

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 II

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 II

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

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
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 cinq 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 décrit la

panification et la technologie de la préparation de différentes pâtes alimentaires. A la fin le dernier chapitre traite la technologie des fruits et des légumes.

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**)

1.1. 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).

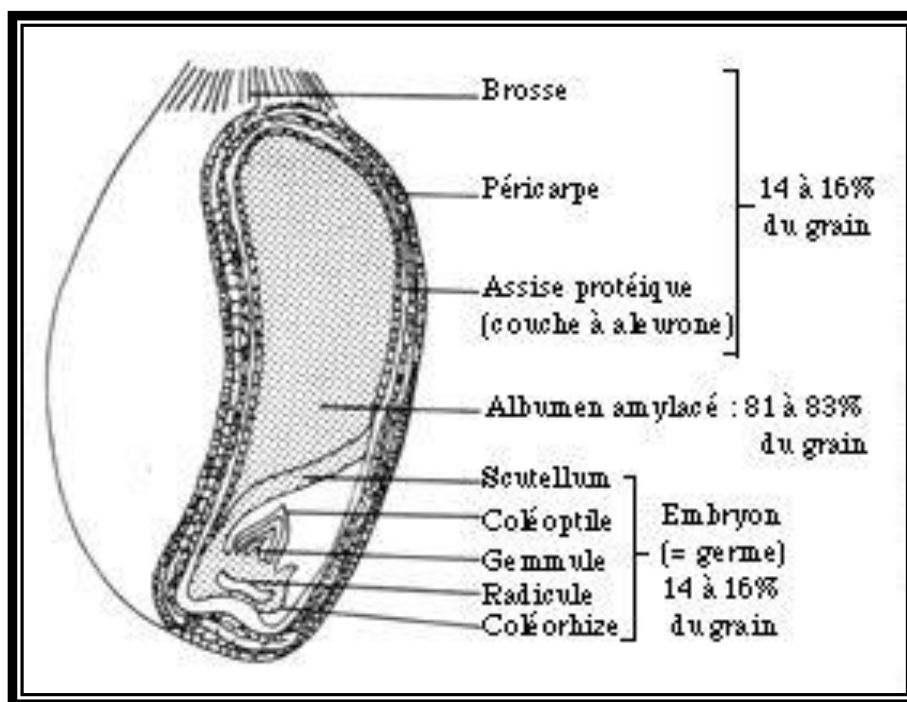


Figure 01 : Coupe schématique d'un grain de blé (Guide pratique, 2000).

1.2. 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.linolique 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.

1.3. 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 majeure 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 amylicé 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 :

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

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 mouilleur 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, où 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.

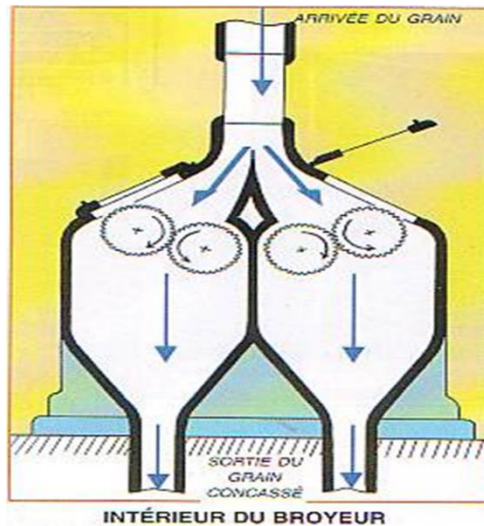


Figure 4 : Broyeur de blé (Grogna P, 2016)

- 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 particules 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 inclinés 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'amarande 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 mélangée 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.

