentaire puisqu'elles représentent la principale source de calories.

Godon, 1989, souligne que le blé constitue une source de glucides qui représentent 80 à 90 % de la matière sèche dont l'amidon est la majore partie avec 67.2 à 68.4 grammes pour cent de la matière sèche.

Les céréales aident à couvrir non seulement les besoins en glucides mais également en fibres et en protéines végétales, en minéraux et en micronutriments.

Les grains de blé constituent une source importante de protéines et notamment d'acides aminés indispensables.

Les lipides des céréales sont peu abondants mais extrêmement intéressants du fait de leur forte teneur en acides gras polyinsaturés (acide linoléique et linolénique) .

Concernant les éléments minéraux, ils sont présents dans le grain en faible quantité. Les principaux sont : le potassium, le manganèse, le cuivre, souvent associés à des sels (phosphates, chlorures ou sulfates) (**Spiegel et al., 2009**).

Quant aux facteurs vitaminiques, les grains de blé renferment une quantité importante de vitamines B1, B2 et la vitamine E.

I.4. Technologie de la transformation de blé

I.4.1. Stockage à la ferme

Les différentes opérations Après la récolte, pour pouvoir stocker ses céréales à la ferme, il est nécessaire de faire quelques investissements dans du matériel adapté. En effet, avant le stockage à proprement parler en silo, différentes étapes sont nécessaires pour obtenir un grain propre qui possède une capacité de conservation élevée: nettoyage, tri et séchage. Cela vous permettra de stocker vos céréales toute l'année et d'aller puiser dans vos stocks pour pouvoir livrer des produits frais sur demande. - Le nettoyage et le tri des grains Afin de limiter l'échauffement du tas, de limiter les contaminations et de baisser l'humidité, le nettoyage et le tri sont des opérations importantes. La propreté des grains favorisera par la suite le séchage par refroidissement et la ventilation. La séparation se fait sur base de la différence de densimétrie (par aspiration) et de la différence de taille (par tamisage). Il existe une multitude de matériels, chacun ayant une tâche bien spécifique. Le nettoyage n'est jamais parfait et c'est la complémentarité des machines qui permettra d'obtenir une céréale de qualité (**Grogna, 2016**).

I.4.2. Réception de la matière première

Cette étape comprend le déchargement du blé réceptionné au port dans des camions. A l'arrivée du blé dur aux moulins, les camions passent par le **pont bascule** où la quantité reçue sera pesée puis versée dans une **trémie**. Cette dernière est couverte d'une grille en acier de 25 mm d'ouverture pour retenir les grosses impuretés telles que cailloux, bois, paille, etc. La trémie est protégée par un toit contre les intempéries et en mesure de recevoir un camion entier de 30 tonnes.

Ensuite, le blé est transmis vers les silos de stockage par le biais des transporteurs et des élévateurs à godets.



Figure 2 : La réception de la matière première(Int) **Figure 3 : La trémie de la réception (Int)**

I.4.3. Prés-nettoyage

Cette phase est essentielle pour un meilleur stockage des produits en optimisant l'utilisation des cellules, une réduction des poussières en suspension ainsi que des risques d'explosion et enfin une meilleure hygiène. Elle garantit en outre une protection des machines et des engins de manutention (chaînes, élévateurs, etc.)

Le prés-nettoyage par le biais de différents appareils tels que :

- Bascule de réception où l'on peut examiner le passage des quantités livrées.
- Appareil magnétique qui permet l'élimination des métaux ferreux.
- Séparateur qui assure une séparation sommaire des différents composants du blé.
- Aspiration qui empêche que la poussière n'envahisse l'atmosphère.

I.4.4. Nettoyage

Le diagramme de nettoyage, dans un moulin, constitue une partie très importante du processus de fabrication puisqu'il détermine la qualité du blé qui servira à la mouture, à l'entrée de ce diagramme, la quantité totale de blé est pesée dans une balance, cela permettra de déterminer, à la fin de cette phase, le taux d'impureté et donc de sélectionner les sources d'approvisionnement en ce qui concerne les matières premières.

Le nettoyage fait appel à plusieurs méthodes, basées sur les propriétés physiques et aérodynamiques de la graine de blé (**GODON**, 1998).

I.4.5. Conditionnement/ mouillage

Le conditionnement de blé est une étape essentielle pour le bon déroulement de la mouture. Il vise à modifier l'état physique des grains, de manière à permettre par la suite la meilleure séparation possible au cours de la mouture entre l'albumen amylacé d'une part et les enveloppes.

Ce traitement sera complété par le repos des grains dans des boisseaux et par une humidification supplémentaire, suivie d'un court repos (24 à 48h), avant le broyage.

Certains facteurs jouent un rôle très important dans le conditionnement tels que

- L'humidité initiale (14 à 15%)
- La vitrosité
- Le type de blé
- Le temps de repos

Cette quantité d'eau à ajouter au blé est en fonction de la nature du blé, l'humidité initiale ainsi que l'humidité de la semoule désirée.

► Le débit d'eau à ajouter au blé est donné par la formule suivante :

$$G_{EAU} = D \cdot (H_f - H_i / 100 - H_f)$$

G_{EAU} = débit d'eau (l/h) D = débit horaire de blé (kg/h)

H_f = humidité finale H_i = humidité initiale

a/ Premier mouillage

Le blé issu du nettoyage à sec possède une humidité initiale (H_i), passe par le premier mouilleur intensif où il reçoit 2/3 de l'eau qu'il faut ajouter, puis il est déchargé dans une cellule de repos.

b/ Temps de repos

Il représente le temps nécessaire pour la distribution de l'eau à l'intérieur du grain vu que pendant l'humidification de blé, une partie de l'eau incorporée est immédiatement absorbée par le grain.

Pour que l'eau passe à travers les enveloppes et le germe afin qu'il atteigne le cœur de l'amande, le plus longtemps possible

- ▶ Le temps de repos varie en fonction de :
 - La variété du blé
 - La vitrosité
 - Le degré de siccité.
 - L'humidité finale désirée pour la semoule.

c/ Deuxième mouillage

Le blé extrait de la cellule du premier repos passe par le deuxième mouillage intensif, où on ajoute le dernier 1/3 de la quantité d'eau qu'il faut incorporer au blé.

d/ Deuxième temps de repos

Après le deuxième mouillage le blé est déchargé dans une deuxième cellule de repos.

I.4.6. Nettoyages humides du blé

Après conditionnement, le blé est transporté vers une brosse verticale, ou on élimine les enveloppes lâches et les impuretés adhérant au grain. A vrai dire, le blé est soumis à une aspiration pour éliminer les impuretés et les poussières. Puis il est pesé dans une balance et dirigé par gravité dans une vis sans fin, équipée d'un aimant pour l'élimination des objets métalliques. Cette vis mène le blé vers le broyeur N° 1 (B1).

I.4.7. La mouture

- a- **Broyage**: Il s'agit d'une opération de réduction du diamètre du grain par compression entre deux cylindres métalliques cannelés tournant en sens inverse et à des vitesses différentes.

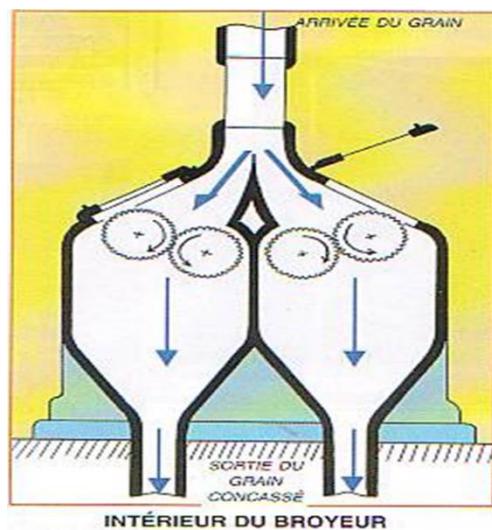


Figure 4 : Broyeur de blé (Grogna P, 2016)

- b- **Blutage**: Après le passage au moulin, la farine passe dans un blutoir, ceci afin d'obtenir le type de farine souhaité. Le blutage se base sur le principe de tamisage. En effet, les parti - cules provenant de l'amande sont très fines alors que celles de l'enveloppe sont assez grossières. Cette opération de tamisage se réalise dans des tamis superposés qui consiste à séparer selon leur grosseur les divers produits après passage de la mouture. Les produits les plus gros retournent au premier broyeur (Grogna, 2016)



Figure 5 : le blutage (int)

- c- **Sassage**: Par cette opération les semoules sont classées par grosseur et par degré de pureté. Le produit passe par une série de tamis incliné et par une aspiration d'air pour séparer les différentes particules selon la grosseur.

- d- **Claquage** : Dans cette phase de la mouture, l'objectif est de réduire progressivement le diamètre des particules d'amande pour produire de la farine en préservant la qualité de celle-ci. Pour atteindre ce but on utilise des cylindres lisses
- e- **Le convertissage** : Cette opération est presque identique à la précédente mais à ce stade la farine prête soit à être mise en sac soit à être mélangé avec une autre farine.
- f- **L'emballage** : La farine est stockée dans les cellules de stockage 24 à 48 heures. La farine est alors prête à la vente, elle est vendue soit :
- En sac de 50 ou 25 kg
 - En sac de 1 kg pour l'utilisation domestique.

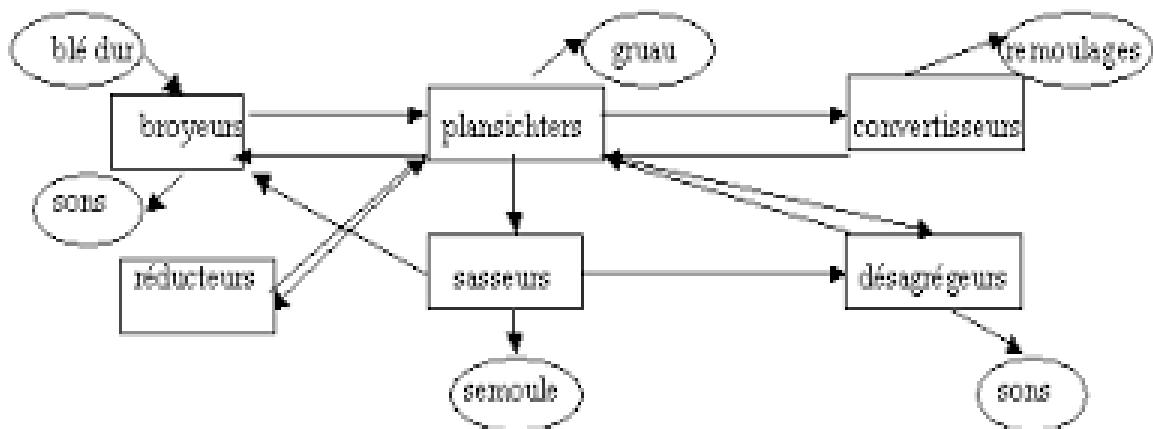


Figure 6 : Diagramme de la mouture du blé (GODON, 1998)

Chapitre2 : La farine panifiable

La farine panifiable

Introduction

Généralement, il est considéré qu'une céréale est panifiable, c'est-à-dire que sa farine est transformable en pain, lorsqu'elle contient du Gluten. Ce dernier confère à la pâte, d'une part, une structure relativement imperméable au gaz carbonique produit par la fermentation et, d'autre part, de l'élasticité permettant la confection de produits à pâte levée. Le gluten est l'ensemble des protéines insolubles des céréales (80 à 90% des protéines totales). Les principales céréales panifiables sont le froment, l'épeautre et le seigle. Parmi celles-ci, le froment contient plus de gluten et est ainsi majoritairement utilisé pour fabriquer du pain (**GROGNA, 2016**).

II.1. Définition

La farine, sous forme qualitatif, correspond au produit résultant de la mouture exclusive de l'amande du grain de blé nettoyé et industriellement propre, étant entendu que la qualité du blé mis en œuvre est basée sur les normes du blé sain, loyal et marchand. (**Chene, 2001**)

II.2. Propriétés physiques

- Blancheur : C'est un signe de pureté de la farine.
- Odeur et saveur : Ce sont des caractéristiques propres à chaque farine (La farine laisse un goût de froment en bouche).
- Granulométrie : Elle varie suivant la mouture. Une farine granuleuse est dite «ronde » alors qu'une farine fine est dite «plate».

II.3. Propriétés fermentatives

La qualité fermentative d'une farine dépend de sa teneur en sucre et en enzymes.

La quantité d'enzymes dépend des conditions climatiques pendant la culture du blé, de la quantité d'amidon blessé pendant la mouture et de la proportion de grain germés dans le blé pour la mouture (**Bornet, 1992**).

II.4. Composition chimique de la farine panifiable (type 55)

La composition de la farine et le pourcentage des composants est comme suit :

II.4.1. Glucides

- a- **Sucres simple** : Du point de vu pondéral ce sont des composés mineurs mais leur importance technologique est grande car ce sont des sucres fermentescibles et assimilables par les microorganismes : glucose, fructose, saccharose, maltose. (J.Pylere, 1988)
- b- **L'amidon** : Il représente 60 à 65% du poids du grain, c'est un polymère du glucose. Cet amidon (par proportions moyennes chez le blé d'après Michel-Roussel- 1998) est constitué de : - Amylose (chaines non ramifiées 23%). - Amylo-dextrines (chaines ramifiées 77%).

II.4.2. Protéines

- a- **Albumine et globuline** : Ils sont classiquement considérés comme les seuls constituant des protéines en milieu salin neutre. Ces protéines solubles représentent 10 à 20% des protéines de la farine. Elles sont toutes à la fois riches en lysine et en arginine mais faible en acide glutamique et en proline (**Branlard, 1996**).

b- Gliadines et gluténines

***Les gliadines** : Les gliadines se caractérisent par une forte teneur en acide glutamique et en proline, en revanche leur teneur en acides aminés est faible.

* **Les gluténines** : C'est la fraction protéique présente dans le résidu d'extraction des farines de blé par des solvants tel que l'éthanol et acide acétique dilués. Les protéines de blé, comme d'autres céréales ont une teneur trop faible en acides aminés indispensables et en particulier en lysine, les teneurs les plus courantes sont de l'ordre de 3 grammes de lysine pour 16 grammes d'azote qui correspond à environ 100 grammes protéines (**Aribi, 2016**).

II.4.3. Matières grasses : (1,2 à 1,4%), provient essentiellement du germe.

II.4.4. Matières minérales : (0,5 à 0,6%), Les matières minérales constitutantes pondéralement mineures servent essentiellement à déterminer la pureté d'une farine ainsi que le type. Elles possèdent également un intérêt nutritionnel par l'apport de phosphore, potassium, calcium, soufre, et magnésium dans notre ration. .

II.4.5. Les vitamines : sont des substances indispensables à l'organisme, et la farine est un produit qui contient une quantité non négligeable, mais ces substances sont fragiles à la chaleur donc en partie détruite à la cuisson.

II.4.6. Les enzymes : Les enzymes sont présents dans la farine et d'autres sont additionnées :

- a- **α amylase :** C'est une enzyme qui coupe les chaînes glucidiques au hasard, et induise une libération des dextrines et une chute rapide de la viscosité de la pâte.
- b- **β amylase :** La farine est riche en β amylases, qui attaque les extrémités d'une chaîne glucidique, en détachant le maltose, provoquant l'abaissement progressif de la viscosité du milieu.
- c- c- Lypoxygénase : Est une enzyme qui oxyde les lipides, elle oxyde les acides gras insaturés libres non estérifiés qui correspondent aux acides gras essentielles. (**Branlard, 1996**).

II.5. Composants influençant les qualités plastiques des pâtes

- *Le gluten : sa qualité fixe les propriétés plastiques d'une pâte.*
- *La matière grasse : sa quantité diminue la force boulangère d'une farine.*

II.6. Composants influençant les qualités fermentescibles des pâtes

- Le sucre : dégradé par la levure lors de la fermentation.
- L'amidon : s'il est blessé lors de la mouture, il est de moindre qualité.
- Les enzymes : contenues dans le germe et qui n'ont pas disparues à la mouture.

II.7. Différents types de la farine

D'après le taux de cendre et le taux d'extraction, on peut classer la farine sous six types.

Tableau1 : le taux de cendre et d'extraction des différents types de la farine.

Type	Taux de cendres %	Taux d'extraction %
45	Moins de 0.5	68 à 70
55	0.5 à 0.6	75
65	0.62 à 0.75	78 à 80
80	0.75 à 0.9	85
110	1.00 à 1.2	88 à 90
150	Plus de 1.4	95

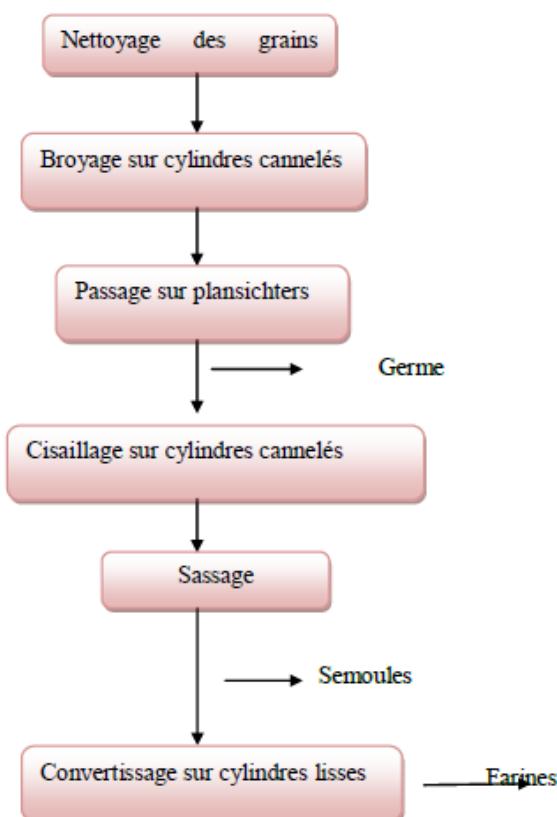


Figure 7 : Le bilan de la mouture du grain de blé tendre (Aribi, 2016)

II.8. Teste de la farine

Dans les laboratoires des industries de la mouture les tests les plus courants utilisés pour la farine sont :

- Essai Pékar (pour tester la blancheur et la présence des particules de son)
- Taux d'humidité
- Taux de cendre (détermination la quantité des sels minéraux)
- Taux d'affleurement (détermination du diamètre des granules de la farine)
- Taux de gluten (Détermine la force de la pâte)
- Dosage de la matière grasse
- Teste de la force boulangère (par un alvéographe de Chopin)

II.9. Les propriétés plastiques

Elles sont caractérisées par le degré de l'élasticité, de ténacité et de souplesse de la pâte.

Il arrive assez souvent que l'on emploie, à leur propos le terme de force. C'est le gluten qui dans ce domaine, économique ses propriétés plastique propre à la pâte.

Les propriétés plastiques constituent l'un des aspects les plus importants de la valeur boulangère. Cependant, il y a deux ou trois facteurs qui sont directement reliées aux propriétés plastiques d'une pâte.

- Il s'agit de la capacité d'absorption d'eau d'une farine, de la maniabilité et de tolérance de la pâte.
- La capacité d'absorption d'eau d'une farine est l'aptitude de celle-ci à supporter plus ou moins fortement d'addition d'eau. Cette absorption est très importante, puisqu'elle conditionne le rendement en pain d'une farine donnée.
- La maniabilité de la pâte c'est sur le plan pratique, l'ensemble des qualités qui font que celle-ci est souple et tenace sans être collante et qu'elle conserve ses caractéristiques tout au long de la fabrication.

La tolérance est représentée par les facultés qu'à une pâte de ne pas souffrir d'un léger défaut, au contraire de supporter un petit excès de fermentation, sans que finalement la qualité du produit s'en ressente .la souplesse qui en découle se traduit par une plus grande régularité et une meilleure qualité (**Aribi, 2016**).

II.10. Principe du test de la force boulangère (par l'alvéographe de Chopin)

L'appréciation de la valeur boulangère par l'alvéographe se base sur une extension biaxiale où l'échantillon soumis à une force d'extension selon deux axes perpendiculaires dans un même plan se qui entraîne leur gonflement et la formation d'un ballon sphérique (**DOBRASZCZYK et al., 2003**). L'avantage majeur de ce test c'est qu'il entraîne une déformation étroitement similaire à celle subi par la pâte sous l'effet de l'expansion gazeuse des alvéoles pendant les étapes de la fermentation et la cuisson. L'Alvéographe Chopin permet donc la détermination de la force du gluten d'une pâte par la mesure de la force nécessaire à gonfler et à assurer la rupture de la bulle de pâte. Les utilisations des farines peuvent être déterminées selon les résultats des caractères alvéographiques.

- Les blés à force ont un coefficient P très élevé et une valeur L relativement faible.
- La surface totale calculée W (travail de déformation effectué avant rupture) donne l'indication de la force de la farine.
- W₁₃₀ à 180 ergs et P/L ≥ 0.5 et G=20 à 23cm³ (^{farine} convient à la panification (bonne force boulangère).
 - W₁₈₀ à 250 ergs et P/L blé améliorant
 - W > 250 ergs Blé de force
 - W 80 à 130 ergs blé pour la biscuiterie.