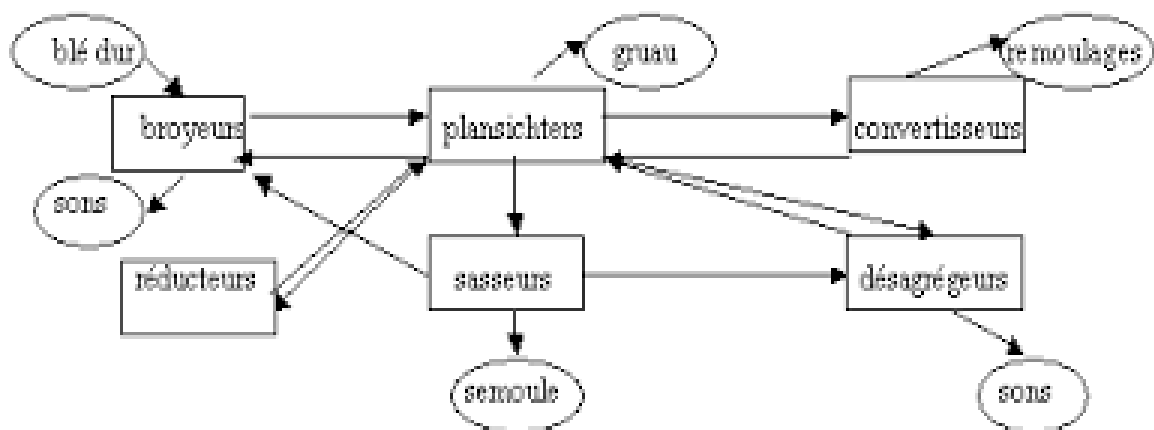


Figure 6 : Diagramme de la mouture du blé (GODON, 1998)

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 et faible.

*** Les gluténines** : C'est la fraction protéique présentée 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 constituant 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 induit 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 attaquent les extrémités d'une chaîne glucidique, en détachant le maltose, provoquant l'abaissement progressif de la viscosité du milieu.
- c- **Lipoxygénase :** Est une enzyme qui oxyde les lipides, elle oxyde les acides gras insaturés libres non estérifiés qui correspondent aux acides gras essentiels. (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

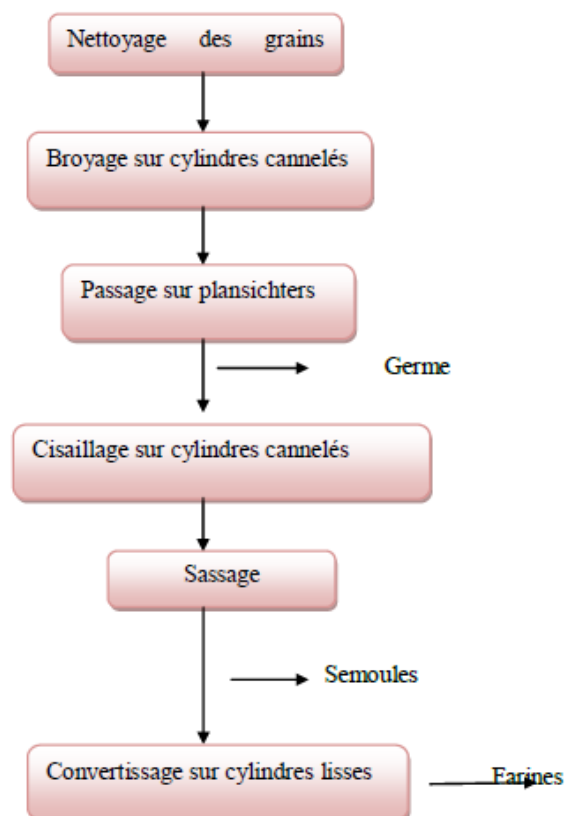


Figure 7 : Le bilan de la mouture du grain de blé tendre (Aribi, 2016)

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, évalue 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 reliés 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 (DOBRSZCZYK 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.
- W_{130} à 180 ergs et $P/L \geq 0.5$ et $G=20$ à 23cm^3 (farine convient à la panification (bonne force boulangère).
 - W_{180} à 250 ergs et P/L blé améliorant
 - $W > 250$ ergs Blé de force
 - W 80 à 130 ergs blé pour la biscuiterie.

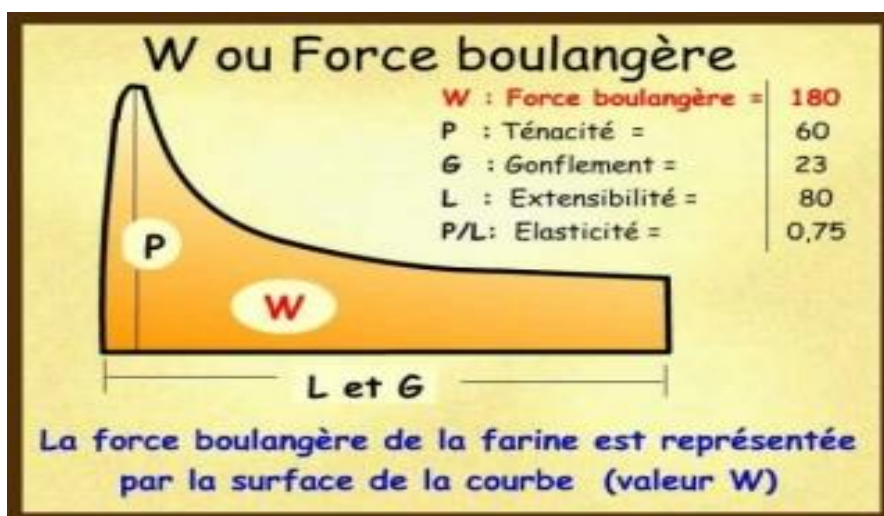


Figure 8 : La courbe obtenue par l'alvéographe de chopin

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 (**DOBRSZCZYK 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..... (DOBRSZCZYK 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'amylolyse .

Amyloses



III.3.b. L'eau

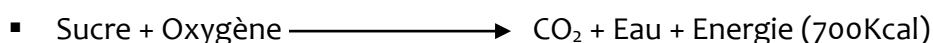
Elle s'incorpore entre 60 et 70 % du poids de la farine, c'est le plus important constituant de la pâte, elle joue un rôle majeur au cours de la confection de la pâte, elle sert à mouiller la farine et rend possible le pétrissage. Elle doit être modérément dure. Il est connu que les sels de calcium et 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-anaérobie.

En aérobiose

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



En anaérobiose

- Sucre $\longrightarrow$ CO_2 + Alcool + Energie (20 Kcal)

Influence de la température sur l'activité des levures

- 4 °C : fermentation presque bloquée
- 10 - 15 °C : activité considérablement ralentie
- 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 ferments naturels, réalisé sur un mélange de farine et d'eau. Ces ferments ou levures 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 amylasique 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 (DOBRA SZCZYK *et al.*, 2003).

III.4.1. Pétrissage

Le frasage est la première étape du pétrissage ou 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.



Figure 9 : Pétrissage dans un pétrin (int)

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.

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 caramélisation 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 CO_2 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 resseue.