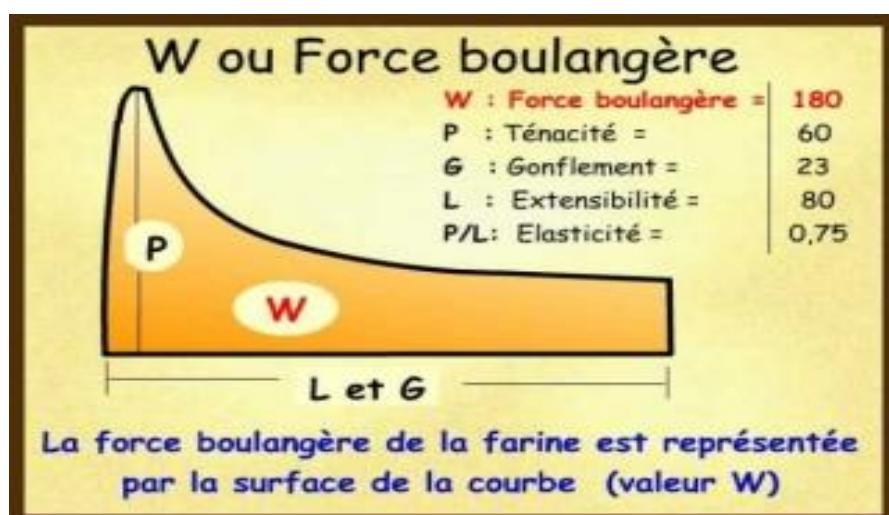


Figure 8 : La courbe obtenue par l'alvéographe de chopin

Chapitre 3 : La panification

LA PANIFICATION

Introduction

Le mot pain est réservé au produit résultant de la cuisson de la pâte obtenue par pétrissage d'un mélange de la farine de blé destiné à la panification et correspondant à un type officiellement défini, d'eau potable, de sel de cuisine et d'un agent de fermentation.

La farine provient principalement de céréales panifiables : blé et seigle. On peut y adjoindre, en quantité modérée des farines d'autre provenance : orge, maïs, noix... . Les céréales panifiables se caractérisent par la présence de gluten, qui permet la montée de la pâte, dite « pâte levée », et crée la mie.

III.1- La panification

La panification est l'ensemble des opérations qui permettent d'obtenir du pain à partir de farine, d'eau, de sel et de levure ou de levain

Pour faire du pain... du bon pain, le boulanger doit connaître les caractéristiques des matières premières qu'il utilise, mais aussi les différentes techniques de pétrissages et de fermentation (**DOBRASZCZYK et al., 2003**)

III.2. La valeur nutritionnelle du pain

La consommation du pain permet de couvrir une partie des besoins en matières protidiques et énergétiques. Elle permet aussi un apport à l'organisme de plusieurs vitamines (A, B, PP et E) et des oligo-éléments.

C'est un aliment énergétique du fait de sa richesse en glucides comme le montre sa composition : Glucides : 55 % , Protides : 7.5 % , Lipides : 1.3 %

100 grammes de pain fournissent à l'organisme 257 kilocalories, soit environ 9% des besoins caloriques journaliers moyens (**ARIBI, 2016**).

III.3. Ingrédients

La farine, L'eau, Les agents de fermentation (la levure, le levain), Le sel , Les additifs autorisés en panification française (farine de fève, farine de soja, malt, amylases fongiques, gluten, acide ascorbique)

III.3.a. La farine

La farine est l'élément de base et contient toutes les qualités qui feront du pain un bon aliment, une farine panifiable est une farine qui peut servir à la panification du pain. C'est le gluten qu'elle contient qui la rend panifiable en rendant la pâte à pain une fois pétrie élastique et « étanche à l'air ». Ainsi, grâce au gluten contenu dans la farine, le gaz carbonique dégagé par les levures du levain va rester emprisonné dans la pâte et va donc permettre la levée du pain (**GROGNA, 2016**).

a.1. Caractéristique de la farine

- La couleur : elle est fonction du type de farine retenu, plus le type est élevé, plus la farine prend une couleur grise.
- L'odeur et la saveur : l'odeur est propre à la farine, Les farines altérées possèdent un goût amer et rance.
- La granulation : la finesse de la farine peut avoir une influence sur son pouvoir d'absorption et donc sur son rendement. En effet, plus une farine est fine, plus elle contient de granules d'amidon blessés. Ces derniers peuvent absorber 1/3 de leur poids en eau. Les granules d'amidon blessés sont des granules déformés lors de la mouture.

a.2. Propriétés rhéologiques (plastiques)

La rhéologie est l'étude de l'écoulement et la déformation d'un matériel. Généralement, pour déterminer le comportement rhéologique de la pâte, cette dernière doit subir, pendant un temps fixe, une certaine déformation. La valeur de la déformation mesurée indique les paramètres rhéologiques de la pâte à savoir la rigidité (dureté, fermeté), viscosité, ténacité, élasticité, et l'extensibilité etc..... (**DOBRASZCZYK et al., 2003**).

L'étude rhéologique permet d'obtenir une description quantitative des propriétés mécaniques de la pâte, obtenir une information sur sa la structure moléculaire et sa composition chimique, ainsi de caractériser et simuler la performance des processus de sa fabrication.

a.3. Propriétés fermentatives

Le pouvoir fermentatif d'une farine peut être défini comme étant la quantité des sucres simples (oses) que cette dernière peut apporter à la levure durant la fermentation. Cette production de sucres simples a lieu grâce à l'amylyose .

Amyloses



III.3.b. L'eau

Elle s'incorpore entre 60 et 70 % du poids de la farine, c'est le plus important constituant de la pâte, elle joue un rôle majeur au cours de la confection de la pâte, elle sert à mouiller la farine et rend possible le pétrissage. Elle doit être modérément dure. Il est connu que les sels de calcium et de magnésium contenus dans l'eau contribuent à durcir le gluten (**Del et al., 2005**).

III.3.C. Levure et levain

Les levures appartiennent à la catégorie des champignons microscopiques. La levure de panification (ou levure de boulanger) est un champignon unicellulaire du genre *Saccharomyces cerevisiae*, les levures de boulangerie sont de types aéro-anaérobiose.

En aérobiose

Les levures respirent et se multiplient abondamment au dépend du glucose, mais sans formation d'alcool.



En anaérobiose

- Sucre → CO₂ + Alcool + Energie (20 Kcal)

Influence de la température sur l'activité des levures

- 4 °C : fermentation presque bloquée
- 10 - 15 °C : activité considérablement ralenti
- 20 - 40 °C : la vitesse de fermentation progresse de 8% environ pour chaque degré supplémentaire en partant de 20 °C
- 45 °C : activité freinée 50 °C : destruction des levures

Levain : est une culture de ferment naturels, réalisé sur un mélange de farine et d'eau. Ces ferment ou levure sont présents dans la farine mais en quantité très insuffisante. La préparation d'un levain consiste donc à leur assurer une multiplication de manière à ce que ce dernier soit capable d'ensemencer à lui seul une pâte à pain.

- Sa réalisation nécessite une suite de rafraîchis sur 3 ou 4 jours
- L'incorporation du levain dans la pâte varie de 100 à 500 gr/kg de farine suivant le goût recherché (**JONGEN et al., 2003**).

III.3.d. Sel

Il est conseillé d'utiliser en panification du sel fin étant donné que le sel gros se dissout mal lors du pétrissage. L'incorporation du sel dans la pâte à pain est en moyenne de 20gr / kg de farine. Il a plusieurs rôles à savoir ;

- il contribue à la fixation de l'eau permettant d'accroître le rendement en pâte par une meilleure hydratation.
- Il contribue pour une large part à fixer les arômes du pain.
- Il améliore les qualités plastiques de la pâte (prise de ténacité) et renforce le gluten.

- Il ralentit légèrement la fermentation en retardant l'action de la levure (une pâte sans sel gonfle plus vite).
- Il assure une production plus uniforme du gaz carbonique et ainsi une plus belle structure de la mie.
- Il fixe l'eau au sein de la pâte et ainsi limite les effets de croûtage des pâtons.
- Il influence la coloration de la croûte du pain lors de la cuisson.
- Il agit sur la finesse de la croûte.
- Il prolonge la conservation du pain

III.3.e. Les additifs

Les additifs sont utilisés au moulin ou dans la boulangerie pour corriger certaines caractéristiques défavorables que présente la farine

➤ Farine de fève

Le dosage est en moyenne de 0,7 à 1% du poids de la farine (maximum toléré 2%)

Action

- la farine de fève accélère l'oxydation de la pâte par l'intermédiaire d'une enzyme appelée Lipoxygénase qui fixe l'oxygène de l'air au cours du pétrissage.
- L'oxygène possède un pouvoir décolorant et agit directement sur les pigments de la farine en favorisant le blanchiment de la pâte.
- Cette oxydation améliore également le goût du pain.
- Elle participe en partie à l'augmentation du volume des produits grâce au renforcement du réseau glutineux.

➤ Farine de soja

Il se fait dans des proportions moindres (0.5% du poids de la farine). Sa valeur alimentaire est très élevée.

Action

- la farine de soja à tendance à faire blanchir la pâte du fait de la présence de la même enzyme (la lipoxygénase) mais en quantité plus importante.
- Elle participe également au renforcement du réseau glutineux et assoupli la pâte grâce à ses propriétés émulsifiantes.

➤ Malt

La farine de malt est obtenue par mouture de grains d'orge ou de blé germé simplement écrasé. Son incorporation se fait en meunerie comme en boulangerie à hauteur de 0.3% du poids de farine

Action

- Elle favorise la fermentation grâce à un apport supplémentaire d'amidon et par un apport d'amylases qui transforment l'amidon de la farine en maltose (sucre du malt assimilable par la levure).
- Le malt sert ainsi à améliorer les qualités fermentatives des farines qui sont pauvres en sucres, à compenser une insuffisance amylosique et à favoriser la coloration de la croûte à la cuisson.

➤ Amylases fongiques

Provenant de la multiplication de petits champignons microscopiques nommés *aspergillus*, aucune règle de dosage n'est fixée.

Action

- Elles améliorent l'activité fermentative de la pâte et contribuent à une meilleure coloration de la croûte.

➤ Gluten

Le dosage du gluten se situe entre 0,5 et 2% du poids de farine suivant le type de produit fabriqué et la qualité des blés employés pour la mouture.

Action

- Il peut absorber 2 à 3 fois son propre poids en eau et après hydratation il se caractérise par son aptitude à former un réseau élastique, extensible et imperméable.
- Il accroît le rendement de la farine
- Il améliore le réseau glutineux
- Il améliore la rétention gazeuse
- Il améliore le développement des pâtons
- Il permet une durée d'apprêt plus longue

➤ Acide ascorbique

C'est le seul améliorant chimique autorisé en boulangerie, l'incorporation moyenne est de 1 à 2%.

Action

- Il agit sur le gluten en le resserrant et améliore ainsi l'élasticité, de la pâte.
- Il permet également de raccourcir légèrement la durée du pointage.

III.4. Technologie de la panification

Le pain est le résultat de la cuisson d'une pâte pétrie et fermentée. Les trois étapes essentielles de la panification sont respectivement : le pétrissage de la farine, eau, levure, sel, sucre, gras, et d'autres ingrédients, la fermentation, et la cuisson (**DOBRASZCZYK et al., 2003**).

III.4.1. Pétrissage

Le frasage est la première étape du pétrissage où s'effectue le mélange des ingrédients et le début de la formation de la pâte. Le frasage doit être conduit en vitesse lente. C'est à ce stade que le boulanger règle la consistance de la pâte

En 2^{ème} vitesse (rapide) permet la formation d'une structure glutamique élastique par l'étirage et l'incorporation d'air dans la pâte vise à accélérer la multiplication des cellules de levure par le soufflage.

De la structure du réseau de gluten résultant dépendra la structure alvéolaire de la mie. Un pétrissage mécanique intense sera responsable d'une mie très développée à alvéolage petit, tandis qu'un pétrissage lent et court permettra l'obtention d'un alvéolage plus irrégulier, avec de grosses alvéoles. L'excès de pétrissage peut engendrer une rupture du réseau de gluten et par conséquent empêcher le développement correct du grain (**PAREYT et al., 2011**).

III.4.2. Le pointage

Le pointage commence dès l'arrêt du pétrin, c'est la première fermentation. On laisse reposer la pâte pour permettre l'activité de la levure. Celle-ci va donc réaliser la fermentation alcoolique en utilisant les oses résiduels de la farine (prévenant de la dégradation de l'amidon par les amylases). Il y a donc production de CO₂ qui permet un début de levée de la pâte qui devient alors tenace et plus élastique (**Aribi, 2016**).

Plus un pointage est long, plus la pâte aura de force et plus les arômes se développeront.



Figure 9 : Pétrissage dans un pétrin (int)

La durée est surtout fonction de la méthode de panification retenue mais également :

- de la consistance de la pâte
- de la température de la pâte
- de la quantité de levure
- de l'apport ou non d'améliorants
- de la qualité de la farine

Rôle du pointage

- Il permet une prise de ténacité de la pâte améliorant ainsi sa tolérance.
- Il permet un développement des arômes.
- Il permet d'améliorer la conservation des produits.
- Il permet d'obtenir une mie alvéolée régulièrement, tout en lui conférant une texture plus agréable

III.4.3. Division

Après le pointage, vient le moment où le boulanger commence à détailler ses pâtons, la division se fait en machine (diviseuse), un temps de repos de la pâte sera nécessaire pour éviter le déchirement des pâtons au façonnage.

III.4.4. Boulage

Il consiste à arrondir ou à compresser une pièce de pâte dans le but d'enlever les grandes poches d'air

III.4.5. Détente

Elle doit permettre aux pâtons de se détendre après la division, ceci afin de faciliter l'allongement au façonnage et pour éviter tout déchirement de la pâte.

III.4.6. Façonnage

C'est la mise en forme du pâton. Quand il est réalisé manuellement, le boulanger peut contrôler la force des pâtons. Toutefois c'est un peu plus lent qu'en machine.

Le façonnage mécanique est quant à lui plus rapide mais a cet inconvénient d'avoir tendance à déchirer les pâtes. Il se réalise en trois étapes :

- Le laminage : le pâton est aplati entre deux rouleaux
- L'enroulement : le pâton se trouve entraîné par un tapis mobile et ralentit par un tapis fixe se trouvant au-dessus, l'obligeant ainsi à s'enrouler
- L'allongement : il s'effectue entre deux tapis tournant en sens inverse

III.4.7. Fermentation panaire

La fermentation panaire est une fermentation de type alcoolique. Elle correspond à la transformation des sucres de la farine en alcool et CO₂ sous l'action des cellules de levure (avec le concours d'enzymes). Elle s'effectue dans des conditions de température et d'hygrométrie contrôlées pour éviter le « croûtage » des pâtes. La fermentation dure de une à trois heures (**Aribi, 2016**).

- Dans un 1^{er} temps et durant 1h00 environ, les levures transforment les sucres simples préexistants dans la farine. Dans ce même temps, les amylases commencent à hydrolyser l'amidon produisant ainsi du maltose.
- Dans un 2^{ème} temps, les levures poursuivent leur action grâce au maltose provenant de l'amylolyse (**DELCOUR et HOSENEY, 2010**).

La fermentation commence dès l'incorporation de la levure dans la pâte et s'arrête quelques minutes après l'enfournement lorsque les pâtons atteignent 50 °C.

III.4.8. Scarification (Le coup de lame)

Le "coup de lame" n'a pas qu'un rôle esthétique, c'est sûr qu'il rend le pain beaucoup plus beau, mais il a aussi un rôle fonctionnel : il sert de cheminée où une partie de l'eau contenue dans la pâte va pouvoir s'échapper et éviter ainsi la formation de déchirures.



Figure 10: Scarification du pain (int)

III.4.9. La cuisson

Ultime étape dans la fabrication du pain, elle n'en n'est pas moins importante. Le boulanger doit veiller à ce que le four soit à la bonne température (environ 250 °C) au moment où les pâtons sont suffisamment levés.

Sous l'action de la chaleur, les alvéoles de CO₂ se dilatent rapidement durant les 5 premières minutes environ et la pâte se développe, les cellules de levure sont détruites. C'est alors que commence à se former peu à peu la croûte du pain. La caramélation de sucre par la réaction de Maillard confère à la croûte sa saveur aromatique.

A l'intérieur du pain, la formation de la mie va beaucoup plus lentement. L'amidon forme un empois et donne au pain sa forme et sa consistance (**MONDAL et al., 2008**).

La buée ; c'est de la vapeur d'eau introduite dans le four avant l'enfournement des pâtons. Elle joue un rôle essentiel lors de la cuisson :

- Elle retarde la formation de la croûte en recouvrant le pain d'une fine couche d'humidité, la chaleur moins saisissante, le pain aura d'autant plus de facilité à développer.
- Elle agit sur la finesse de la croûte toujours grâce à l'effet de retardement de la formation de la croûte, le pain en sortira plus craquant et croustillant.
- Elle donne un aspect brillant au pain.

III.4.10. Ressuage

Sitôt sorti du four, le pain est très fragile et cassant, le pain est alors placé en panier de manière à ce que le CO₂ et la vapeur d'eau puissent s'échapper correctement. Si l'aération du pain n'est pas convenable à ce moment, la migration de l'eau contenue dans le pain s'arrêtera au niveau de la croûte et rendra celle-ci molle. C'est alors que l'on dit que le pain ressue.

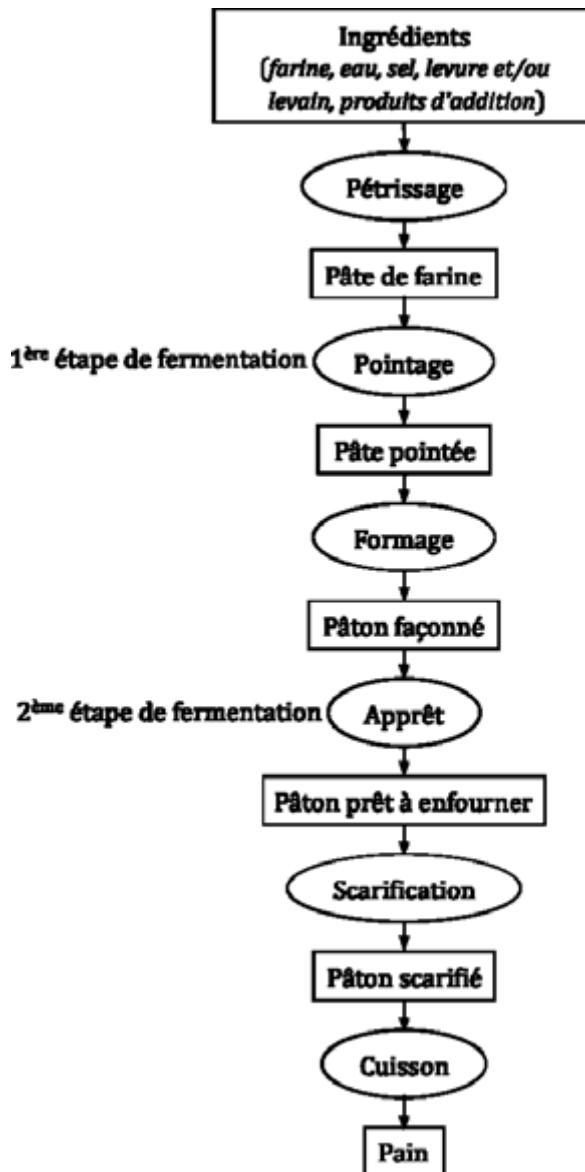


Figure 11: Diagramme de la panification

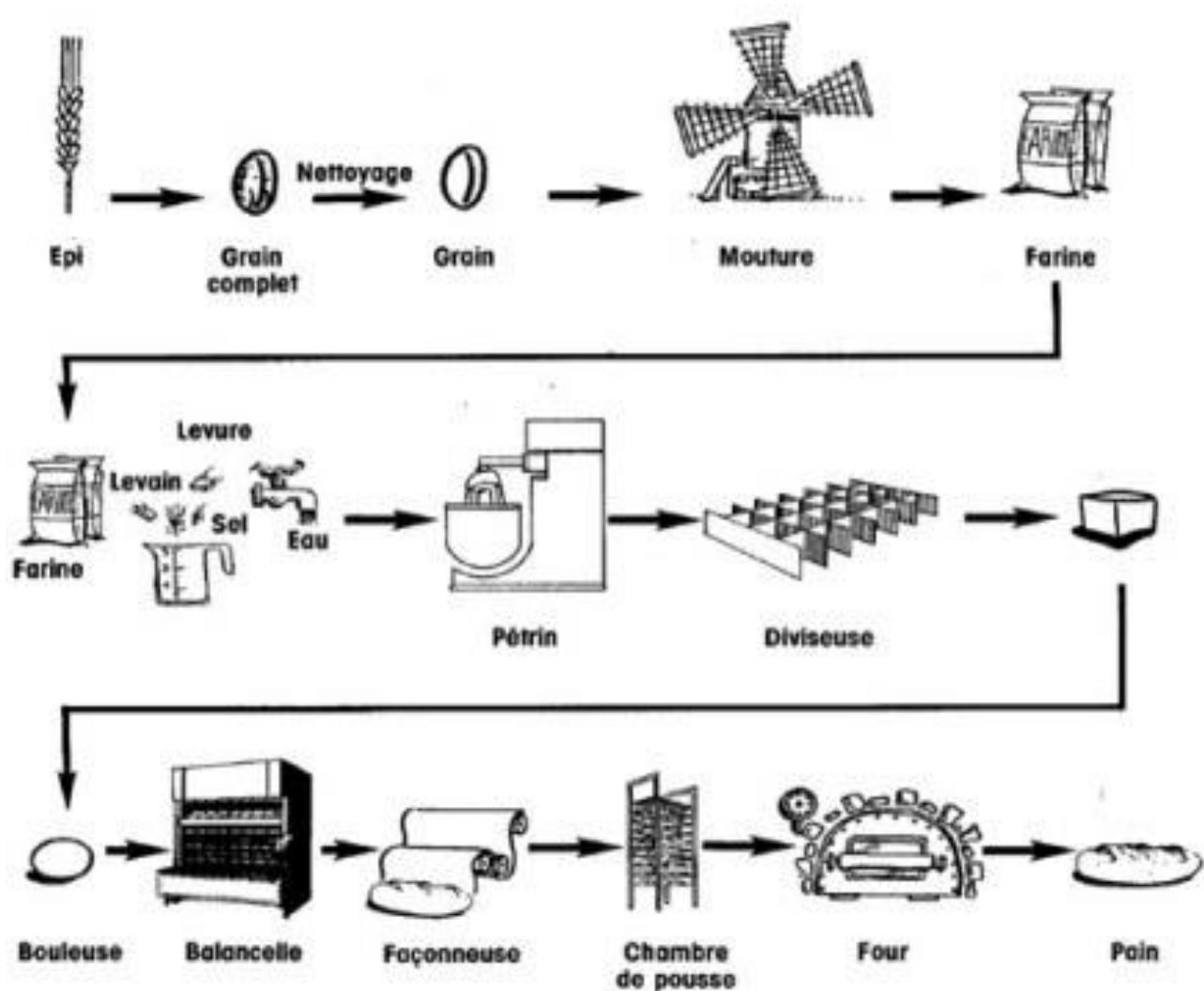


Figure 12 : Schéma récapitulatif de la technologie de transformation du blé (du champ au pain) (int)

Chapitre 4 : Pâtes alimentaires

Pâtes alimentaires

Introduction

La fabrication de pâtes alimentaires est réalisée généralement à partir de semoule de blé dur (mais avec incorporation possible de farine de blé tendre à des taux variables selon les législations nationales). Une telle unité peut donc se situer à l'aval d'une meunerie-semoulerie ou fonctionner sur des produits intermédiaires importés.