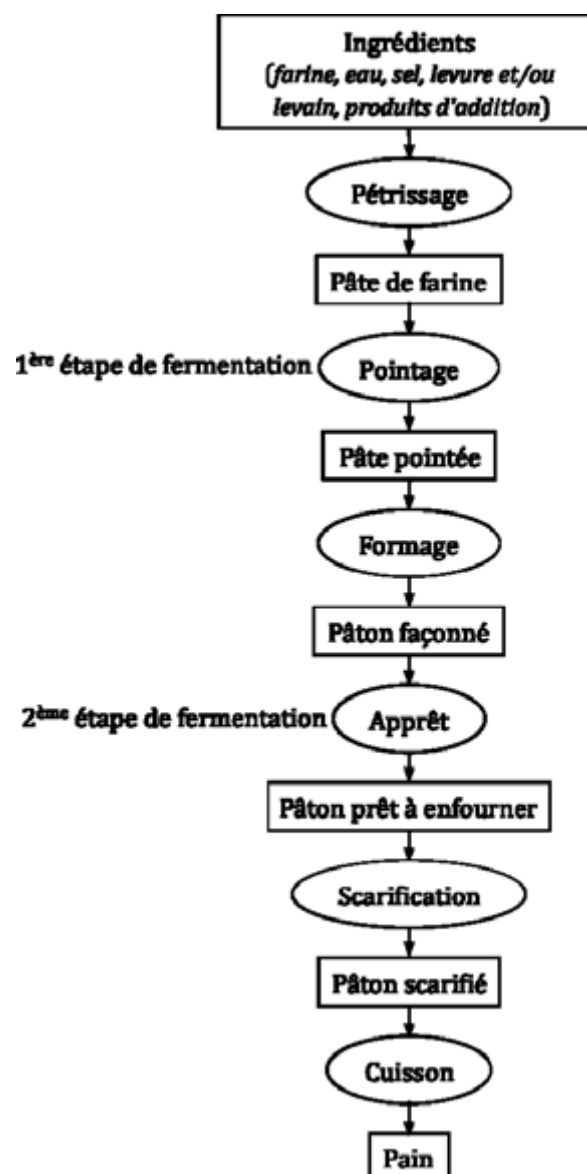


Figure 11: Diagramme de la panification

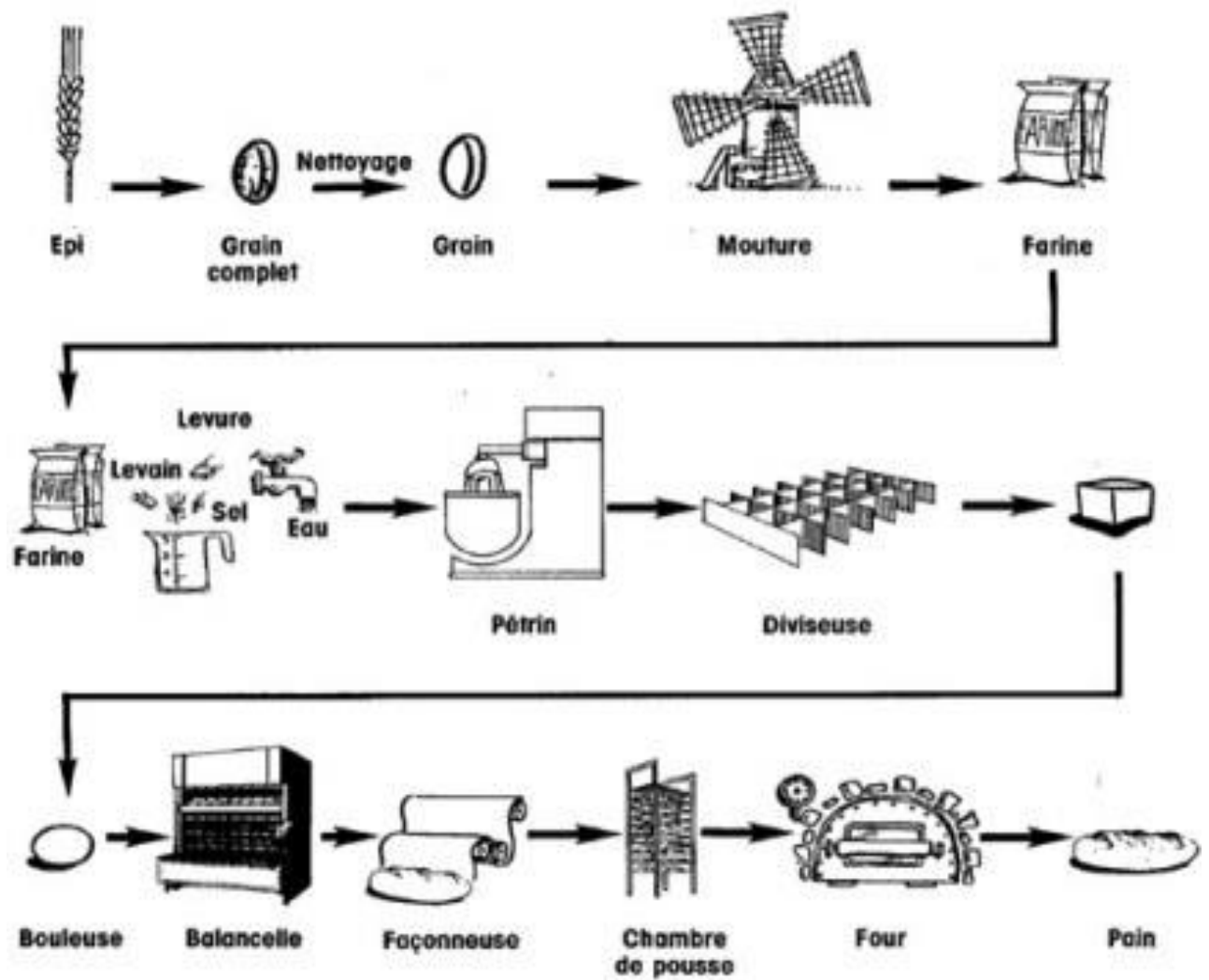


Figure 12 : Schéma récapitulatif de la technologie de transformation du blé (du champ au pain) (int)

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 pâtes long et les pâtes coupée.
- **Pâtes laminées** : Ces pâtes passent entre deux cylindres de la moindre 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 pâtes 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 différentes 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 sécher 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.