Les pâtes alimentaires sont universellement consommées et appréciées : la simplicité de leur fabrication, leur facilité de transport, leur excellente aptitude à la conservation et au stockage, leur bonne qualité nutritionnelle et hygiénique, la diversité des modes de préparations sont autant d'atouts qui favorisent leur utilisation et leur consommation (**Petitot et al., 2009**).

IV.1. Définition des pâtes alimentaires

Définition On entend par pâtes alimentaires les préparations obtenues par le pétrissage sans fermentation des semoules ou farines de blé, et de l'eau dans les proportions moyennes de 34 parties de semoules ou farines pour 6 à 10 parties d'eau. Le pétrissage est effectué soit à froid, soit à chaud, avec ou sans adjonction d'autres substances autorisées par les lois destinées à modifier soit la composition, soit le goût, soit l'aspect. En Algérie et en France, seul pouvant porter la dénomination de pâtes alimentaires, les produits prêts à l'emploi culinaire, préparés par pétrissage, sans fermentation, de semoule de blé dur additionnée d'eau potable et soumise à des traitements physiques appropriés tels que : tréfilage, laminage, et séchage leurs donnant l'aspect consacré par les usagés (**Vierling, 2003**).

IV.2. Classification des pâtes alimentaires

Il existe une multitude de variétés de pâtes alimentaires selon la durée de conservation, la forme ou le niveau de qualité.

➤ **Selon la durée de conservation :**

- **Pâtes fraîches** conservées au froid et destinées à une consommation immédiate.
- **pâtes sèches** de longue durée de conservation à température ambiante.

➤ **Selon le pétrissage :** des pâtes **à froid** ou **à chaud**.

➤ **Selon les machines utilisée dans la fabrication :** Il y a

- **Pâtes pressée** : comporte deux types les pates long et les pates coupée.
 - **Pâtes laminées** : Ces pates passent entre deux cylindres de la minoire qu'il introduise en feuille large et mince, en suite elles sont coupées selon la forme désirée par estompage.
- **Selon la composition :** On trouve les pates spéciaux ; Pâte aux tomates, Pâte aux œufs, Pâte au lait, Pâte au gluten

IV.3. Critères des pâtes alimentaires

L'aspect : La couleur jaune ambré et un aspect lisse.

Le goût : elle ne donne aucune odeur désagréable.

La résistance à la cuisson : L'aspect collant à la cuisson est un indicateur d'un défaut de fabrication.

IV.4. Technologies pastière (pâtes alimentaires)

Quelle que soit la technologie retenue, il faut :

La semoule est d'abord travaillée, mélangée de manière à ce qu'elle soit homogène et qu'elle garde le moins d'air possible (assurer l'homogénéité de la pâte), en suite viendront les différentes étapes successifs citées ci-dessous permettant la formation des pâtes alimentaires.

IV.4.1. Hydratation

Les pâtes alimentaires sont fabriquées en mélangeant de l'eau et de la semoule. Dans les usines modernes les proportions d'ingrédients sont contrôlées automatiquement grâce à des doseurs qui déterminent la quantité d'eau à ajouter pour une qualité optimale de pâtes alimentaires (**Smith et Hui, 2004**).

On cherche par cette étape d'amener l'humidité de la semoule qui est d'environ 14,5% de matière sèche à une humidité finale de 30% de matière sèche.

IV.4.2. Malaxage

Après avoir hydraté notre produit, il est ensuite malaxé pendant environ 15 min à l'aide d'un malaxeur afin de bien incorporer l'eau dans le produit (semoule) de manière à obtenir des grumeaux de différents tailles tout en laissant au niveau de la presse un vide permettant de réduire l'oxydation des pigments caroténoïdes donnant aux pâtes une mauvaise couleur et d'autre part empêcher la formation de bulles d'air qui dégradent la qualité des pâtes (pâte de texture collante) (**Smith et Hui, 2004**).

IV.4.3. Extrusion

Après le malaxage de la semoule, le mélange obtenu est extrudé et passe à travers une matrice qui permet d'exercer une pression sur le produit induisant l'élévation de la température et la formation d'un réseau de gluten dans la pâte ce qui la rend élastique et translucide et afin d'éviter la dénaturation de ses réseaux gluténiques en cas d'une grande élévation de température la matrice est munie d'un système de refroidissement à circulation d'eau (**Smith et Hui, 2004**).

IV.4.4. Séchage

Une fois les pâtes formées, elles sont transportées dans une chambre de séchage permettant aux pâtes de bien séchées grâce aux procédés de température élevée pendant environ 12h d'où ce séchage permet d'améliorer la qualité organoleptique et de réduire les contaminations bactériennes mais d'autre part il réduit la valeur nutritionnelle des pâtes qui se traduit par un déficit en lysine (**HUI, 2008**).

IV.5.1. Pour les pâtes courtes : pétrir la pâte, la former à travers une filière, la couper et la sécher par passage dans un trabatto pour le pré-séchage suivi d'un séchoir à tapis ou rotatif.

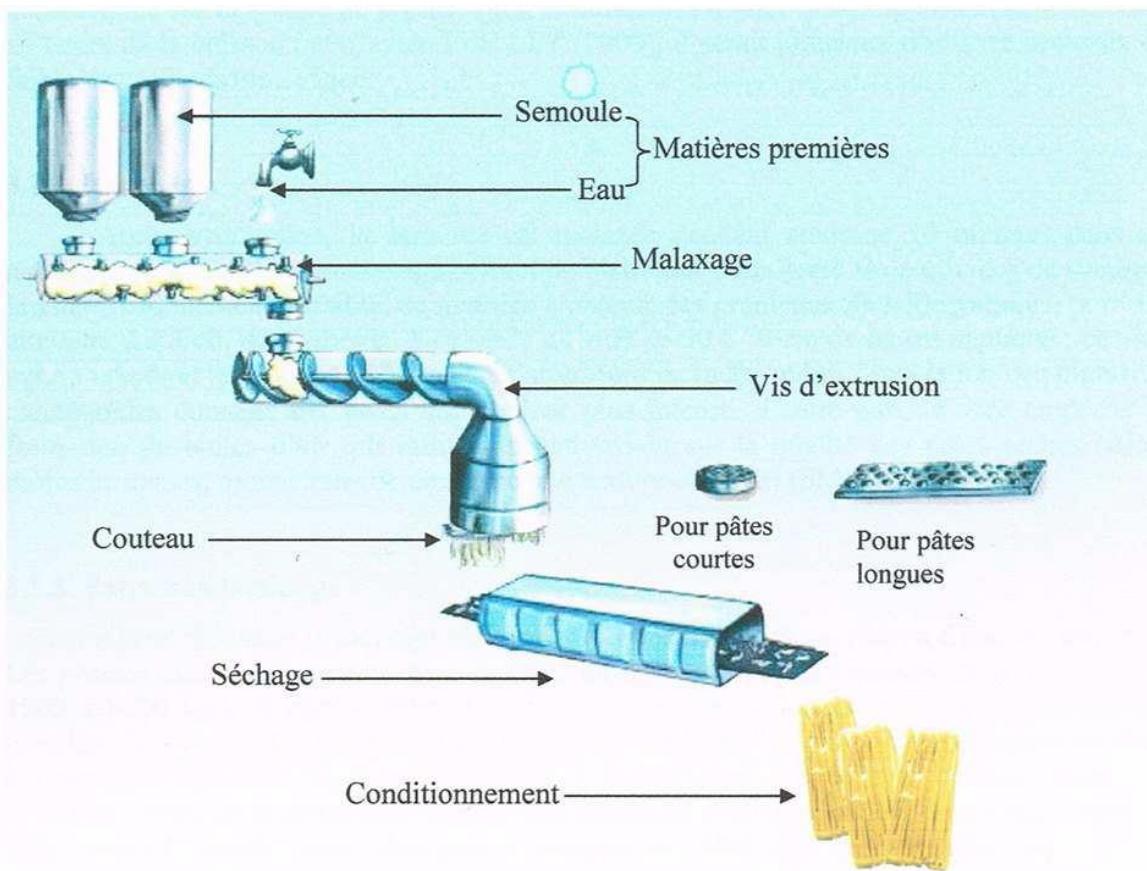


Figure 13 : Processus de fabrication de pâtes alimentaires (joyce bentley, 2005).

IV.5.2. Pour les pâtes longues : (coudes, coquilles, coquillettes) pétrir la pâte, former le spaghetti à travers une filière, étendre chaque brin à cheval sur des cannes horizontales qui sont mises en séchoir.

Les choix technologiques sont liés aux produits finis et à la taille de l'unité.

IV.6. Conditionnement (Emballages)

Les pâtes alimentaires sont souvent emballées dans des sacs en polyéthylène ou en cellophane ou encore dans des boîtes en carton. Ces emballages ont pour but de protéger le produit fini contre toute atteinte microbienne ou réactions enzymatiques et

oxydative ainsi que les dommages pouvant subvenir lors de la livraison ou stockage (**Karel et al., 2000**).

IV.7. Défauts de fabrication des pâtes alimentaires

- **Coloration** : Les défauts de la couleur peuvent apparaître dans le cas des grains germés ; des grains riches en caroténoïdes, en cas d'un séchage rapide ou bien un mauvais malaxage.
- **Piqûres** : Il existe trois sortes de piqûres : les *blanches* qui sont le résultat d'une hydratation insuffisante lors de la pastification ; les *brunes*, qui témoignent d'une contamination des semoules par des particules de son ; et les *noires*, qui proviennent généralement des blés ergotés ou mouchetés non éliminés lors de la mouture (**Feillet, 2000**).
- **Gerçures** : Ce sont des brisures (fêlures) qui apparaissent dans les pâtes sèches suite à un mauvais séchage.

Chapitre 5 : Technologie des fruits et des légumes

Technologie des fruits et des légumes

Introduction

L'importance des fruits et des légumes en matière de nutrition, de santé et d'économie, n'est plus à démontrer. Ce sont eux qui transportent le mieux les vitamines, les minéraux essentiels, les fibres alimentaires, les antioxydants phénoliques, les glucosinolates et autres substances bioactives. Outre ces éléments, ils fournissent également des hydrates de carbone, des protéines et des calories en assez grande quantité. Par les effets qu'ils ont sur la nutrition et la santé, ils permettent à l'homme de se sentir mieux tout en réduisant le risque d'attraper certaines maladies. Les fruits et les légumes jouent donc un rôle important dans notre alimentation quotidienne, et il est conseillé d'en prendre 5 portions par jour.

V.1. Définition des fruits

Le mot « fruit » a deux définitions, selon qu'on l'utilise dans le contexte de la cuisine ou dans celui de la science botanique. Du point de vue de la botanique, le fruit est le résultat de la transformation de l'ovaire après la fécondation des ovules, dont le rôle est de protéger les graines (**F.O.D, 2014**).

De nombreux fruits botaniques ne sont pas comestibles et peuvent même être toxiques. Du point de vue culinaire, le terme « fruit » désigne la partie des plantes qui est à la fois comestible, de goût agréable, généralement consommé crue et apte à faire partie de plats sucrés et de desserts, comme le sont les fraises, les pêches ou les prunes.

En revanche, plusieurs fruits botaniques comestibles, tels la tomate, l'aubergine ou le poivron, se préparent sans sucre et entrent habituellement dans la confection de recettes salées. Ils sont donc considérés comme des légumes ou plus précisément comme des légumes-fruits. Par conséquent, la partie comestible de certaines plantes se définit comme fruit dans le contexte scientifique même si elle se prépare en cuisine comme un légume (**F.O.D, 2014**).

V.2. Classification des fruits

-**Agrumes** : Orange, citron....

-**Fruits rouges** : Cassis, fraise, framboise...

-**Fruits à noyau** : Pêche, abricot, prune....

-**Fruits à pépins** : Raisin, pomme, poire....

-**Fruit oléagineux** : Noisette, noix, olive...

-**Fruit amylacés** : Banane, Châtaignes....

-**Fruit sec**: Figues, datte... (**Burden & Wills, 1992**)

V.3. Définition des légumes

On considère que sont des légumes les produits consommés en plats salés ; hors d'œuvre ; plats d'accompagnement des aliments protéiques et salades.

Les légumes apportent vitamines ; sels minéraux, amidon, fibres et eau. La plupart de légumes sont saisonniers mais avec les échanges internationaux et les procédés de conservations efficaces, il est possible de trouver des légumes frais et variés toute l'année (**F.O.D, 2014**).

V.4. Classification des légumes

Les légumes peuvent être classés selon **la partie de la plante qui est consommée**. Il existe plusieurs catégories, il y a :

- **Racines** : carotte, céleri-rave, navet, betterave, radis, navet, etc.
- **Tubercules** : pomme de terre, patate douce, etc.
- **Bulbes** : poireau, oignon, échalote, ail, etc.
- **Feuilles** : choux, laitue, épinard, cresson, etc.
- **Fleurs** : chou-fleur, brocoli, artichaut, etc.

- **Fruits** : tomate, aubergine, concombre, poivron, courge, avocat, etc.
- **Tiges** : céleri, chou-rave, tige d'asperge, etc (**Burden & Wills, 1992**).

Selon la saveur ; Les fruits et les légumes apportent une multitude de saveurs aux papilles gustatives. Toutefois, ils ont tous un goût différent. Il est donc possible de les classifier selon les quatre saveurs de base, soit les saveurs **sucrées, salée, amère et acide**. Pratiquement tous les fruits se classent dans la catégorie « **sucrée** », par exemple les pommes, les framboises, les fraises, les pêches et les poires.

Il est plutôt rare de trouver des fruits ou des légumes salés à l'état naturel. Souvent, c'est à la suite de procédés de transformation d'aliments qu'on ajoute du sel aux fruits et aux légumes afin d'augmenter leur durée de conservation (comme dans le cas, par exemple, des légumes en conserve). L'olive est un fruit amer et cette saveur est certes l'une des moins appréciées. D'autres fruits et légumes, comme le céleri, l'asperge, le pamplemousse, la roquette et la chicorée, ont un goût légèrement amer. D'autres encore, comme le citron, la lime, la grenade et la tomate, sont plutôt acides. Finalement, les fruits et les légumes peuvent contenir plus d'une seule saveur, même si l'une d'entre elles prend parfois le dessus sur une autre. Par exemple, la tomate a un goût à la fois sucré et acide (**F.O.D, 2014**).

V.5. Valeur nutritive des fruits et des légumes

Les fruits et les légumes sont réputés « bons pour la santé ». En effet, ils contiennent une multitude de vitamines et minéraux, mais aussi de glucides et de fibres, ainsi qu'une quantité importante d'eau. Certains sont aussi riches en antioxydants et peuvent avoir des effets bénéfiques dans le cas de certaines maladies chroniques (les maladies cardiovasculaires, par exemple). De plus, ils sont en général faibles en gras et peu caloriques. Pour toutes ces raisons, les fruits et les légumes font partie intégrante d'une saine alimentation (**Guy et al., 2002**).

V.5.1. Glucides complexes : Les racines, les tubercules et les bulbes sont plus riches en glucides que les tiges, les fruits et les fleurs. Les glucides complexes, comme l'amidon, contiennent plusieurs sucres simples dans la même molécule. L'amidon sert de réserve énergétique à la plante. C'est aussi un glucide essentiel pour la consommation humaine.

En effet, l'amidon est constitué de plusieurs unités de glucose qui, lui, est le principal carburant dont les cellules humaines peuvent extraire de l'énergie. Vu la structure plus complexe de l'amidon, sa digestion par les humains demande un travail plus long et plus ardu. Les légumes qui contiennent de l'amidon en bonne quantité sont la pomme de terre, la patate douce (ou sucrée), les petits pois et le maïs (**Lepatre, 1988**).

V.5.2. Vitamines et minéraux : Les fruits et les légumes fournissent un ensemble de vitamines et minéraux. On y retrouve par exemple de la vitamine A, B6 et C, du potassium, du fer, du magnésium, du cuivre et du calcium. De plus, dans les légumes verts surtout, on retrouve de l'acide folique, une vitamine très importante pour les femmes en âge de procréer et pour les femmes enceintes. Il est important de consommer les fruits frais avec la pelure, car c'est dans celle-ci que se trouve la grande majorité des vitamines et des minéraux (**Guy et al., 2002**).

V.5.3. Fibres : Contrairement à ce que la majorité des gens croient, la plupart des fruits et légumes constituent une grande source de fibres solubles et insolubles qui facilitent notamment le transit intestinal. Comme les vitamines et les minéraux, les fibres se retrouvent surtout dans la pelure des fruits et des légumes, et il est donc important de consommer cette partie de l'aliment si possible (**Tirilly et Bourgeois, 1999**).

V.5.4. Matière grasse : La majorité des fruits et des légumes sont pauvres en matières grasses (moins d'un gramme par portion de 125 ml (1/2 tasse). Font exception l'olive et l'avocat. Cela dit, les gras contenus dans les olives et les avocats sont des acides gras mono-insaturés, c'est-à-dire que ce ne sont pas des gras dommageables pour la santé ; au contraire, ils sont bénéfiques pour la santé cardiovasculaire (**Lepatre, 1988**).

V.6. Evolution des légumes après récolte

V.6.1. Physiologie des légumes : Les végétaux verts en cours de croissance utilisent l'énergie que leur fournit la lumière solaire captée par leur feuille pour fabriquer des sucres en combinant les gaz carboniques de l'air avec l'eau qu'ils puisent dans le sol par leur racine : c'est la photosynthèse.

La plante emmagasine les sucres tels quels, ou bien elle les combine en chaînes longues pour former de l'amidon. Les sucres et amidons (hydrates de carbones) sont emmagasinés dans diverses parties de la plante et utilisés par la suite pour fournir de l'énergie nécessaire à la poursuite de la croissance et à la reproduction (**Guy et al., 2002 ; Lepatre, 1988**).

V.6.2. Déteriorations physiologiques : après récolte Après cueillette, les processus vitaux des produits frais se poursuivent, ils subissent un processus de vieillissement rapidement suivi de décomposition. Le taux de pertes augmente sous l'effet de la température élevée, la faible humidité atmosphérique, les lésions physiques et contaminations. L'ensemble du métabolisme, entraîne des changements de coloration de la peau, un ramollissement dû à la dégradation des composés pectiques insolubles en produits solubles. Les principaux processus sont ; la respiration et la transpiration.

V.6.2.1. Respiration : C'est le processus par lequel les plantes absorbent de l'oxygène et rejettent du gaz carbonique. L'oxygène de l'air décompose les hydrates de carbone (substrats de réserve) de la plante en gaz carbonique et en eau, cette réaction produit de l'énergie sous forme de dégagement de chaleur. La carotte dégage beaucoup plus de chaleur que les fruits et légumes « feuilles », et elle est très sensible au flétrissement. Le tubercule de pomme de terre, perd de l'eau par transpiration sous forme de vapeur dès qu'il est extrait de la terre, il tend à se flétrir et perdre du poids, l'intensité respiratoire croît avec la température (**Bimbenet et al., 2002**).

V.6.2.2. Transpiration ou perte d'eau : La plupart des produits frais récoltés contiennent 65 à 95 % d'eau. Elle est absorbée dans le sol sous forme liquide par les racines, passe dans les tiges et se dégage sous forme de vapeur d'eau, par les parties aériennes (des feuilles). Ce passage de l'eau s'appelle « courant de transpiration ». Il maintient la teneur en eau élevée de la plante et la pression ainsi créée contribue à la soutenir. Les produits frais continuent à perdre de l'eau après récolte (lors de la transpiration) ce qui entraîne une rétraction et une diminution de poids. Les légumes racines sont très sensibles aux pertes d'eau, ils doivent être débarrassés de leurs feuilles. Leur sensibilité dépend aussi du stade de récolte ; plus ils sont récoltés précocement, plus ils sont sensibles au flétrissement (carotte : très sensible et courgette : sensible) (**Bimbenet et al., 2002**).

V.7. Conservation et stockage des fruits

Les fruits sont très fragiles, ils doivent être manipulés avec précaution. La température de stockage se situe entre +6 °C et +8 °C, sauf pour les bananes et les ananas qui doivent être conservés dans un local frais et aéré à une température de +15 °C maximum. Il faut retirer tous les fruits tachés ou abîmés.

V.7.1. Procédés admis pour la conservation des fruits et des légumes

Pour la fabrication des conserves de fruits ou de légumes, les procédés suivants sont admis :

- a. Cuisson
- b. Surgélation.
- c. Conserve des fruits à taux d'humidité élevé et de fruits à taux d'humidité intermédiaire
- d. Séchage.
- e. Fermentation.

V.7.2. Préparations préliminaires

La plupart des fruits sont lavés et essuyés. Insister pour les agrumes qui sont souvent traités avec un produit chimique (exemple : diphényle). D'autres fruits sont épluchés et quelquefois citronnés pour éviter leur oxydation (exemple : banane, poire, pomme, avocat...).

Les noix, noisettes, sont décortiquées avant d'être parfois mondées. Equeuter les fraises après les avoir lavées afin qu'elles ne se gorgent pas d'eau. Les agrumes sont pelés à vif et levés en cellules ; les zestes soigneusement débarrassés de la partie Il ne faut jamais utiliser la peau des fruits traités par un procédé chimique.

V.7.3. Cuisson des fruits et des légumes

Les fruits et les légumes contenant des caroténoïdes (couleur orange) sont relativement résistants à la chaleur. Cependant, une trop longue cuisson peut ternir leur couleur. Une

cuisson courte ne fait pas que préserver la couleur, elle conserve aussi vitamines et saveurs.

Les fruits et les légumes contenant des flavones (couleur blanche) devraient être cuits pendant une courte durée (à la vapeur, par exemple) pour conserver leur couleur, leur saveur et les nutriments qu'ils renferment. Une trop longue cuisson transformera leurs pigments blancs en une couleur jaunâtre ou grise.

Les fruits et les légumes contenant des anthocyanines (couleur rouge-bleu) doivent être cuits en peu de temps. Ce pigment étant hydrosoluble, une longue cuisson dans l'eau entraînera une perte de couleur. Il est donc aussi recommandé de n'utiliser que très peu d'eau (**Albagnane et al., 2002**).

Les fruits et les légumes contenant de la chlorophylle (couleur verte) doivent être soumis à la chaleur le moins longtemps possible. Ils seront donc tendres, mais encore croquants. Une cuisson à la vapeur est à privilégier puisque la cuisson est courte, ce qui permet de conserver les nutriments et de ne pas briser la structure du fruit ou du légume (**Board, 1989**).

V.7.4. Conservation par le froid

Le froid augmente le temps de stockage des végétaux après leur récolte. La conservation des végétaux par le froid est fonction de nombreux facteurs : l'espèce, la variété et la durée de stockage.

Pour une conservation par le froid il faut passer par les étapes suivantes :

- Emballage : il a un rôle protecteur après un lavage des légumes et l'utilisation de quelques fongicides autorisés (éthoxyquine) ou bien une ionisation. Il faut signaler l'utilisation de ces fongicide et le lavage sur l'emballage.
- Pré réfrigération : elle permet de ralentir ou empêcher le développement des microorganismes par un courant d'air froid ; émersion dans de l'eau froid (mais), contact avec la glace (céleris), la glace écrasé (radis)... (**Guy et al., 2002**)

V.7.4.1. Conditions d'entreposage

- La température : la T d'entreposage des légumes à feuilles se fait à 0°C les Cucurbitacées à 7-10°C.
- La durée : en fonction du produit et de la température.
- L'humidité relative de l'atmosphère régulée : trop sèche entraîne le flétrissement rapide, trop humide entraîne au développement de microorganismes.

La composition de l'atmosphère ambiante : est contrôlée pour éviter les excès de CO₂ qui provoque le brunissement et la fermentation (carottes) ainsi que l'excès d'éthylène qui accélère la maturation des fruits (pommes) (**Burden et Will, 1992**).

V.7.5. Entreposage sous atmosphère contrôlée (atmosphère différente de l'air)

- En atmosphère contrôlé stable : à 0°C les pommes peuvent être conservées 8 mois.
- En atmosphère modifiée : elle évolue en fonction du temps avec la respiration et le métabolisme des végétaux.
- En oxygène élevé et CO₂ faible pour empêcher la fermentation (carottes ; orange, céleri, poire).
- En oxygène faible et CO₂ élevé : pour ralentir la maturation des fruits et des légumes par la diminution de la respiration mais accélère la fermentation (banane)
- L'utilisation de basse pression avec modifications momentané d'atmosphère sont plus en plus utilisé.

Avant la commercialisation des fruits non murs entreposées par réfrigération, ces derniers subissent une maturation complémentaire artificielle dans une atmosphère riche en O₂ et enrichie en éthylène à température ≥ 10°C (**Vierling , 2003**).

V.7.6. Conservation par Appertisation

a/ Nettoyage et élimination des impuretés

Le lavage : se fait de deux façons : soit par aspersion, soit par trempage

Université TAHRI Mohamed- Béchar

Le pelage : est nécessaire pour les légumes racine ; car la pelure n'est pas vraiment comestible.

b/ Blanchiment

Il s'agit d'un traitement thermique rapide, il consiste à mettre l'aliment de 1 à 2 minutes dans l'eau bouillante puis à le refroidir rapidement. Pour en conserver les valeurs nutritionnelles et stopper toute activité microbienne et enzymatique.

c/ Emboîtement : Le remplissage des récipients (boîtes ou bocaux), l'emboîtement peut se faire manuellement ou automatiquement. Il est important de laisser un espace libre de 5 à 10 % lors du remplissage.

d/ Jutage: La plupart des légumes sont additionnés d'un liquide de recouvrement qui a plusieurs rôles:

- Conférer une certaine saveur
- Attendrir le produit
- Réduire la durée de l'appertisation en facilitant les transferts thermiques
- Diminuer les réactions d'oxydation.
- Incorporer de façon homogène le sel, le sucre, les épices et les additifs

e/ Préchauffage : effectué avant la fermeture des récipients pour : compléter le blanchiment en éliminant :

- Les gaz contenus dans les tissus des légumes.
- Dilater l'air contenu dans l'espace libre

f/ Fermeture des boîtes : on doit s'assurer de la résistance à la surpression ou à la dépression ainsi qu'à l'étanchéité permanente des boîtes utilisées.

g/ Appertisation : C'est grâce à l'autoclave que la stérilisation ou l'appertisation est possible, chacune des boîtes sera donc chauffée à une température précise 115°C pendant un temps prédéterminé afin de détruire les microorganismes.

h/ Refroidissement: Il permet d'arrêter le traitement thermique et il doit être fait rapidement. C'est directement dans l'autoclave que le refroidissement a lieu.

i/ Etiquetage: Cette étape finalise le procédé. L'étiquetage permet d'identifier ce qui se trouve dans la boîte. Il est donc très important de bien étiqueter les produits.

Une fois bien étiquetées, les boîtes sont stockées et acheminées vers les marchés d'alimentation (Guy et al., 2002).

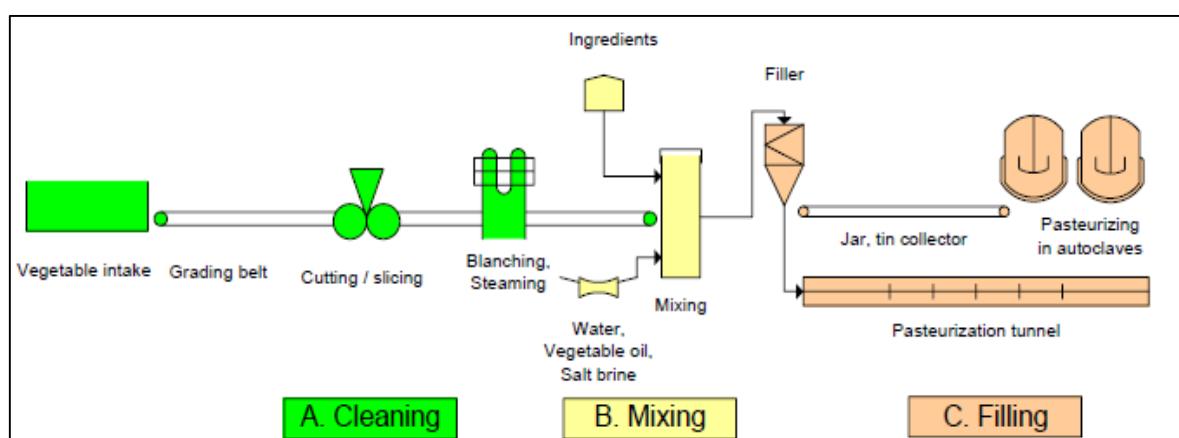


Figure 14 : Diagramme des étapes de préparation d'une conserve des légumes par appertisation (Booklet, 2009)

V.7.7. Fruits et légumes surgelés

Les légumes et les fruits congelés sont légèrement transformés (non bouillis) et rapidement surgelés afin de conserver autant que possible les propriétés originales. Ils décongèlent rapidement et sont parfaits pour le contrôle des portions.

Pour les légumes, les produits de première qualité sont préférés. Les légumes courants sont les haricots verts, les pois, le maïs (sucré), le brocoli, le chou-fleur et les épinards, ainsi que leurs mélanges. Les pommes de terre congelées sans pré-ébullition font également partie de cette catégorie. Les pommes de terre congelées pour les frites, etc. sont exclues. Les fruits congelés courants sont tous les fruits rouges (généralement entiers), les pommes (tranches ou en cubes), les abricots / les pêches (en moitiés ou en tranches) (Booklet, 2009).

Les fruits et les légumes industriels congelés (à réemballer ou à réutiliser ultérieurement) sont emballés dans des cartons doublés de plastique de 10 à 25 kg ou dans des fûts de 200 litres. Les produits de consommation sont emballés dans des boîtes en carton rectangulaires ou des sacs en plastique imprimés allant de 200 à 1000g. Les fruits surgelés sont parfois emballés dans des gobelets en plastique de 250- 500 ml. Une petite cuillère est généralement fournie (**Tirilly et Bourgeois , 1999**).

V.7.8. Conserve des fruits à taux d'humidité élevé et de fruits à taux d'humidité intermédiaire

Pour obtenir des fruits à taux d'humidité élevé et de fruits à taux d'humidité intermédiaire, après la phase d'équilibration de la méthode d'infusion sèche, on sépare le jus des fruits qui sont partiellement déshydratés.

Les taux d'humidité finaux sont très variables selon les fruits. Ils varient habituellement de 15 à 50 pour cent d'eau par rapport au poids et de 0,65 à 0,90 a_w . Ces produits sont stables sans réfrigération ni traitement thermique pendant un an et peuvent être consommés «tels quels» sans réhydratation. Sinon, leur propre jus sucré peut être stocké sans réfrigération pendant 3 à 8 mois selon le type de fruits. Il peut être utilisé comme sirop de table de qualité supérieure ou pour la production de parfums naturels (**Bimbenet, 2002**).

Les quantités d'humectant (glucose, sucre ou autres sucres ou polyols), de composés chimiques tels que les agents antimicrobiens (benzoates, sorbates, vanilline, bisulfite de sodium), d'agents contre le brunissement (bisulfite de sodium, acide ascorbique), d'agents améliorant ou maintenant la fermeté (lactate de calcium, gluconate de calcium) et d'agents pour augmenter l'acidité (acide citrique, acide phosphorique) doivent être déterminées en fonction du poids des fruits et des concentrations finales requises pour la stabilisation du produit.

Pour réduire l' a_w à la valeur désirée, on dissout une quantité suffisante d'humectant (c'est-à-dire de sucre) dans de l'eau (infusion humide) ou on l'ajoute aux fruits (infusion sèche).

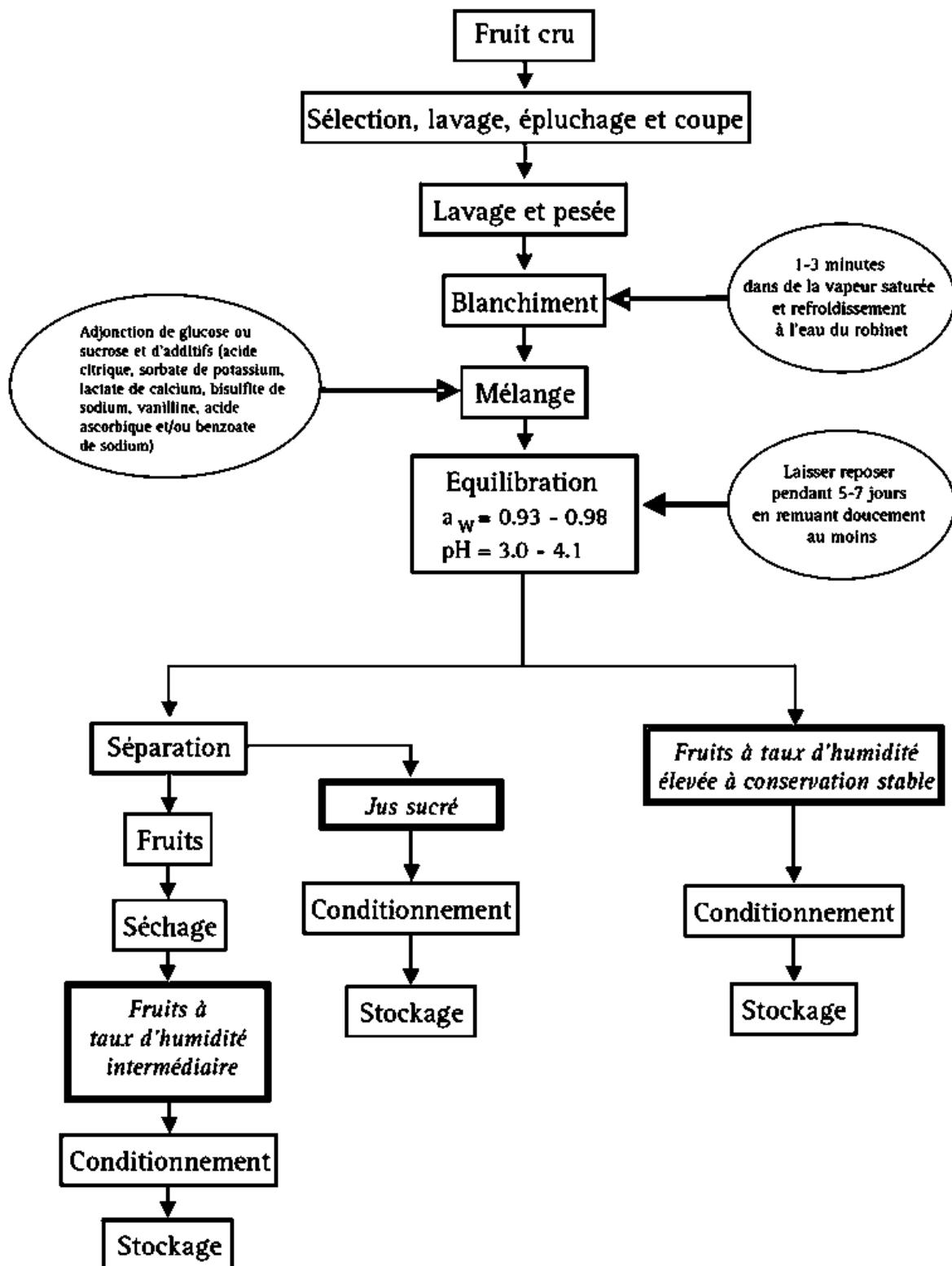


Figure 15 : Diagramme de la technologie des fruits à taux d'humidité élevé et de fruits à taux d'humidité intermédiaire dont la conservation est stable (Andres et al., 2007)

V.7.9. Technologie de séchage des fruits et légumes

Le séchage simple s'applique aux légumes et fruits non sucrés. Associé au fumage, on l'utilise aussi pour la viande et le poisson. L'agent de séchage est l'air, généralement chauffé par le soleil ou parfois par un feu de bois. Cette technologie traditionnelle est la base sur laquelle le CEAS (Centre Ecologique Albert Schweitzer) aide depuis huit ans les paysans et paysannes à s'approprier les techniques complémentaires nécessaires au séchage des fruits sucrés. Le sucre dilué est un facteur de fermentation et de pourriture des fruits frais, mais une fois concentré par le séchage, il devient un facteur de conservation : un milieu contenant plus de 40 % de sucre ne peut plus fermenter et un fruit sec contient jusqu'à 80 % de sucre (**F.O.A., 2010**).

V.7.9.1. Procédé du séchage

Le séchage, qu'il soit traditionnel ou moderne, a pour objet de réduire fortement les diverses réactions participant à la décomposition normale du produit. Pour ce faire il faut donc extraire une part importante de l'eau contenue dans le produit. Cette eau est éliminée par évaporation dans l'air environnant. Pour cela il faut de l'énergie thermique (soleil, électricité, gaz). Grâce à cette énergie, l'eau migre au sein du produit, se transforme en vapeur d'eau et est entraînée vers l'extérieur dans le cas d'un séchoir fermé. Bien sécher c'est donc maîtriser de nombreux paramètres :

- l'énergie thermique (ni trop, ni trop peu) qui provoque l'évaporation de l'eau. La capacité de l'air environnant à absorber la vapeur d'eau dégagée par le produit (d'où la difficulté d'assurer un bon séchage en saison humide car l'air est déjà saturé);
- la vitesse idéale de l'air au niveau du produit de manière à accélérer l'entraînement de la vapeur d'eau : il faut sécher rapidement pour éviter le pourrissement du produit mais pas trop vite pour éviter la formation d'une croûte ;
- les caractéristiques du produit frais : on ne sèche pas un poisson gras comme on sèche un fruit ou un légume ;
- la qualité du produit frais à sécher en amont (approvisionnement, tri, prétraitements) puis du produit séché en aval (conditionnement, stockage, chaîne de distribution) (**F.A.O, 2010**).

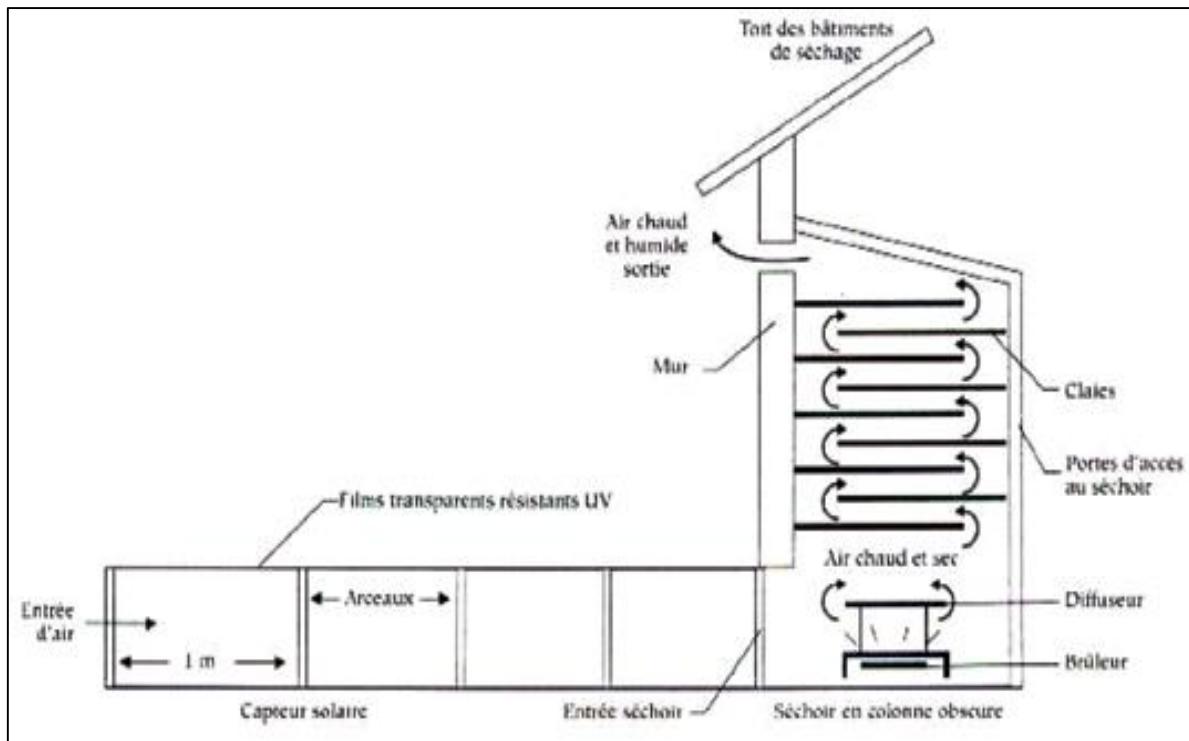


Figure 16 : Disposition de capteur solaire et du séchoir dans un bâtiment (F.A.O, 2010).