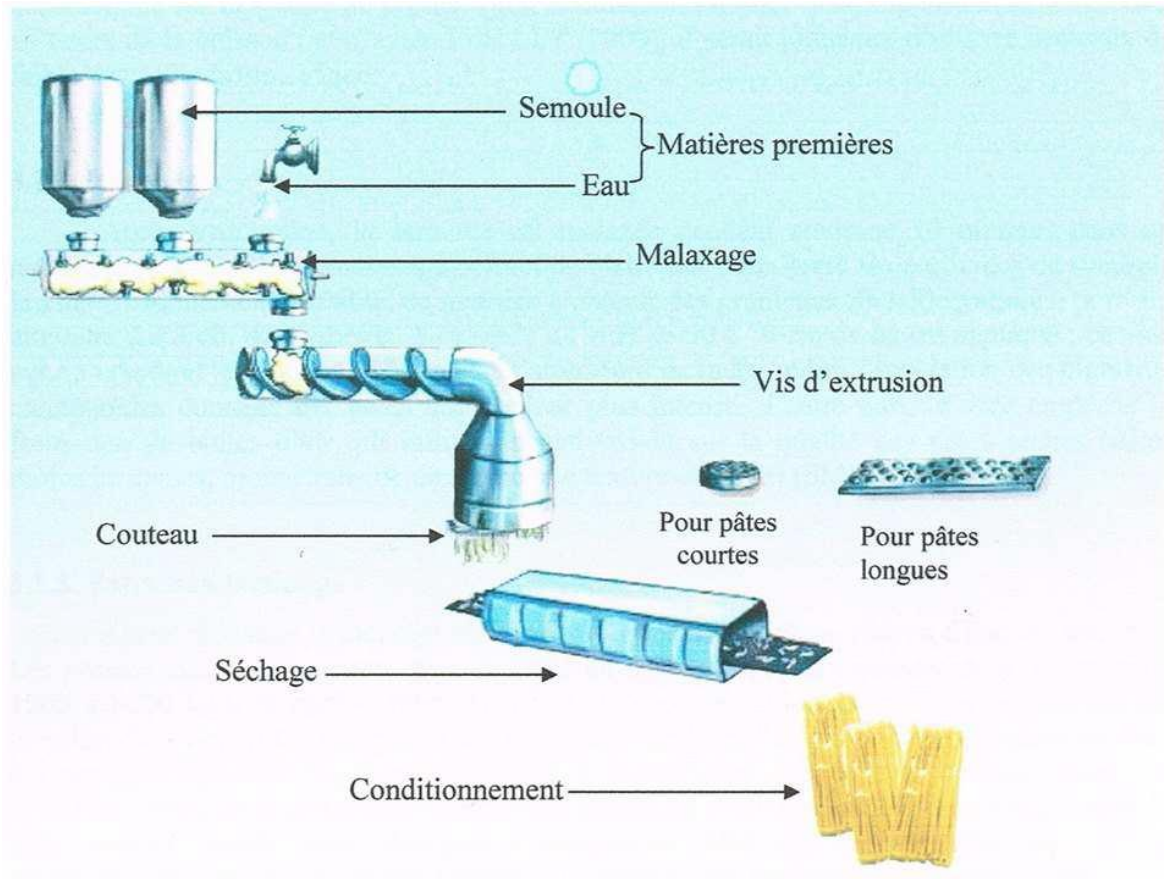


Figure 13 : Processus de fabrication de pâtes alimentaires (joyce bentley, 2005).

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 enzymatique 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 peut apparaitre dans le cas des grains germé ; des grains riche en caroténoïdes, en cas d'un séchage rapides ou bien un mauvais malaxage.
- **Piqûres** : Il existe trois sortes de piqures : 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 gout 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** : cèleri, 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 classer 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 cèleri, 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 carbone) 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. Détériorations 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 II 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 ; émergence dans de l'eau froide (mais), contact avec la glace (céleris), la glace écrasée (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 contrôlée 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 momentanée d'atmosphère sont plus en plus utilisées.

Avant la commercialisation des fruits non murs entreposés par réfrigération, ces derniers subissent une maturation complémentaire artificielle dans une atmosphère riche en O₂ et enrichie en éthylène à température $\geq 10^{\circ}\text{C}$ (**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/ Emboitage : Le remplissage des récipients (boîtes ou bocaux), l'emboitage 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 se 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).

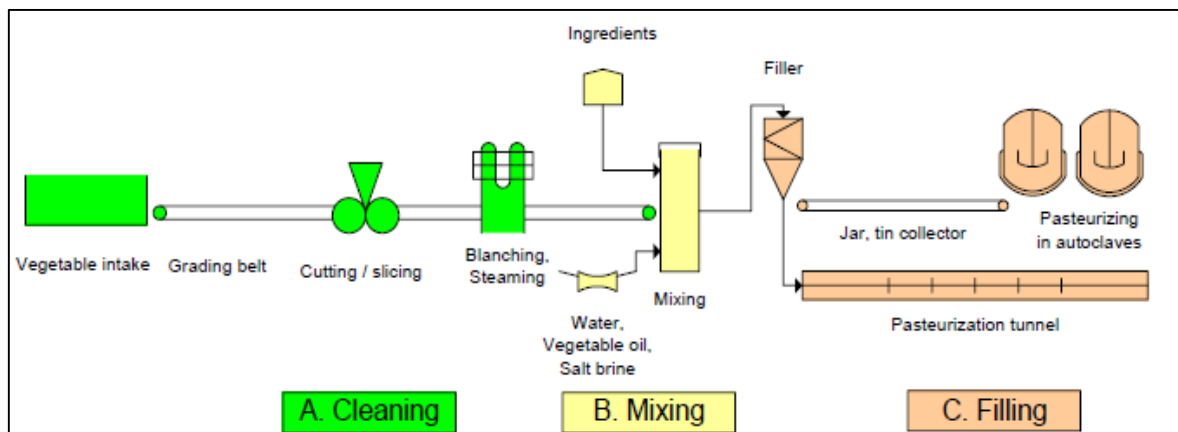


Figure 14 : Diagramme des étapes de préparation d'une conserve des légumes par appertisation (Booklet, 2009)

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, sucrose 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).