Technologie du lait et ces dérivés

Introduction

Le lait constitue l'aliment de base de tous les nouveau-nés appartenant au groupe des mammifères. Il est donc indispensable à la survie du nourrisson, mais il est aussi un aliment de choix dans nos sociétés occidentales et dans de nombreux autres pays du monde. En effet, il possède une grande valeur nutritionnelle.

De tout temps, le lait a été un des éléments les plus complets de l'alimentation humaine. Le lait de femme permet d'assurer celle, essentielle, des jeunes bébés. Le lait de différents animaux (chèvres, brebis et surtout vaches) entre dans la composition de très nombreux produits. Le lait est un produit vivant, il s'altère rapidement si on ne l'entoure pas d'un minimum de soins. Pendant des siècles, la traite, la collecte et la transformation du lait n'étaient pas réalisées dans des conditions permettant d'assurer sa bonne conservation et son transport. Mais depuis une cinquantaine d'années, et surtout les trente dernières, les choses ont évolué très rapidement et très profondément. L'artisanat est pratiquement mort. L'industrie laitière est née et elle s'est aussitôt hissée au niveau des plus performantes et des plus modernes parmi les industries agro-alimentaires (**LEPATRE, 1988**).

VI.1. Définition du lait

En 1909 le congrès international de répression des fraudes tenu à Genève a défini le lait : " Le lait est le produit intégrale de la traite totale et ininterrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum".

Le lait est un liquide de sécrétion des glandes mammaires, glandes spécifiques des mammifères, sécrété normalement par la femelle pour la nourriture des petits après la mise bas (**CHRISTIANE & JEAN-NOEL, 2010**).

VI.2. Aspect

C'est un liquide, opaque, blanc mat plus ou moins jaunâtre selon la teneur en matière grasse ou en B carotène, avec un goût agréable douçâtre.

Tableau 2: Valeur physique moyenne du lait de vache(**CHRISTIANE & JEAN-NOEL, 2010**)

Constituants physiques	Valeurs	
pH	6.5 - 6.7	Renseigne l'état de fraîcheur du lait et la présence des bactéries lactiques.
Acidité titrable	(15-18)° dornique	
Densité	1.028 - 1.036	Lié à la richesse du lait à la matière grasse.

VI.3. Composition biochimique du lait

Le lait est pour chaque génération la base idéale pour d'une saine alimentation, il contient des matières d'élaboration (protéines, eau), des aliments de protection (vitamines, les minéraux), et les éléments énergétiques (hydrates de carbone, matières grasses).

Tableau 3 : Composition standard du lait de vache (**CHRISTIANE & JEAN-NOEL, 2010**)

Composants	g/L
Eau	900
Lactose	50
Lipide	35
Protéines	30
Sels minéraux	9
Vitamines	Traces

V.I.3.1. Glucides

Ils représentent près de 48g/L, la quasi-totalité des glucides est sous forme de lactose hydraté, une très faible partie est sous forme de polyosides libres ou de glucides combinés. Le lactose est un disaccharide constitué par α ou β glucose et une molécule

de β galactose, c'est le constituant majeur de la matière sèche du lait. Le lactose a un pouvoir sucrant faible, six fois moins élevé que celui du saccharose, il est hydrolysé en glucose et galactose par la lactase et transformé en acide lactique par des enzymes microbiennes du colon (**ELISABETH, 2003; ROMAIN & al., 2008**).

VI.3.2. Matière grasse

Les matières grasses du lait entier sont responsables de sa couleur et de sa saveur, et représentent près de la moitié de sa valeur énergétique. Elle est présente sous la forme d'une émulsion de globules gras de 2 à 6 μm de diamètre. La matière grasse est constituée de 98% de triglycéride ; 1% phospholipides ; 1% de substances liposoluble (les vitamines liposolubles et le cholestérol). L'émulsion est stabilisée par les phospholipides, lipides polaires présents à la surface des globules gras.

Le cholestérol et le cholestérol estérifié atteignent 10 à 15 mg pour 100g de lait, teneur relativement faible par rapport à d'autres aliments.

Le lait de vache contient 65% d'acide gras saturés, 35% d'acide gras insaturés dont 3% polyinsaturés.

Ces lipides d'origine laitière ne soulèvent pas d'objection particulière sur le plan nutritionnel et sont une source de vitamines A, D, E, pour l'essentiel (**ELISABETH, 2003; ROMAIN & al., 2008**).

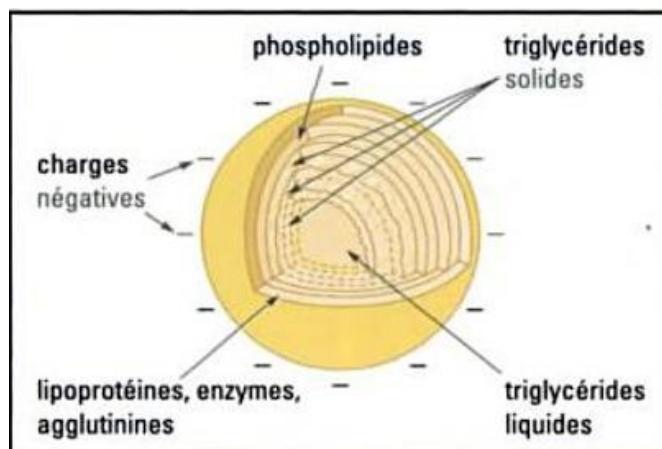


Figure 17 : Globule de la matière grasse dans le lait (**VIGNOLA, 2002**)

VI.3.3. Protéines et autres dérivés azotés

La teneur en dérivés azotés du lait est $3.44 \pm 0.18\%$ dont les protéines représentent 95% des matières azotées du lait. Près de 78% des protéines du lait sont des caséines, 4% albumine, 10.2% globulines et 4.8% d'autres protéines.

La matière azotée non protéique représente 5%, elle est composée des acides aminés libres, les nucléotides, l'urée et l'acide urique en faible quantité (**JOURNET & REMONDE, 1980; ELISABETHE, 2003**).

V.I.3.3.1. La caséine

Le terme de caséine désigne un mélange hétérogène de protéines phosphorylées de petite taille, spécifiques du lait. La richesse de ces protéines en acides aspartique et glutamique, et en ions phosphates donne un caractère acide à ce complexe protéique.

D'un point de vue nutritionnel, les caséines constituent une bonne source d'acides aminés, notamment d'acides aminés essentiels non synthétisés par l'organisme, de calcium alimentaire et de phosphore pour le nouveau-né (**HOLT & SAWYER, 1988**).

La caséine ; se présente dans le lait sous forme de complexe organique, il existe des caséines α , β , γ , K unie à une molécule de $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$ pour former une micelle phosphocalcique colloïdale ; cette micelle est stable grasse à des charges négative (-).

Les caséines sont organisées dans le lait en micelles, structures dites supramacromoléculaires, composées de 92 % de protéines pour 8 % de minéraux inorganiques, principalement du phosphate de calcium. Le diamètre de ces micelles est compris entre 50 et 300 voire 600 nm, avec une valeur moyenne de 120 nm (**JOANE, 2002**).

Les fractions caséiniques se distinguent les unes des autres par leur taille et leur composition en acides aminés (**LEONIL & al., 2001**).

La caséine β (ou β -CN) est la fraction la plus abondante avec des teneurs qui varient entre 33.72 (**PELMUS & al., 2012**) et 37- 42.3% (**MOATSOU & al., 2004**) par rapport à la caséine totale.

Concernant la caséine κ (κ -CN), bien qu'elle détient le rôle clef dans la coagulation du lait par la présure, elle est présente dans le lait ovin mais avec des teneurs plus faibles 7.3 (CAYOT & LORIENT, 1998 ; ASSENAT, 1985).

La formation de micelles « parfaites », de forme sphérique avec un diamètre non uniforme, n'est possible qu'en présence d'ions tels que le calcium (Ca^{2+}), le phosphore (PO_4^{3-}), le citrate ou le magnésium (Mg^{2+}). La structure de ces micelles est lâche étant donné la teneur en eau élevée de 70 % et différents modèles ont été proposés. L'un d'eux décompose la micelle en submicelles, dont le noyau est hydrophobe. Ce noyau est entouré d'une couche polaire rassemblant les parties riches en groupements phosphoriques et en groupements hydrophiles. La caséine κ se trouverait en concentration plus importante dans ces submicelles.

Dans le lait, environ 5 à 10 % de la caséine entière ne se retrouve pas sous forme micellaire. Pour faire passer les caséines d'un état à l'autre, il est possible de déplacer l'équilibre vers la forme micellaire grâce aux ions calcium (ALAIS & al., 2003).

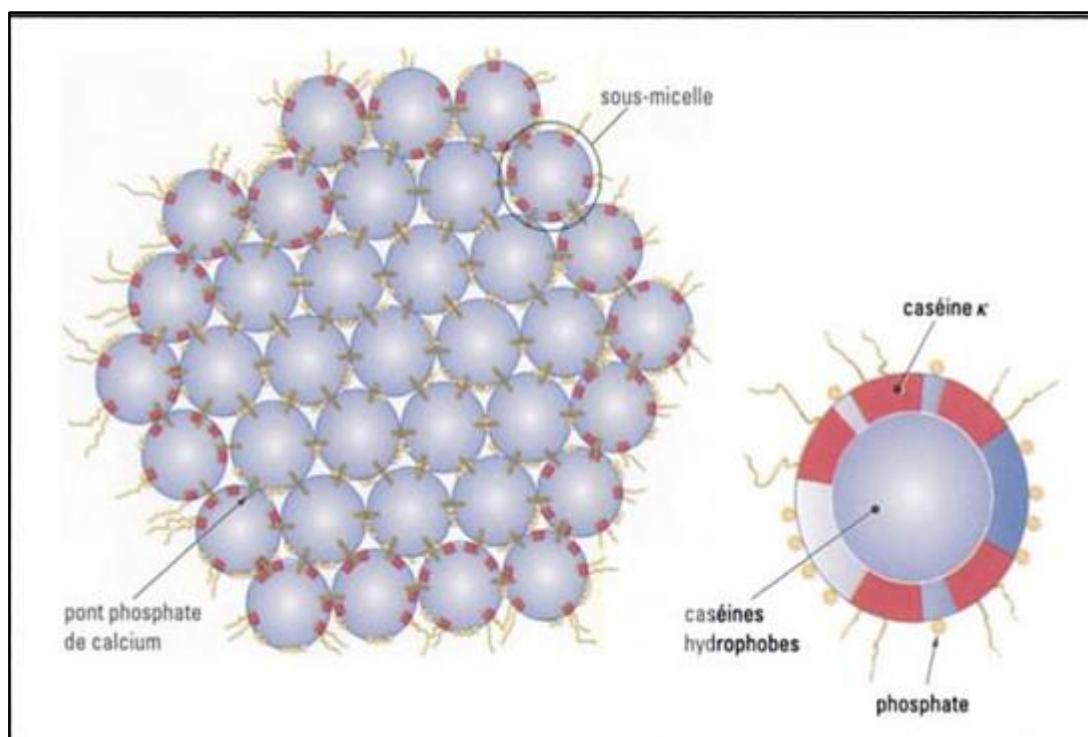


Figure 18 : Micelle et sous micelle de caséine (VIGNOLA, 2002)

VI.3.3.2. Protéines soluble

- β lactoglobuline: c'est la plus importante d'une masse de 3 g/l elle comporte 162 acide aminé. Celui-ci est responsable au cours du chauffage de la formation d'un pont disulfures avec les caséines αS_2 et k. Les protéines sont ainsi stabilisées lors du chauffage. La technique d'un préchauffage stabilisant est utilisée en industrie lors des traitements du lait.

- α lactalbumine : présent à 0.7 g/l. Cette petite molécule de 14 200 Da, est globulaire contenant 123acides aminés et 4 ponts disulfures stables liés à la présence de cystéine. Elle est très riche en tryptophane.

- Immunoglobuline : Synthétisé par les lymphocytes β et par la Moel épinière, véhiculé par le sang à tous les fluides du Corp (**ELISABETH, 2003 ; ROMAIN & al., 2008**).

VI.3.4. La matière saline

Le lait est une source très riche en minéraux, d'où son importance dans l'alimentation humaine et plus particulièrement pour l'apport de calcium. Le lait de vache contient des minéraux dont les deux tiers sont retrouvés sous forme colloïdale, ce qui joue peu sur la pression osmotique. La liste des sels retrouvés dans le lait est longue : calcium, phosphore, sodium, potassium, chlorure, magnésium, zinc, fer, sélénium (**ALAIS & al., 2003**).

Pour 100g, le lait contient 157mg de potassium, 48mg de sodium. Le lait est peu intéressant pour sa teneur en magnésium : 12mg pour 100g. Le calcium et le phosphore sont deux éléments fondamentale de la structure de la micelle. Il apparaît que le rapport calcium/phosphore du lait est de 120/90, ce qui est exceptionnel. Les formes sous lesquelles se présente le calcium favorisent son absorption, et la présence simultanée dans le tube digestif de lactose et d'acide aminés libérés lors de l'hydrolyse des protéines du lait particulièrement efficace pour couvrir les besoins calcique de l'organisme (**ELISABETH, 2003**).

VI.3.5. Vitamines

Parmi les nombreuses vitamines que contient le lait :

Vitamines hydrosolubles : telles que la vitamine B1, B2, B3, B5 et B12. Le tableau 3 présente les quantités des différentes vitamines hydrosolubles du lait.

Tableau 4 : Composition du lait de vache en Vitamine hydrosoluble (ADRIAN ; 1987).

Vitamines	dose
B1 Thiamine	0.44mg/l (la quantité varie selon la saison, l'alimentation et la race)
B2 Riboflavine	
B3-PP Nicotinamide	1.75mg/l
B5 Pantothénique	0.94mg/l
B12 Cyanocobalamine	3.49mg/l
C Acide ascorbique	4.3mg/l 20mg/l

Vitamines liposolubles : vitamine A (Rétinol); vitamine D (Calciférol); vitamine E (Tocophérol); vitamine K, varie selon la richesse du lait en matière grasse.

VI.3.6. Enzymes

De nombreuses enzymes sont présentes dans les différentes fractions du lait de vache ou d'autres laits (micelles de caséines, membrane des globules de matière grasse, leucocytes, plasma, sérum...). Les différentes classes enzymatiques rencontrées sont des hydrolases (amylases, lipases, estérases, protéinases, phosphatases), des inhibiteurs de protéinases, des enzymes d'oxydo-réduction (aldéhyde déshydrogénase, lactoperoxidase et catalase...) (GOT, 1971).

VI.3.7. Hormones

Le lait contient la prolactine dont la valeur moyenne est de 50 mg/l.

VI.3.8. Microbiologie du lait

Le lait est, de part de sa composition physicochimique, un excellent substrat pour la croissance microbienne. De ce fait, le lait comporte une flore originelle et une flore de contamination (LECLERC, 1969).

VI.3.8.1. Flore originelle : La flore indigène du lait se définit comme l'ensemble des microorganismes retrouvés dans le lait à la sortie du pis. Ces microorganismes, plus ou moins abondants, sont en relation étroite avec l'alimentation, la race et d'autres facteurs. Le lait qui sort du pis de vache est pratiquement stérile. Les germes dominants de la flore indigène sont principalement des microorganismes mésophiles (*Micrococcus sp, Lactobacillus sp, Streptococcus sp ou lactococcus*) (LUBIN,1998) .

VI.3.8.2. Flore de contamination : Le lait au cours de la traite, du transport et du stockage à la ferme ou à l'usine, est contaminé par une grande variété de germes. Ces contaminants peuvent être d'origine fécale entraînant la présence de clostridium, d'entérobactéries, coliformes et d'entérobactéries pathogènes (Salmonelle, Yersinia, Compylobacter). Les laits provenant d'animaux malades peuvent contenir des germes pathogènes tel que *Streptococcus galactiae, Staphylococcus aureus, Brucella, Bacillus anthracis* et *listeria*. Ceci explique l'importance d'un contrôle sanitaire rigoureux (LUBIN,1998).

VI.3.8.3. Levures : Elles transforment les sucres en alcool tel que *Saccharomyces fragilis* et *saccharomyces lactis*.

VI.3.8.4. Moisissures : Des champignons de petite taille avec des filaments aériennes fortement aérobies qui se développent à la surface du milieu. Ils sont responsables de certains accidents dans les industries agroalimentaires.

VI.4. Facteurs de variation de la production et de la composition du lait

VI.4.1. Facteurs liés à l'animal

-**Impact de la génétique :** La sélection génétique offre la seule alternative réelle à la nutrition comme moyen pour modifier la composition du lait. Contrairement à l'alimentation qui agit plus rapidement, la génétique a un effet à moyen ou long terme. De plus, elle peut altérer la composition du lait dans presque toutes les directions convoitées (LILIANA, 2016).

-**Impact du stade de lactation :** Le stade de lactation a un effet sur tous les composants du lait observable à travers des changements significatifs dans l'état physiologique de

la vache. La Teneur en matière grasse décline après le vêlage et atteint son minimum lorsque les vaches sont entre 40 à 60 jours post-partum, avec une légère augmentation journalière par la suite (BARBER ET AL., 1997; WALKER et al., 2004). Les teneurs plus élevées en matière grasse et en protéines sont dans le colostrum, une fois que la production de lait commence à diminuer (HEINRICHS et al., 1997).

VI.4.2. Facteurs environnementaux

L'herbe tendre en association avec l'aliment concentré présente un facteur dépressif du taux en cellulose alors que la ration à basse aliment concentré diminue la qualité du lait.

L'importance primordiale de l'alimentation en matière de production laitière est révélée par :

- La très grande quantité de lait produite en saison des pluies où l'eau et le pâturage abondent pour l'élevage extensif.
- La place des charges d'alimentation (80 % des dépenses) en élevage intensif. Tous ceux qui veulent gagner de l'argent, en produisant du lait, doivent donc apporter la plus grande attention à l'alimentation des laitières, en eau et en fourrages (LILIANA ; 2016).

VI.4.3. Le travail

Il est déconseillé de faire travailler durement les vaches laitières, la fatigue diminue la qualité nutritionnelle du lait et même la quantité.

VI.5. La traite

La traite est l'extraction du lait hors de la mamelle. Celle-ci n'a aucune répercussion sur la santé de l'animal et doit aboutir à l'obtention d'une maximale de lait d'excellente qualité.

Soit manuellement ou mécaniquement la traite doit être :

- **Rapide** : afin d'intervenir avant l'inactivation de l'ocytocine responsable de l'éjection du lait.
- **Complet** : pour ne pas écrêmer le lait et hériter les mammites.

- **Hygiénique** : l'hygiène du trayeur, de l'animale et du matériel utilisé est nécessaire.
- **Indolore** : l'opération de la traite ne doit pas faire du mal à l'animale.

VI.6. Traitement du lait à la ferme

À la sortie des mamelles le lait à une température de 35 à 37°C, afin d'éviter l'acidification rapide du lait à cause du développement des microorganismes il faut passer rapidement à la :

- **Filtration** : en utilisant des filtres métalliques ou la toile désinfecté ; cette opération est réalisé pour éliminer la poussière ; les poils et les pailles... Il faut réaliser cette opération lorsque le lait est chaud parce qu'il est plus fluide.
- **Réfrigération** : Il suffit d'abaisser la température à 10 °C pour avoir une qualité satisfaisante.
- **Transport** : il doit être réalisé dans des récipients froids.

VI.7. Lait de consommation

Le lait peut être consommé sous diverses formes mais il peut également être transformé en une gamme de produits dérivés tels que les yaourts, le lait en poudre... Le lait est soumis à divers procédés afin d'obtenir différents produits dérivés (**KONTE, 1999**).

VI.7.1. Lait cru

Le lait cru ne peut pas être longtemps conservé, étant donné la mise en place rapide d'un processus d'altération par des bactéries responsables de la production d'acide lactique à partir du lactose. De plus, il peut contenir des germes pathogènes pour l'homme. Il peut devenir coagulable à l'ébullition lorsqu'il y a une légère acidification avec un pH passant de 6,7 à 6,3 (**MICHEL et al., 2002**).

VI.7.2. Lait pasteurisé

Le lait pasteurisé est défini par PORCHET en 1963 comme suit : " Pasteurisé le lait c'est détruire la presque totalité de sa flore banal et la totalité de sa flore pathogène quand elle existe, par l'emploi convenable de la chaleur, tout en s'efforçant de ne toucher que

le minimum de la structure physique du lait à ces équilibre biochimiques(les diastases et les vitamines).

Pour obtenir ce type de lait, il faut appliquer un traitement thermique de 15 à 30 secondes à 72-75°C. La température permet de diminuer la flore classique, de détruire les germes pathogènes tels que le bacille de Koch (*Mycobacterium tuberculosis*) et d'inactiver la phosphatase alcaline (**KONTE, 1999**).

Ce chauffage du lait a peu d'impact sur les constituants, mis à part une faible perte de thiamine (vit B1) à et de vitamine C (7 à 10 %).

VI.7.3. Lait stérilisé

Du fait de la stérilisation pendant 20 min en bouteilles closes, les constituants du lait subissent des modifications dues au chauffage à 118 à 120°C. Les caséines sont partiellement déphosphorylées et la caséine κ est en partie désialylysée alors que les protéines du lactosérum sont totalement dénaturées. Le brunissement du lait est dû aux interactions protéines-lactose. Le goût de cuit apparaît. L'équilibre minéral Ca/P est déplacé vers la forme insoluble. La couche de surface des micelles est modifiée et leur stabilité baisse (**MICHEL et al., 2002**).