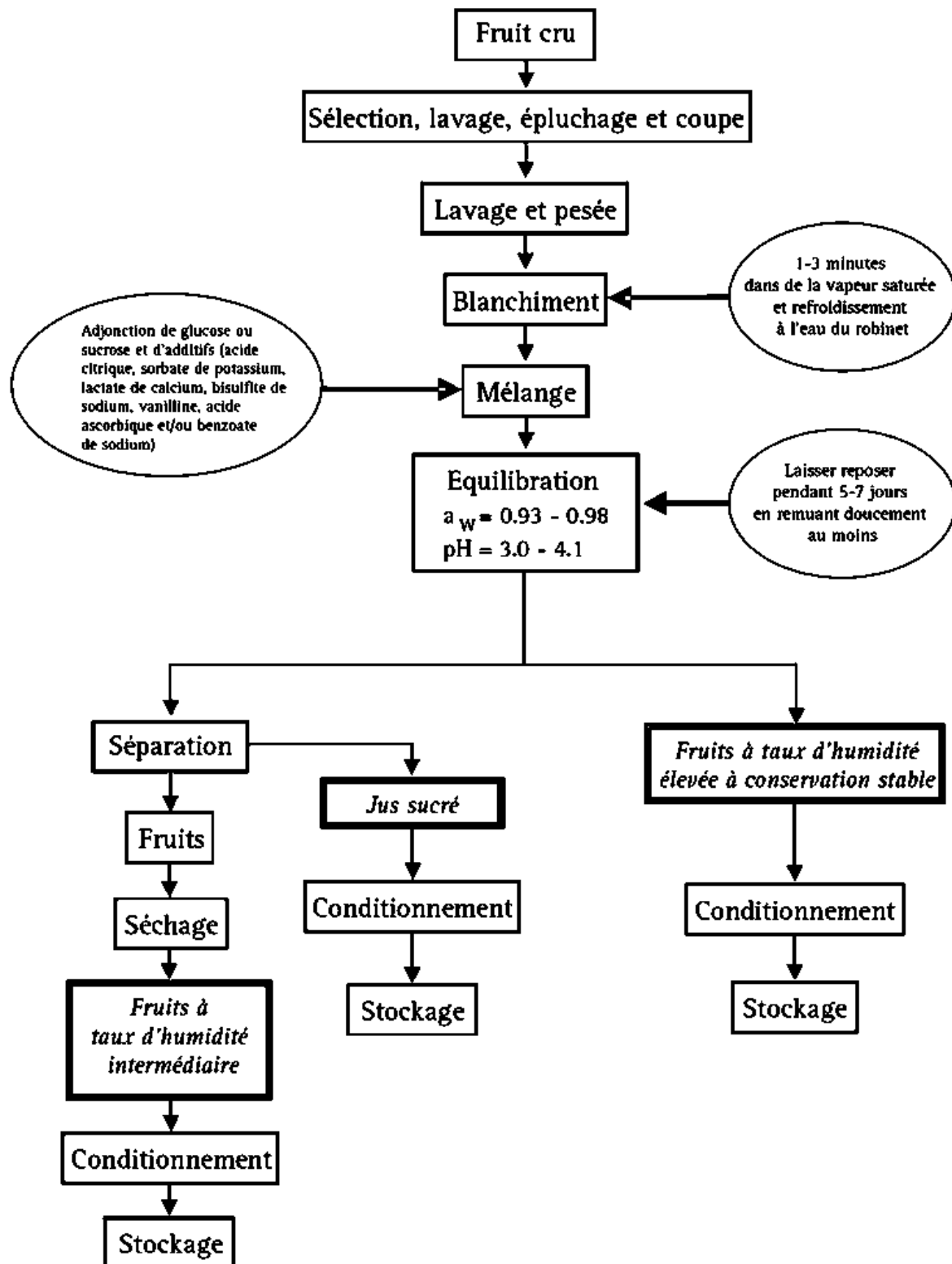


Figure 14 : Diagramme de la technologie des fruits à taux d'humidité élevé et de fruits à taux d'humidité intermédiaire dont la conservation est stable (Andres et al., 2007)

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 techniques¹ 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. a 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**).