VI.7.4. Lait UHT

Le lait subit un traitement à très haute température (UHT), soit 140-150°C, pendant un temps très court de 1 à 5 secondes. Ainsi la stérilisation est obtenue avec très peu de modifications, cependant il est nécessaire de monter et descendre en températures de manière instantanée et de conditionner aseptiquement le lait à l'arrivée.

C'est un système de production du lait en flux continu. Sa conservation sur plusieurs mois fait du lait UHT un lait de grande consommation. Il est de couleur blanche avec un goût agréable, peu modifié par rapport à un lait pasteurisé (**VINGNOLA, 2002**).

VI.7.5. Lait concentré

Il existe deux procédés pour obtenir des laits concentrés ordinaires entiers ou écrémés, l'évaporation thermique sous vide ou la technique par osmose inverse. Le degré de

concentration n'est pas toujours le même, 2/L ou 3/L. Ce produit est stérilisé puis conservé en boîte métallique après un passage sous l'autoclave.

Le lait concentré sucré est une « confiture » obtenue par évaporation du lait entier sucré. Afin d'obtenir la texture voulue, non sableuse, le lait chaud estensemencé par des cristaux de lactose (**VINGNOLA, 2002**).

VI.7.6. Lait en poudre

L'extrait sec d'un lait concentré écrémé se situe entre 35 et 50 %. Les procédés de séchage d'un lait écrémé concentré s'effectuent par pulvérisation d'un courant d'air chaud à 140-150°C par application de différentes techniques, celle du brouillard, du Spray ou encore par atomisation. L'eau s'évapore de manière instantanée et la température à la fin du procédé ne s'élève plus qu'à 90°C environ. La poudre blanche obtenue ne contient plus que 4 % d'eau, et ne présente quasiment aucune modification de sa composition, à part une diminution de quelques vitamines et enzymes (**KABIR, 2015**).

Il existe un problème de stabilité du lactose face à l'eau (le lactose à l'état amorphe n'étant pas stable), c'est pourquoi il faut favoriser la cristallisation après le séchage. Ainsi la structure particulière de la poudre apporte solubilité, absence de montage, écoulement aisé...

Le lait sec entier, c'est à dire non écrémé avec des lipides, est difficile à conserver étant donné l'oxydation des lipides. La seule façon de le conserver est de le conditionner sous vide dans un récipient hermétiquement clos (**KABIR, 2015**).

VI.8. Principales technologies utilisées en industrie laitière

La transformation du lait ne fait appel à aucun traitement chimique. Seuls des procédés physiques et des réactions biochimiques sont utilisés. Parmi les principaux :

VI.8.1. Traitements thermiques : ils permettent de garantir la qualité sanitaire des produits mais conditionnent également leur durée de vie et leurs caractéristiques technologiques et texturales. Ils améliorent par exemple la fermeté des laits fermentés et la coagulation enzymatique, étape importante en fromagerie. Les couples temps/température utilisés varient selon les produits.

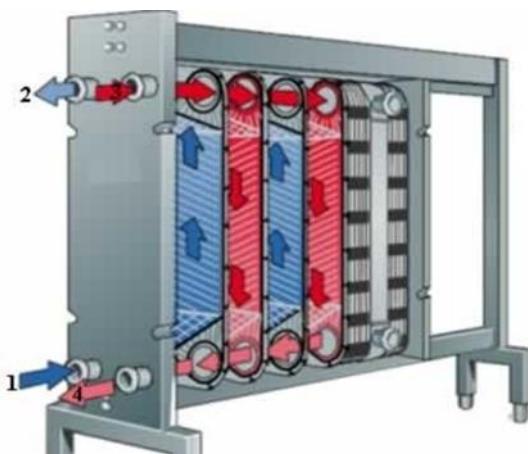


Figure 19 : Pasteurisateur (Echangeur à plaque) (ACHAT ; 2007)

VI.8.2. Ecrémage : cette opération manuelle (crémage) ou mécanique (par centrifugation) consiste à séparer la crème (globules gras en suspension) du lait. La crème peut ensuite être utilisée pour la production de beurre ou de crème de consommation.

VI.8.3. Homogénéisation : elle vise à stabiliser la phase grasse du lait et éviter la montée de la crème même après un entreposage de plusieurs jours. Ce procédé consiste à réduire la taille des globules de matière grasse en fines gouttelettes qui se répartissent de façon homogène dans la phase aqueuse. L'homogénéisation est utilisée dans la fabrication du lait de consommation, de yaourts et lors de la préparation du lait pour certaines technologies fromagères.

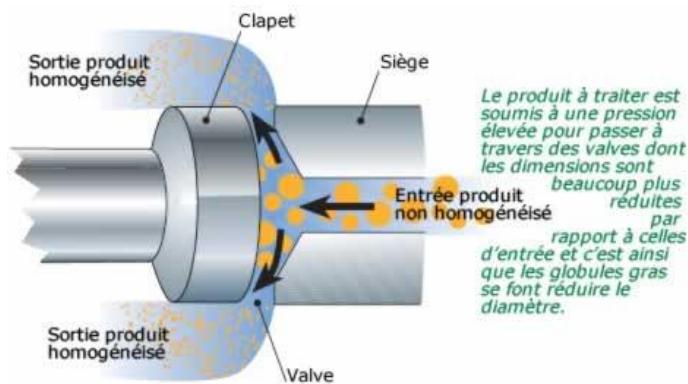


Figure 20 : Principe de fonctionnement d'un homogénéisateur (ACHAT ; 2007)

VI.8.4. Clarification : La clarification est l'opération par laquelle le lait est soumis à une force centrifuge dans le but d'en extraire les particules plus denses, tels les débris cellulaires, les leucocytes et les matières étrangères. Sans ce traitement, ces particules sédimenteraient dans le lait homogénéisé, et devenir visibles dans les contenants transparents.

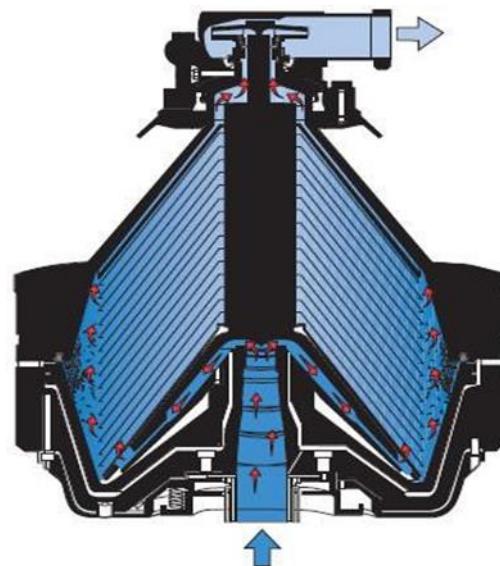


Figure 21 : Clarificateur centrifuge.

VI.8.5. Séchage : il permet de transformer le lait (ou ses composés) en poudre favorisant ainsi leur conservation, leur stockage et leur transport. C'est une méthode combinant évaporation sous vide et déshydratation thermique par atomisation (« spray process ») le lait est vaporisé sous forme de gouttelettes au sein d'une chambre à séchage (air chaud

et sec) et est récupéré sous forme de poudre) ou par cylindre chauffant (« roller process » : le lait circule entre les parois externes de deux cylindres rotatifs proches, chauffés de l'intérieur ; il est récupéré sous forme de paillettes) (VILAIN, 1999).

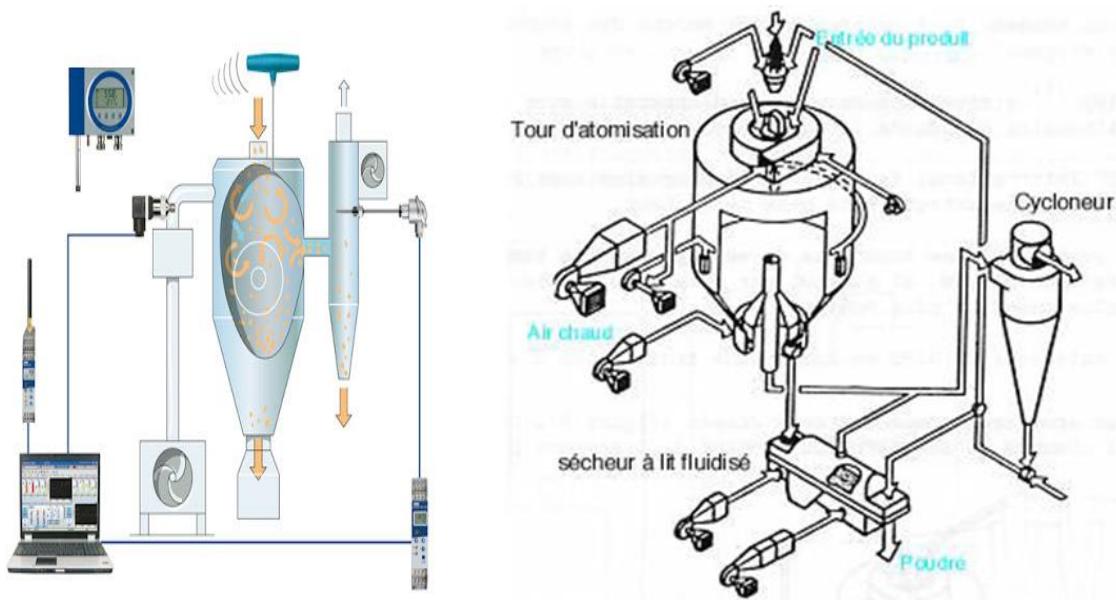


Figure 22 : spray processus pour séchage du lait (ACHAT ; 2017)

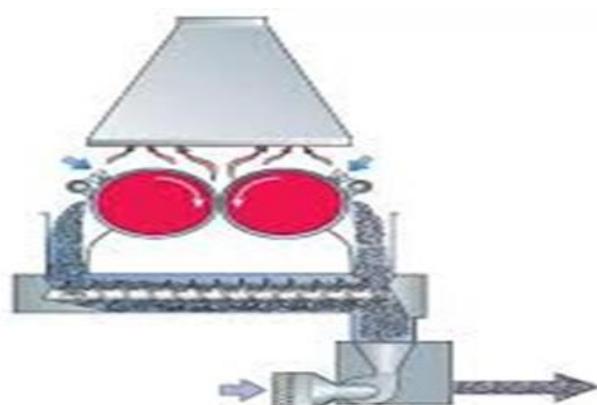


Fig. 17.2 Principe du sécheur alimenté par pulvérisation.

	Lait Fluidé chaud Air pour transfert pneumatique et refroidissement
--	---

Figure 23 : Hatmaker processus pour séchage du lait (int)

VI.8.6. Filtration : ces procédés physiques de séparation consistent à filtrer les liquides laitiers au travers d'une membrane de porosité contrôlée. Dans les techniques de filtration communément utilisées, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse qui diffèrent entre elles par la taille des pores et la pression appliquée (JEANTET et al., 2008).

VI.8.7. Standardisation : elle consiste à amener le lait à une concentration donnée en matière grasse (par centrifugation) ou en protéines (par ultrafiltration). Ces ajustements permettent de pallier les variations de composition naturelles inhérentes à la race bovine ou liées à l'alimentation des vaches et aux saisons (JEANTET et al., 2008).

VI.9. La fermentation : réactions biochimiques réalisées sous l'influence d'enzymes microbiennes. Il existe différents types de fermentation :

- **La fermentation lactique :** transformation du lactose en acide lactique par des bactéries dites « lactiques » (*Lactobacillus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Leuconostoc sp...*) utilisées notamment dans la fabrication des fromages affinés ou des laits fermentés .

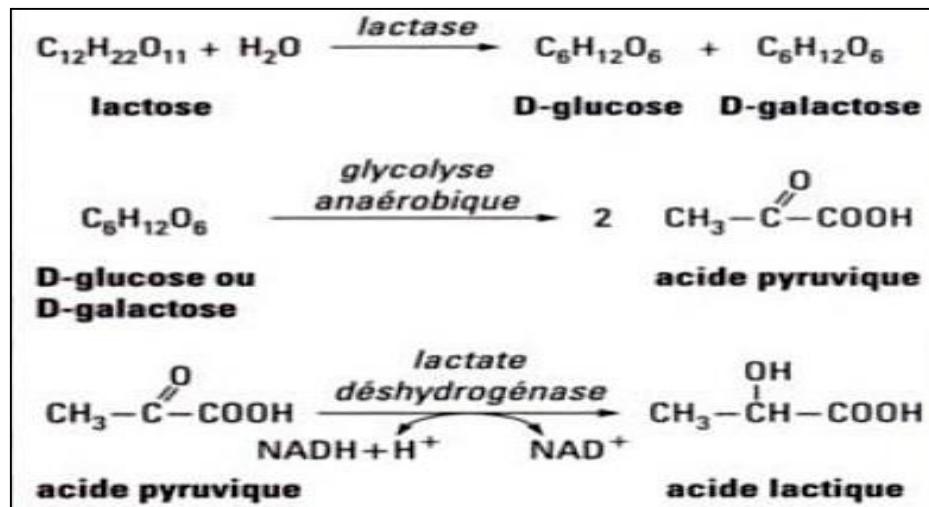
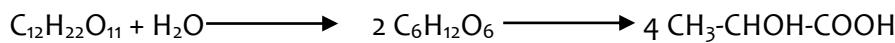


Figure 24 : La fermentation du lactose

- **La fermentation propionique:** transformation du lactose en acide propionique, acide acétique et dioxyde de carbone (CO_2) par des bactéries du genre *Propioni bacterium*. Ces

bactéries jouent un rôle important au cours de l'affinage des fromages à pâte pressée cuite comme le gruyère par exemple.

VI.10. La fermentation du lait

La fermentation du lait permet de le conserver plus longtemps et rend les produits laitiers fermentés plus digestes.

Cette transformation du lait est due à la déstabilisation des micelles de caséine par protéolyse, ce qui entraîne sa coagulation.

Les caséines représentent 79,5% des protéines totales du lait de vache. Elles sont présentes sous forme de micelles formées par l'association des différentes caséines maintenues entre elles par du phosphate de calcium. Ces micelles sont en suspension dans la phase aqueuse du lait, celles-ci peuvent être dégradées par acidification, c'est ce qu'on appelle la technologie lactique. Le lait est alorsensemencé par des ferments lactiques (le lactose est leur substrat qui sera transformé en acide lactique) qui provoquent son acidification détruisant ainsi les interactions protéines-minéraux et l'édifice micellaire est donc désagrégé.

Cette étape de transformation du lait en caillé est essentielle dans la fabrication des laits fermentés, des fromages et de certains desserts lactés. Elle est réalisée grâce à l'emploi de bactéries lactiques et/ou d'agents coagulants qui peuvent être d'origine microbienne, fermentaire, végétale ou animale (présure).

Cette coagulation va avoir diverses conséquences : elle modifie la texture, le goût et la qualité du lait. Le pH est également diminué ce qui permet de limiter la croissance de bactéries indésirables. Quant à eux, les ferments se multiplient et produisent des composés à l'origine des propriétés organoleptiques des produits laitiers fermentés (**LUCILE et al., 2016**).

VI.11. Lait fermentés

La dénomination "lait fermenté" est réservé au produit laitier préparé avec des laits écrémés ou non ou des laits concentrés ou en poudre écrémés ou non, enrichis ou non de constituants du lait, ayant subi un traitement thermique au moins équivalent à la

pasteurisation,ensemencés avec des microorganismes appartenant à l'espèce ou aux espèces caractéristiques de chaque produit (**KONTE, 1999**).

VI.11.1. Type des laits fermentés

- a) Lait fermenté à base d'une flore mésophile, dont la texture est filante exp ; Lben.
- b) par Lait fermenté à base d'une flore thermophile exp ; yaourt.
- c) Lait fermenté à base des bactéries pro biotiques exp ; Le Kéfir (lait de bovin ou de chèvre acidifié et alcoolisé à 0,6 – 3% d'alcool. le Koumis (lait fermenté alcoolisé préparé à partir de lait de jument ou de chamelle à 0,5-2,5% d'alcool).

VI. 11.2. Yaourt ou yoghourt

Selon le Codex alimentarius et la FAO (Food and Agriculture Organization, 1975), le yaourt est un « produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait (pasteurisé, concentré, partiellement écrémé enrichi en extrait sec) ». Les bactéries dans le produit fini doivent être vivantes et présentes en abondance. Ces produits doivent notamment être maintenus jusqu'à leur consommation à une température comprise entre 0et 6 °C pour que les bactéries lactiques restent vivantes.

Bien qu'il existe plusieurs types de yogourt de fabrication industrielle (ferme, brassé, fruits mélangés, fruits non mélangés), le mélange de base de ces produits demeure essentiellement le même.

VI. 11.2.1. Standardisation du lait

Il consiste en un volume déterminé de lait frais, entier ou partiellement écrémé, de bonne qualité bactériologique, exempt d'antibiotique et autres agents antimicrobiens, qu'on enrichit légèrement en extrait sec par l'une ou l'autre des techniques suivantes :

- addition de poudre de lait entier ou écrémé .
- addition de lait concentré par évaporation ou par osmose .
- addition de retentas de lait ou de lactosérum .
- concentration directe par évaporation, osmose inverse.

La teneur en extrait sec total est ajustée entre 12 et 15% selon la texture visée (**TAMIME & ROBINSON, 1985**).

VI.11.2.2. Pasteurisation

Au cours du préchauffage du produit, on ajoute généralement un agent stabilisant comme la gélatine et/ou la pectine. Le produit subit ensuite successivement une homogénéisation et une pasteurisation ; dans cette dernière opération, les conditions de chauffage sont extrêmes : 85°C pendant 30 min et ont pour principale fonction de préparer le produit en vue d'obtenir une texture plus épaisse et plus onctueuse.

VI.11.2.3. Inoculation et incubation

Après avoir refroidi le mélange à 44 - 46°C, l'inoculum de cultures de *Lactobacillus bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* à des proportions voisines de 1:1 est ajouté à un taux d'inoculation de 1,5 à 2,5% (v/v). D'autres souches peuvent aussi être ajoutées dans des proportions variables, généralement inférieures aux deux précédentes, pour donner au yogourt certaines caractéristiques texturales et gustatives particulières. Après une période d'incubation plus ou moins poussée, soit de 2 à 6 heures selon le degré d'acidification visé et l'importance de l'inoculum utilisé, le produit, est homogénéisé au moyen d'une lisseuse avant de le mélanger à différents ingrédients (fruits, céréales, agents stabilisants) et de procéder à l'emballage (**SINGH, 1983**).

a/ *Streptococcus thermophilus*.

St. thermophilus est une coque à Gram positif, anaérobiose facultatif, non mobile. On le trouve dans les laits fermentés et les fromages (**ROUSSEL et al., 1994**). C'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1%) et aux antibiotiques. Elle est aussi résistante au chauffage à 60°C pendant 30 minutes (**DELLAGLIO et al., 1994**). Elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de longueurs variables ou par paires. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C et son métabolisme est du type homofermentaire (**LAMOUREUX, 2000**).

Le rôle principal de *St. thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique. En plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les

lait fermentés. Elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et de mannose) (**BERGAMAIER, 2002**).

b/ *Lactobacillus bulgaricus*

Lb. bulgaricus est un bacille Gram positif, immobile, asporulé, microaérophile. Il est isolé sous forme de bâtonnets ou de chainettes. Il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucres par voie d'Embden Meyerhof. Il est incapable de fermenter les pentoses.

Lb. bulgaricus est une bactérie thermophile, très exigeante en calcium et en magnésium et sa température optimale de croissance est d'environ de 42°C. Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt (**MARTY-TEYSSET et al., 2000**).

Ces deux bactéries lactiques tolèrent de petites quantités d'oxygène. Ceci peut être probablement relié au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) qui est produit dans les cellules en présence d'air. Le système le plus efficace pour éliminer le peroxyde d'hydrogène est l'utilisation d'une enzyme, la catalase, dont les bactéries lactiques sont déficientes. Ces dernières possèdent plutôt une peroxydase (pseudo catalase) qui est moins efficace que la catalase. Comme les bactéries lactiques n'éliminent pas facilement le peroxyde, elles sont dites microaérophiles (**DOLEYRES, 2003**).

C/ Comportement associatif des deux souches

St. thermophilus et *Lb. bulgaricus* se développent en association, appelée protocoopération, dans des cultures mixte (figure 9) ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel (**DRIESSEN, 1981 ; RADKE-MICHELL ET SANDINE, 1986**).

Ces bactéries, par leur activité acidifiante, ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique de produit. En parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à la qualité organoleptiques du yaourt. D'un point de vue nutritionnel l'activité fermentaire de ces espèces lactiques favorise une solubilisation des différents constituants du lait améliorant ainsi leur biodisponibilité (**NGOUNOU et al., 2003**).

Lors de la production de yaourt l'utilisation combinée des deux espèces bactériennes permet de valoriser l'interaction indirecte positive existante entre elles. Cette interaction appelée protocoopération se traduit d'abord par une augmentation des vitesses d'acidification par rapport aux vitesses observées en cultures pures, la coagulation du lait prend 6-10 heures à 45°C en culture pure et 2-2,5 heures en culture mixte. Un accroissement des concentrations bactériennes est observé en parallèle avec une résistance plus élevée à l'acidité du milieu (**DAVIS, 1971;**). Elle induit également une amélioration de la production des composés d'arômes (acétaldéhyde notamment) et de la stabilité physique du produit (réduction des problèmes de synérèse) (**AMOROSO ET NANCA, 1990; ERNEST, 1990**).

D/ Facteur influençant la proto-coopération des deux souches

Le métabolisme mutuel de *Lb. bulgaricus* et *St. thermophilus* dans le lait est montré dans la figure 2 et commenté dans plusieurs documents. Nous citerons quelques-unes des interactions fondamentales entre les deux espèces dans la culture de départ.

La stimulation de *St. thermophilus* par *Lb. bulgaricus* est réalisée grâce à l'activité protéolytique du lactobacille, qui libère des petits peptides et des acides aminés au profit du streptocoque. Les plus importants de ces acides aminés nécessaires à la croissance mutuelle des deux souches sont : l'histidine, la thréonine, la valine (**DRIESSEN ET KINGMA, 1982 ; TAMMAM & al., 2000 ; TAMIME & ROBINSON, 2003**).

En retour, *St. thermophilus* fournit de l'acide formique et du CO₂ qui tous deux vont stimuler la croissance de *Lb. bulgaricus*. *St. thermophilus* assimile l'oxygène dans le lait plus rapidement, créant ainsi des conditions favorables pour la croissance de *Lb. bulgaricus* (**KOSIKOWSKI, 1982**). Selon certains auteurs *St. thermophilus* produit de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO₂) qui n'est pas issu du métabolisme du lactose, ce CO₂ produit est dû à l'activité de l'uréase qui hydrolyse l'urée du lait en CO₂ et NH₃ (**ECK & GILLIS, 1997 ; JUILLARD & al., 1998**). Certaines souches de *St. thermophilus* ne possèdent pas cette activité protéasique, par conséquent certains auteurs expliquent cette production de CO₂ par la voie de Leloir selon laquelle le galactose produit est transformé en acide lactique et en CO₂, assurant ainsi les conditions

d'anaérobiose pour la croissance des lactobacilles (**SIMOVA, 2007 ; ANGELOV et al., 2009**).

Lorsque d'autres bactéries notamment probiotiques sont associées aux bactéries du yaourt, d'autres interactions prennent place. Par exemple, les bifidobactéries sont stimulées par l'activité protéolytique des lactobacilles alors que *Lb. bulgaricus* limite le développement de *Lb. acidophilus* (phénomènes de compétition et d'inhibition). En outre, des phénomènes de croissance associative ont été démontrés entre *St. thermophilus* et *Lb. helveticus* ou *Lb. acidophilus*. Enfin, des mécanismes d'inhibition spécifique entre les souches liés à la production de bactériocines existent chez les bactéries probiotiques comme chez les bactéries du yaourt. Ces caractères sont toutefois dépendants des souches présentes dans le milieu. Il est donc nécessaire de vérifier la compatibilité des souches avant de les associer (**BEAL & SODINI, 2003**).

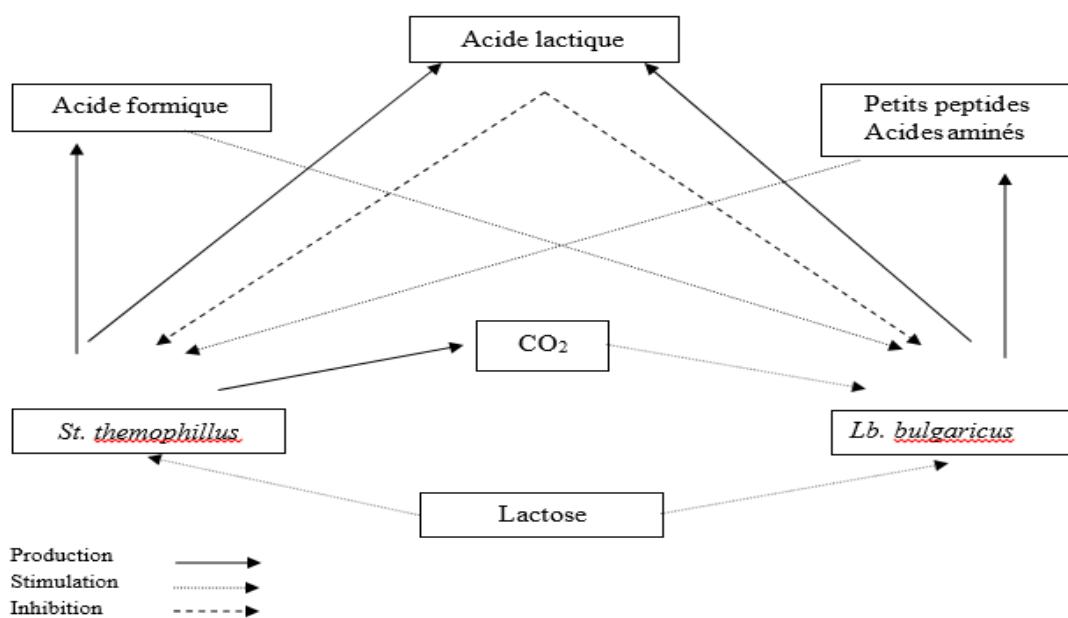


Figure 25 : Schéma illustrant les interactions de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* en culture mixte dans le lait (**MAHAUT et al., 2000**)

VI.11.2.4. Conservation

Il est ensuite placé au réfrigérateur à une température de 4°C pour ralentir l'action bactérienne et lui assurer une durée de conservation possiblement de l'ordre de 30 jours.

VI.11.2.5. Caractéristiques réglementaires

Plusieurs variantes peuvent aussi être introduites pour donner naissance à divers types de yaourt. En plus de ses formes classiques de préparation et de présentation, comme ferme ou brassé, nature ou aux fruits, le yaourt peut se retrouver congelé, à l'état liquide comme boisson, pasteurisé, stérilisé et à basse teneur en calories. Même si la formulation de tels produits subit quelques modifications soit par l'addition d'extrait sec de lactosérum ou par écrémage, ces formes de yaourt demeurent toujours des produits laitiers fermentés essentiellement par deux bactéries thermophiles : *L. bulgaricus* et *St. thermophilus*, ces bactéries doivent être vivantes et abondantes, au minimum $>10^7$ bactéries/g de produit fini au moment de la vente. Les Ingrédients autres que laitiers ne doivent pas dépasser les 30 % au maximum (ROUSSEAU, 2005).

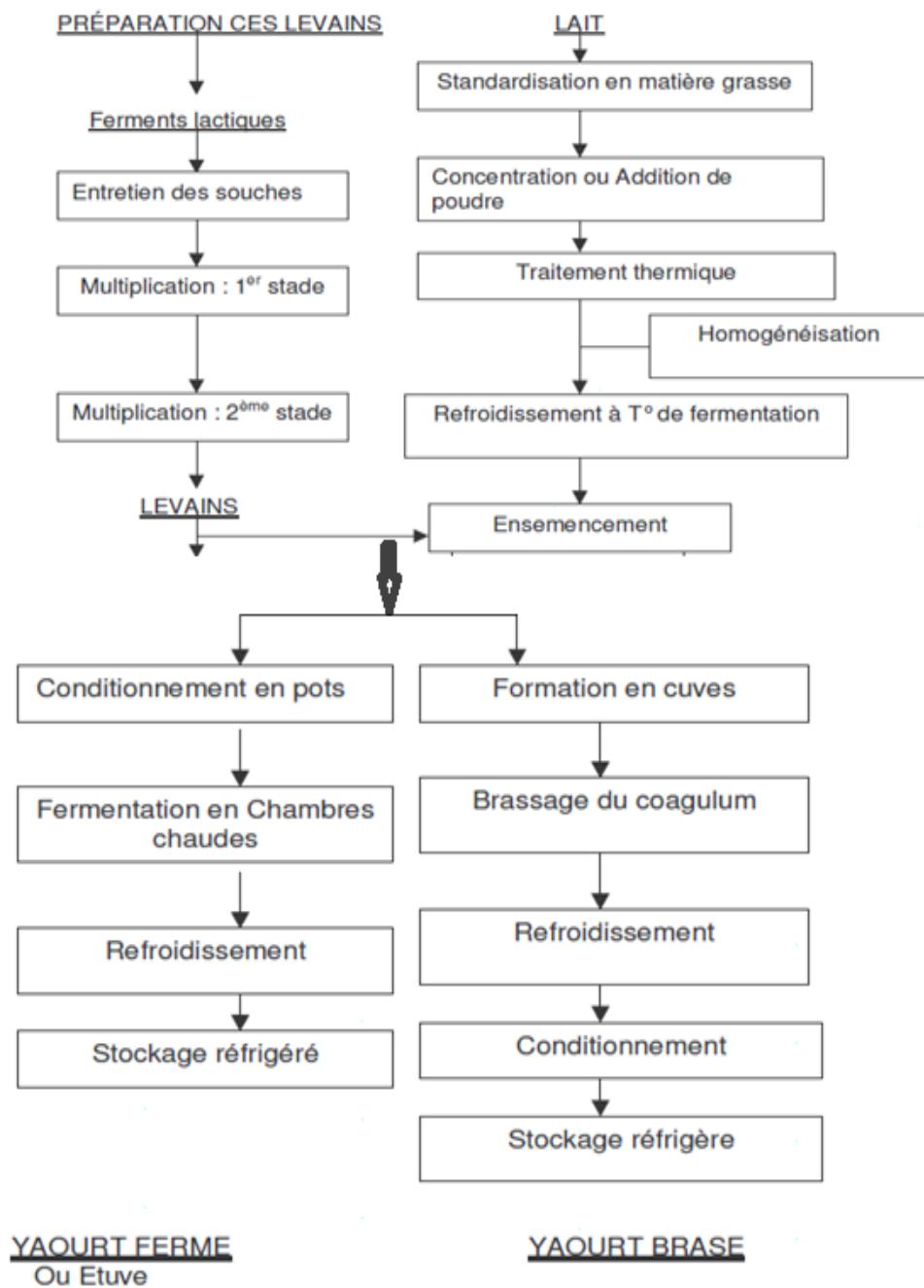


Figure 26 : Schéma général de la fabrication de yaourt

VI.11.4. Fromage

Traditionnellement, la production de lait caillé est dominée par des actions de « la nature» et résulte de la production du beurre dont le lait caillé est un Coproduit. Ainsi on peut distinguer trois produits : le crème, le lait caillé et le beurre. A côté du lait caillé, un lait fermenté surtout connu comme un produit offert par les femmes peuls, existe le fromage qui est un caillé présumé traditionnellement préparé par les maures et les Touaregs. La quantité du lait et du fromage produits traditionnellement laisse à désirer, car, à la différence des techniques modernes, la chaleur et le froid (pasteurisation et réfrigération) ne sont pas utilisés dans les techniques traditionnelles.

VI.11.4.1. Définition

Le fromage selon la norme codex, est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou demi-dure, dure ou extra dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum: caséine ne dépassent pas celui du lait (**commission du codex Alimentarius,1978**).

Un fromage est un aliment obtenu à partir de lait coagulé ou de produits laitiers, comme la crème, puis d'un égouttage suivi ou non de fermentation et éventuellement d'affinage (fromages affinés). Le fromage est fabriqué à partir de lait de vache principalement, mais aussi de brebis, de chèvre ou de bufflonne. Le lait est acidifié, généralement à l'aide d'une culture bactérienne. Une enzyme, la présure, ou un substitut comme par exemple de l' acide acétique ou du vinaigre, est ensuite adjointe afin de provoquer la coagulation et former le lait caillé et le petit-lait (**André & Jean-Claude, 1997**).

Certains fromages comportent de la moisissure, soit sur la croûte externe, soit à l'intérieur, soit sur la croûte et à l'intérieur

VI.11.4.2. Types de fromage

Le fromage est classé selon le type de coagulation par ferment ou par présure, selon le type de la pâte ; pâte fraîche, pâte molle et pâte dure et selon la croute lavé, fleurie ou synthétique, les différents types sont classés sur le tableau 5.

Tableau 5 : Types de fromage

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

La transformation des caséines en fromage est l'une des plus importantes transformations technologiques dans le domaine des industries agro-alimentaire. Les caséines sont actuellement recherchées aussi pour leurs propriétés fonctionnelles que pour les activités biologiques de leurs peptides constitutifs (**CAYOT & LORIENT, 1998**).

-**Fromages blancs et fromages frais** : La dénomination « fromage blanc » est réservée à un fromage non affiné qui, lorsqu'il est fermenté, a subi une fermentation principalement lactique. Les «fromages blancs frais » ou « fromages frais » sont des fromages blancs fermentés qui répondent à un critère supplémentaire : ils doivent renfermer une flore vivante au moment de la vente au consommateur.

-**Fromages à pâte molle** : Les fromages à pâte molle sont des fromages affinés ou non ayant éventuellement subi, indépendamment de la fermentation lactique, d'autres fermentations, et dont la pâte n'est ni cuite ni pressée. Ces fromages comportent diverses déclinaisons : à croûte fleurie, à croûte lavée,...

-**Fromages à pâte pressée** : Il s'agit des fromages dont le caillé est pressé après soutirage, puis mis à l'affinage ; il y a principalement deux types :

- **Fromages à pâte pressée cuite** : Ce sont des fromages à pâte pressée dont le caillé a subi un chauffage supérieur ou égal à 50°C au moment de son tranchage.
- **Fromages à pâte pressée non cuite** : Ce sont des fromages dont le mélange caillé-sérum peut être chauffé, mais à une température inférieure à 50°C et dont le caillé est pressé après soutirage-moulage.

VI.11.4.3. Technologie de transformation du fromage

Habituellement la fabrication du fromage comprend trois étapes : La formation d'un gel de caséines, c'est la coagulation du lait ; la déshydratation partielle du gel, c'est l'égouttage qui aboutit à un caillé et le salage. Ces étapes concernent les fromages frais. Le reste des fromages subissent en plus une étape d'affinage, ce sont les fromages affinés (Camembert, Roquefort, Gouda, Tulum,...).

VI.11.4.3.1. Coagulation du lait

L'acidification du lait peut être obtenue par les produits de fermentation de bactéries acidifiantes ou par des composés chimiques d'action acidifiante directe ou indirecte. La

diminution concomitante du pH a pour effet de faire régresser l'ionisation des fonctions acides des caséines induisant le déplacement progressif du calcium et du phosphate inorganique de la micelle vers la phase aqueuse. Ceci induit la désorganisation des micelles et une réorganisation des sous unités micellaires (**BRULE et al., 1997**).

L'acidification microbienne du lait est un processus progressif, lent et uniforme. Il est caractérisé par des difficultés liées à la maîtrise du développement microbien (cinétique de multiplication, état physiologique, facteurs de croissance, produits de métabolismes et autres). Le taux et l'importance de l'acidification influencent la texture du gel en contrôlant son taux de déminéralisation. Le gel acide obtenu est friable, lisse et homogène (**ALAIS & LINDEN, 1997**).

Dans la coagulation enzymatiques, plusieurs enzymes protéolytiques d'origine animale (veau, taurillons, porc et poulets), végétale (artichaut, chardon) et microbienne (*Kluyveromyces*, *Mucor miehi*, *Mucor pusills* et *Endothia parasitica*) sont utilisés. L'enzyme la plus fréquente en fromagerie est la présure, secrétée dans la caillette des jeunes ruminants nourris au lait. Son mécanisme d'action fait apparaître trois étapes : hydrolyse enzymatique de la liaison peptidique (phe105-Met106) de la caséine k, ensuite agrégation des micelles de caséines déstabilisées et puis développement d'un réseau par réticulation et formation d'un gel. Les gels obtenus sont élastiques et peu friables. Leur raffermissement est rapide et important par rapport au gel lactique. Leur porosité est bonne, mais leur imperméabilité est forte (**RAMET, 1985**).

VI.11.4.3.2. Egouttage

L'égouttage est un phénomène dynamique qui se caractérise par la quantité de lactosérum éliminé durant le temps. En effet, il fixe les caractéristiques physiques (pH et aw) et chimique du caillé et par conséquent l'affinage du fromage. Le processus d'égouttage est lié à des facteurs directs correspondant à des traitements de types mécanique et thermique, des facteurs indirects (acidification et coagulation enzymatique) et des facteurs liés à la matière première (richesse en caséine laitière, en protéines solubles et en matière grasse) (**Walker, 2004**).

VI.11.4.3.3. Salage

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

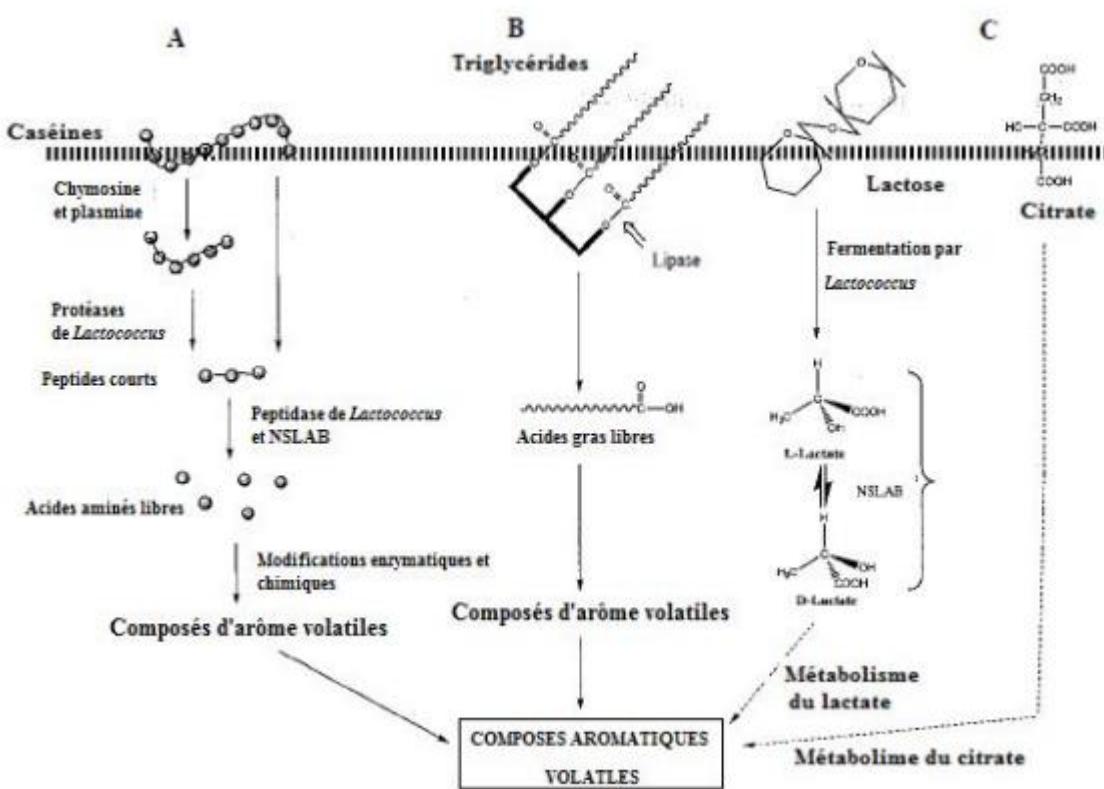
Les modalités de salage sont par saumurages (Emmental, et Camembert), salage à sec et salage en masse. Le salage en masse est utilisé dans les fabrications traditionnelles de quelques fromages typiques du bassin méditerrané. Il permet la préservation du lait, prolonge les phases de coagulation et d'égouttage du fromage. Le sel permet d'atteindre l'humidité appropriée du fromage. Il exerce, selon sa concentration, une action microbienne sélective et un effet inhibiteur sur l'activité des enzymes (**ALAIS & LINDEN, 1997; PONCE DE LEON GONGALEZ et al., 2000**).

VI.11.4.3.4. L'affinage

L'affinage est l'étape la plus complexe de la fabrication des fromages maturés qui dépend de chaque caractéristique physico-chimique ou microbiologique du fromage. C'est un processus biochimique complexe et long qui correspond à une phase de digestion enzymatique des constituants du caillé par les différents agents. Le fromage devient donc le siège de différentes dégradations qui s'effectuent simultanément ou successivement aboutissant à la libération de substances sapides et odorantes en même temps que la modification de la texture. Le fromage est ainsi comparé à un bioréacteur complexe dont le praticien devra maîtriser l'évolution pour la porter vers les caractéristiques optimales recherchées. La durée d'affinage varie selon le fromage, elle dure quelques semaines à deux ans ou plus à des températures spécifiques pour les différents types de fromages (**RAMET, 1985**).

La biochimie de l'affinage peut être subdivisée en processus primaires et processus secondaires de dégradation. Le processus primaire comporte : la fermentation du lactose résiduel, de l'acide lactique et de l'acide citrique, ainsi que la dégradation des protéines et des lipides. Suite à ces événements primaires, d'autres événements biochimiques secondaires prennent place et sont très importants pour le développement des composés

aromatiques. Le processus secondaire concerne donc la dégradation des acides aminés et des acides gras (voir figure 27) (**Mc SWEENEY, 2004**).



**Figure 27 : Les principaux mécanismes biochimiques de l'affinage
(MCSWEENEY & SOUSA, 2000)**

(A) Protéolyse, (B) lipolyse, (C) métabolisme de lactose, de lactate et de citrate.

La fermentation du lactose L'acide lactique, produit de dégradation du lactose par les microorganismes est un substrat de plusieurs réactions de l'affinage des fromages. Les bactéries lactiques vraies produisent l'acide lactique presque pur, sans gaz selon la voie de Meyerhof-Embden (**ALAIS et LINDEN, 1997**). Les lactocoques sont souvent choisies pour leur capacité acidifiante rapide. L'acide lactique subit d'autres fermentations produisant l'acide propionique, l'acide acétique, l'acide butyrique et le CO₂. Ces produits peuvent être transformés en composants de flaveur comme les aldéhydes et les cétones (**Mc SWEENEY, 2004**).

A- Protéolyse : La protéolyse apparaît comme l'un des phénomènes majeurs pendant l'affinage des fromages et c'est le plus complexe (**Mc SWEENEY, 2004**). Elle contribue à la texture des pâtes, aux microorganismes, des enzymes coagulantes et des enzymes du lait. L'importance de la protéolyse peut être très limitée comme dans le cas du fromage mozzarella, à très importante, cas des fromages bleu moisiss. L'activité des enzymes naturelles du lait telles que la plasmine et la cathepsine D est très limitée dans les fromages. La plasmine à un pH optimum d'action de 7,5 et agit sur la caséine b. L'action de la cathepsine D sur les caséines est très similaire à celle de la chymosine et son pH optimum est d'environ 4,00. La succession de la dégradation des caséines en polypeptides puis en acides aminés est rencontrée surtout dans les fromages à pâtes pressée et à flore essentiellement lactique. La protéolyse du Cheddar par la mesure de l'azote soluble à pH 4,6 par rapport à l'azote total (NS pH 4,6) montre qu'elle est surtout due aux enzymes coagulantes (pepsine ou chymosine). Le même phénomène est rencontré dans le Gouda. Selon CHAMBER et al., (2005), le degré de protéolyse qui est défini (NT) varie de 23,5 à 25 % dans l'Emmental. En fin d'affinage du Camembert au lait cru le taux de protéolyse est de 35 %. Le degré de protéolyse des fromages des types saint Paulin et Comté peut atteindre respectivement 18 et 30 %. Par ailleurs, l'activité protéolytique des microorganismes est variable. Les enzymes mis en jeu sont des endopeptidases et des exopeptidases. En effet, la dégradation des protéines extracellulaires grâce aux protéases membranaires des lactobacilles et lactocoques assure les besoins en acides aminés de ces germes (**ATLAN et al., 2000**).

B- Lipolyse : La lipolyse est un phénomène limité qui participe positivement à l'élaboration des qualités gustatives des fromages. Les enzymes lipolytiques dans les fromages proviennent du lait, de la présure et des microorganismes. Le lait contient une lipase lipoprotéique (LPL) qui reste assez active dans les fromages au lait cru. D'autre part plusieurs microorganismes peuvent intervenir dans la lipolyse des fromages comme principalement les moisissures et les microcoques. Les bactéries lactiques sont dotées d'endolipases qui activent dans les fromages après lyses des cellules. Les changements dans la saveur et l'arôme des fromages sont attribués à la lipolyse selon la teneur en acides gras libérés. Il faut noter qu'un taux de lipolyse élevé induit l'apparition de goût de rance

et de savon dans le fromage, goût, à l'ouverture et au croutâge par dégradation biochimique des protéines (**Mc SWENEY, 2004 & ALAIS et LINDEN, 1997**).

Suite à l'ensemble des réactions de dégradation des constituants du caillé, différentes modifications apparaissent dans le fromage affectant directement ses propriétés organoleptiques dont principalement l'arôme et la texture. Dans ce qui suit nous donnerons un aperçu sur les propriétés microbiologiques, aromatiques et texturales des fromages et les méthodes d'approches de ces derniers.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ACHAT S.** (2007) Technologie du lait et produits laitiers ; Université Abderrahmane Mira de Béjaïa.
2. **ACHAT S.** (2017) Technologie du lait ; rapport ; université de Bijaia.
3. **ADRIAN J.** (1987) Valeur alimentaire du lait ; La maison Rustique ; Paris ; 85-95.
4. **ALAIS C. et LINDEN G.** (1997) Abrégé de biochimie alimentaire. 4^{ème} éd., Masson, 248 p.
5. **ALAIS C., LINDEN G., MICLO L.** (2003) Biochimie alimentaire ; Dunod, 5^{eme} édition. Paris.
6. **ALBAGNANE. G, VAROQUAUX; P, MONTIGAUD. J-C.** (2002) Technologie de transformation des fruits, Lavoisier.
7. **AMOROSO M.J., NANCA DE NANDRA M.C.** (1990) Microbiologie, Aliments, Nutrition,p. 105.
8. **ANDRE ECK et JEAN-CLAUDE GILLIS**(1997) Le fromage ; Lavoisier TEC &DOC, 3^{ème} édition.
9. **ANDRES F. LOPEZ CAMELO, PH.D.** (2007) Manuel pour la préparation et la vente des fruits et des légumes, Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture rome.
10. **ANGELOV M., KOSTOV G., SIMOVA E., BESHKOVA D. et KOPRINKOVA-HRISTOVA** (2009) Oxygen influence in the mutual metabolism of *St. thermophilus* and *Lb. bulgaricus* in yogurt starter cultures, <http://www.revue-genie-industriel.info/> (in press).
11. **ARIBI. M.** (2016) Effets de l'incorporation de graines alimentaires sur les qualités technologiques de la farine de blé destinée à la panification, mémoire de Master, université de Mostaganem.
12. **ATLAN D., AUBEL D., GILBRT C.** (2000) La biodiversité des bactéries lactiques et les conséquences sur leurs protéinases de surface. Sci. Aliments, 230 (1), pp 5-17.

13. **BAR C.** (1995) Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. guide pratique – Ed , ITEC Paris P. 253.
14. **BARBER, M. C., R. A. CLEGG, M. T. TRAVERS, ET R. G. VERNON** (1997) Lipid metabolism in the lactating mammary gland; Biochi. Biophys. Acta (BBA) – Lipids Lipid Met. 1347:101-126.
15. **BEAL C. et SODINI I.** (2003) Fabrication des yaourts et des laits fermentés. Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire, Doc. F6 315.
16. **BERGAMAIER D.**(2002) Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de *lactobacillus rhamnosus RW-959M* dans un milieu à base de permeat de lactosérum. Thèse de doctorat, Université de Laval, Canada.
17. **BIMBENET J.J, BONAZZI C, DUMOULIN E.** (2002) L'eau en séchage, stockage et réhydratation Dans l'eau dans les aliments par LE MESTE M ; LORIENT D. et SIMATOS D ; Edition Tec et Doc. PARIS pp 525-546
18. **BOARD B W.**(1987) Le contrôle de la qualité dans l'industrie du traitement des fruits et légumes FAO ; Etude FAO Alimentation et nutrition N°39-Cahiers techniques de la FAO.
19. **BOOKLET 1.**(2009) Transformation de fruits et légumes, Processing, global facts
20. **BORNET F.** (1992) Le pain et produit céréaliers, alimentaire et nutrition humaines Edition, ESF. Paris. , P.1533.
21. **BRANLARD G, POGNA N. E.** (1996) Recombination mapping of minor omega-gliadin-coding loci on chromosome 1A of common wheat: A revision. Journal of Genetics and Breeding, 50: 277-286.
22. **BRULE G., LENOIR J. et RAMET F.** (1997) Les mécanismes généraux de la transformation du lait en fromage Chapitre 1 : La micelle de caséine et la coagulation du lait. Dans Le fromage (coord. ECK A. et GILLIS J.C.) p. 7, 3ème ed. Tec et Doc. Lavoisier.
23. **BURDEN J et WILLS R.B H.** (1992) Prévention des pertes après récolte : Fruits, légumes, racines et tubercules Collection FAO ; formation N° 17/2 Rome.
24. **CHAMBERS D. H., CHAMBERS IV E. and JOHNSON D.** (2005) Flavor description and classification of selected natural cheeses. Culinary Arts

- and Sciences V: Global and National Perspectives, (Coord. EDWARDS J.S.A., KOWRYGO B, & REJMAN, K.), pp 641-654, Publisher, Worshipful Company of Cooks Research Centre, Bournemouth, Poole, UK.
25. **CHAUX Cl., FOURY Cl.** (1994) Production légumière - tome1 Généralités (série Agriculture d'aujourd'hui) Edition Tec et Doc Lavoisier Paris, Londres, New York.
 26. **CHEFTEL J.C., CHEFTEL H.** (1984) Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments Volume 2 ; Edition Lavoisier Tec et Doc, (p 420).
 27. **CHRISTIANE JOFFIN et JEAN-NOEL JOFFIN** (2010) Microbiologie alimentaire ; Centre régionale de documentation pédagogique d'Aquitaine, 6^{ème} édition.
 28. **COME D .** (1991) Altération des produits végétaux entreposés I A A N° 6 JUIN 1991.
 29. **DAVIS J.G.** (1971) Enumeration and viability of *L.bulgaricus* and *St. thermophilus* in yogurts, *Dairy Industry*. 36, 569-573.
 30. **DEL FFRATE R, STEPHAN C.** (2005) Mieux connaitre la farine. Spécial Analyses. Supplément technique, I.N.B.P., Laboratoire d'Essais des Matériels et Produits Alimentaires (L.E.M.P.A.), Rouen, France 85, pp16.
 31. **DELCOUR J.A., HOSENEY R.C.** (2010) Principles of Cereal Science and Technology, third edition. AACC International, Inc., St. Paul, MN, USA.
 32. **DELLAGLIO F., DE ROSSART H., TORRIANIS S., CURIK M. & JANSSENS D.** (1994) Caractérisation générale des bactéries lactiques. *Techniques et Documentation*. Lorica (Ed.), 1, 25-116.
 33. **DOBRASZCZYK B.J., VINCENT J.F.V.** (1999) Measurement of mechanical properties of food materials in relation to texture: the materials approach. In: Rosenthal, A.J., (Ed.), *Food Texture: Measurement and Perception*, Aspen Publishers, Maryland.
 34. **DOLEYRES Y.** (2003) Production en continuant du ferment lactique probiotique par la technologie des cellules immobilisées. Thèse de Doctorat. Université de Laval, Quebec.

35. **DRIESSEN F.M.** (1981) Protocooperation of yogurt bacteria in continuous culture In: *Mixed Cultures Fermentation*. M.E. Buchell, J.H.Slater (Eds.). Academic Press. New York. pp. 99-120.
36. **DRIESSEN F.M. et KINGMA F.** (1982) Standhouders J. Hol yougurt bacterien alkaarhelpen grocien, *Zuivelicht*, 74, 176-178.
37. **ECK A. et GILLIS J.C.** (1997) Le fromage-de la science à l'assurance-qualité. Eck A.,Gillis J. (Eds.). Lavoisier. New York.
38. **ELISABETH VIERLING** (2003) Aliments et boissons- Filières et produits ; Centre régionale de documentation pédagogique d'Aquitaine, Doin éditeurs, 2^{ème} édition.
39. **ERNEST J.M.** (1990) Youghurts, part 1. *Dairy Industries International*, 55, 40-41.
40. **F.A.O.(2010)** Séchage des fruits et légumes en Afrique tropicale : le développement des séchoirs mixtes, solaires et a gaz , RADHORT .
41. **FEILLET P.** (2000) Le grain de blé, composition et utilisation. Edition ; INRA. Paris. 308 pages.
42. **FICCO. D. B.M., RIEFOLO C., NICASTRO G., DESIMONE V., DIGESU. A.M., BELIGGIA R., CATTIVELLI L., P.** (2009) Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars. *Field Crops Res.*111:235-242.
43. **FOD2180.** (2014) Fruits et légumes, Document d'appui Ensemble d'outils destiné aux enseignants du cours FOD2180, Alberta gouvernement.
44. **GODON B.** (1982) Valeur meunière et boulangère des blés tendres et de leurs farines conservation et stockage des grains et produit dérivé céréales, oléagineuse protéagineux aliments pour animaux.
45. **GODON B.** (1998) Les industries de première transformation des céréales. Ed. Tec et DOC. Lavoisier. Paris.
46. **GOT R.** (1971) Les enzymes du lait ; Ann Nutrim Alim ; 25 : A291-A311.
47. **GROGNA P.** (2016) Transformation des céréales ; Turnhout, 1-2 (26)
48. **GUIDE PRATIQUE.** (2000) Stockage et conservation des grains à la ferme ; ITCF.

49. GUY A., PATRICH V., JEAN-CLAUDE M.(2002) Technologie de transformation des fruits, TEC & DOC ; 498.
50. HEINRICHS, J., C. JONES, ET K. BAILEY (1997) Milk components: Understanding the causes and importance of milk fat and protein variation in your dairy herd; *Dairy Anim; Sci*; 5 :1- 8.
51. HUI Y. H., (2008) Food Drying Science and Technology : Microbiology, Chemistry, Application éd .DEStech publication Inc., pennsylvanie, p 149,158.
52. JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUCK P et BRULE G. (2008) Les produits laitiers. 2^{eme} Ed. Techniques et Documents. Lavoisier, Paris, France. 185 p.
53. JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P. ET BRULEG. (2007) Science des aliments. Volume 2. Ed. Tec et doc. Lavoisier. Paris.
54. JONGEN T.R.G, BRUSCHKE M.V, DEKKER J.G. (2003) Analysis of doughkneaders using numerical flow simulations. *Cereal Chemistry*80, pp383-389.
55. JOUAN P. (2002) Lactoprotéines et lactopeptides, propriétés biologiques. Paris : INRA.
56. JOYCE B. (2005) Pasta .Ed .Chrysalis Education. USA, p32.
57. JUILLARD V., HELINCK S., FLAMBARD B. et FOUCAUD C., Richard J. (1998) Amino acid supply of *Lactococcus lactis* *Lactococcus lactis* during growth in milk. *Recent Research Developpement in Microbiology*, 2, 233-252.
58. KABIR A. (2015) Contraintes de la production laitière en Algérie et évaluation de la qualité du lait dans l'industrie laitière ; Thèse de doctorat en sciences microbiologiques ; Université d'Oran.
59. KAREL K., JOSEF G. et PONTE Jr., (2000): Handbook of cereal science and technology .2émé Ed Marcel Dekker Inc., New York, p 655.
60. KENT N., EVERE A. (1994) Technology of Cereals. Oxford: Pergamon Press Ltd.
61. KONTE, M. (1999) Le lait et les produits laitiers ; Developpement de systemes de production ; Intensive en Afrique de l'ouest ; Isrmjpv-Inerv/fevr.

62. **KOSIKOWSKI F.V.** (1982) *Cheese and Fermented Milk Foods*. New York.
63. **LAMOUREUX L.** (2000) Exploitation de l'activité β -galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galactooligosaccharides. Mémoire de maîtrise. Université de Laval, Canada.
64. **LECLERC H.** (1969) *Microbiologie*; Doin ; Paris.
65. **LEPATRE F.** (1988) Les industries agricoles et alimentaires : Progrès des sciences techniques ; Lavoisier.
66. **LILIANA FADUL PACHECO** (2016) Relations entre la composition du lait et les facteurs alimentaires dans les troupeaux laitiers québécois ; Thèse de doctorat en sciences animale, université LAVAL, Québec.
67. **LUBIN D.** (1998) Lait de consommation, In «Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine». Collection FAO (Food Agricultures Organisation).
68. **LUCILE B., VINCENT D., MARGOT G., LOLITA O., SIMON L., DIANE L., NOEMIE M., CLEMENCE M.** (2016) Les fermentations alimentaires ; synthèse bibliographique, université de Lorraine.
69. **MAHAUT M., JEANTET R., BRULE G. et SCHUCK P.** (2000) Les produits industriels laitiers. Techniques et documentation. Lavoisier (Ed.), Paris. 26-40.
70. **MARTY-TEYSSET C., DE LA TORRE F. & GAREL J.R.** (2000) Increased production of hydrogen peroxide by *lactobacillus delbruekii* ssp *bulgaricus* upon aeration : involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, **66** (1), 262-267.
71. **Mc SWEENEY P.L.H., OTTOGALLI G. and FOX P.F.** (2004) Diversity of Cheese Varieties: An Overview. Pp. 1-22. In *Cheese Chemistry, Physics and Microbiology*. Volume 2 Major Cheese Groups. Third edition, Ed. P.F. FOX, P.L.H. MCSWEENEY, T M. COGAN and T.P. GUINEE. AMSTERDAM. 434p.
72. **Mc SWEENEY P.L.H. and SOUSA M.J.** (2000) Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheese during ripening: A review. *Le Lait*, **80**, 293– 324.
73. **MERMUT A.R., JAIN J.C., SONG L., KERRICH R., KOZAK L., JANA S.** (1996) Trace element concentration of selected soils and fertilizers in Saskatchewan, Canada. *J. Environ. Qual.* **25**: 845-853.

74. **MICHEL J.C., POULIOT R., RICHRD J et VALLENIRD C.** (2002) Lait de consommation in « Science et technologie du lait; transformation du lait ». Ed. Ecole Polytechnique. Québec, Canada. Pp 277-322.
75. **MONDAL A., DATTA A.K.** (2008) Bread baking – a review. *Journal of Food Engineering* 86 (4), pp 465–474
76. **NGOUNOU C., NDJOUENKEU R., MBOFUNG F. et NOUBI I.** (2003) Mise en évidence de la biodisponibilité de calcium et de magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé du Zébu. *Journal of Food Engineering*, 57, 301-307.
77. **OCHA** (2010) Colloque Ocha " Cultures des laits du monde ", à Paris, le 6 et 7 mai 2010.
78. **PAREYT B., FINNIE S.M, PUTSEYS J A., DELCOUR J. A.** (2011) Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science* 54, pp 266-279.
79. **PETITOT M., ABECASSIS J., MICARD V.** (2009) Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Food Science technology* 20. 521-532.
80. **PONCE DE LEON-GONZALEZ L., WENDORFF W. L., INGHAM B. H., JAEGGI J. J. et HOUCK K. B.** (2000) Influence of Salting Procedure on the Composition of Muenster-Type Cheese. *J Dairy Sci* 83:1396–1401.
81. **RADKE-MICHELL L. et SANDINE W.E.** (1986; Influence of temperature on associativegrowth of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*, *Journal of Dairy Sciences*. 69, 2558-2568.
82. **RAMET J.P.** (1985) La fromagerie et les variétés de fromages du bassin méditerranéens. Ed. Etude FAO. Production et santé animale, 187 P.
83. **ROMAIN JEANTET, THOMAS CROGNENNEC, MICHEL MAHAUT, PIERRE SCHUCK, GERARD BRULE** (2008) Les produits laitiers ; Lavoisier ; Edition TEC& DOC ; 2^{ème} édition.
84. **ROUSSEAU** (2005) La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA.
85. **ROUSSEL Y., PEBAY M., GUEDON G., SIMONET J.P. & DECARISN B.** (1994) Physical and genetic map of *streptococcus thermophillus* A054. *Journal of Bacteriology*, 176 (24), 7413-7422.

86. **SIMOVA E. PHD.** (2007) Thesis, Theoretical and application aspects of milk products starter cultures, NIHFI, Plovdiv, p. 391 (in Bulgarian).
87. **SINGH J.**(1983) Influence of heat-treatment of milk and incubation temperatures on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus acidophilus*. *Milchwissenschaft*, **38**, 347-348.
88. **SPIEGEL H., SAGER M., OBERFOSTER M., MECHTLER K., STUGER. H. P., et BAUMGARTEN A.** (2009) Nutritionally relevant elements in staple foods: Influence of arabe site versus choice of variety. *Environ.Geochem. Health* **31**:549-560.
89. **TAMIME A.Y., ROBINSON R.K.** (1985) Background to manufacturing practice. In *Yoghurt. Science and technology*. pp. 7-90. ed. Tamime, A.Y. et Robinson, R.K., Pergamon Press, Paris.
90. **TAMIME A.Y., ROBINSON R.K.** (2003) *Yogurt: Science and technology*, CRC Press, New York, p. 661.
91. **TAMMAM J.D., WILLIAMS A.G., NOBLE J. et LLOYD D.** (2000) Amino acid fermentation in non-starter *Lactobacillus* ssp. isolated from Cheddar cheese, *Letters in Applied Microbiology*, **30**, 370-374.
92. **TIRILLY Y et THOUVENOT D.** (1988) Fruits et légumes Dans *Microbiologie alimentaire volume 1: Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire* par BOURGEOIS C M, MESCLE J F, ZUCCA J. Edition Lavoisier Tec et Doc, Série APRIA. ; (Pp 265-278).
93. **TIRILLY. Y, BOURGEOIS. C- M.** (1999) Technologie des légumes ; Lavoisier.
94. **UGRINOVITS M., ARRIGONI E., DOSSENBACH A ., HABERLI G.,HANICHE H., RYCHENER M., THORMANN M., STALDER U.** (2004) Céréales, produits de l'industrie meunière, pré mélanges four, Mélange de farine, farine instantanées. Manuel Suisse des denrées Alimentaire.
95. **VIERLING E.,** (2003) Aliments et boissons, filière et produits, Ed. Doin, 2^{ème} Ed p.77, 177, 181.
96. **VILAIN M.** (1999) Méthodes Expérimentales en Agronomie. Ed. Tech. Et Doc. Lavoisier, Paris.

97. **VINGNOLA C. I.** (2002) Science et technologie du lait. Transformation du lait. 3eme Ed. Presse international Polytechnique. Québec, Canada. pp 54-287.
98. **WALKER, G. P., F. R. DUNSHEA, ET P. T. DOYLE** (2004) Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein; A review. *Aust. J. Agric. Res.*; 55:1009-1028.