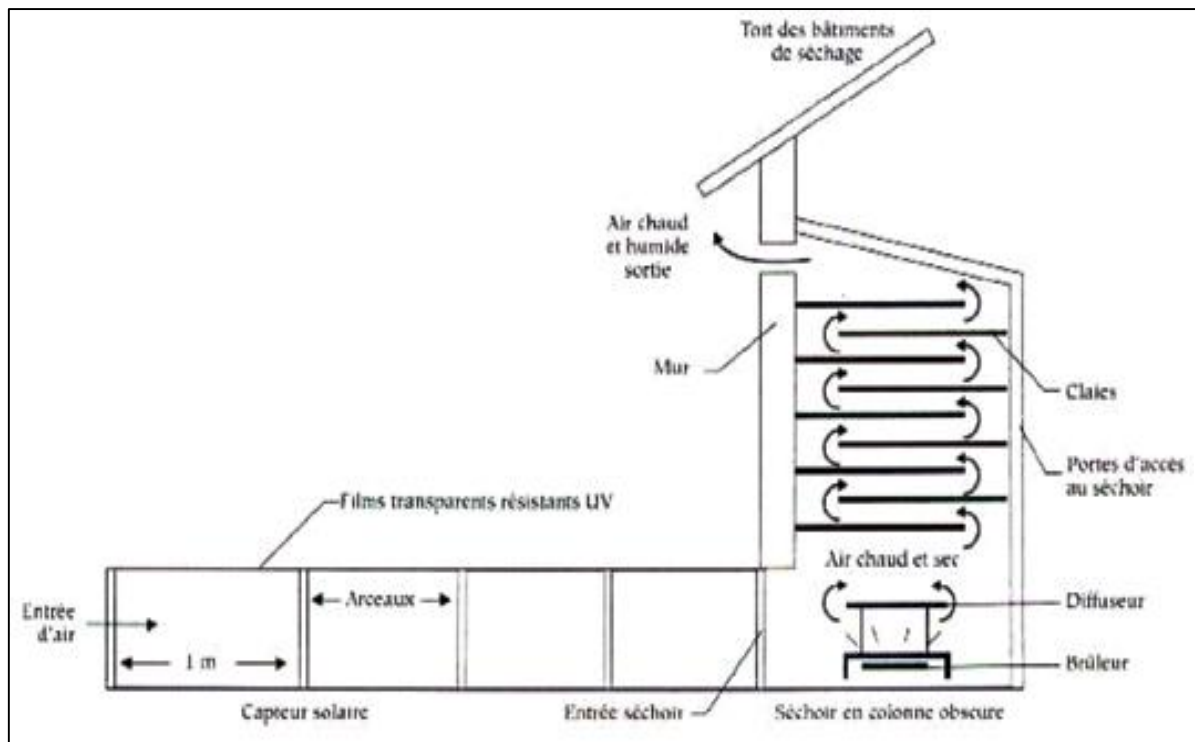


Figure 15 : Disposition de capteur solaire et du séchoir dans un bâtiment (F.A.O, 2010).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1- **ALBAGNANE. G, VAROQUAUX ; P, MONTIGAUD. J-C.** (2002) Technologie de transformation des fruits, Lavoisier.
- 2- **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.
- 3- **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.
- 4- **BAR C.** (1995) Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. guide pratique – Ed , ITEC Paris P. 253.
- 5- **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
- 6- **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.
- 7- **BORNET F.** (1992) Le pain et produit céréaliers, alimentaire et nutrition humaines Edition, ESF. Paris. , P.1533.
- 8- **BOOKLET 1.**(2009) Transformation de fruits et légumes, Processing, global facts

- 9- **BRANLARD G, POGNA NE.**(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.
- 10- **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.
- 11- **CHAUX Cl., FOURY Cl.** (1994) Production légumière - tome1 Généralités (série Agriculture d'aujourd'hui) Edition Tec et Doc Lavoisier Paris, Londres, New York.
- 12- **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).
- 13- **COME D .** (1991) Altération des produits végétaux entreposés I A A N° 6 JUIN 1991.
- 14- **DELCOUR J.A., HOSENEY R.C.** (2010) Principles of Cereal Science and Technology, third edition. AACC International, Inc., St. Paul, MN, USA.
- 15- **DEL FFRATE R, STEPHAN C.** (2005) Mieux connaître 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.
- 16- **DOBRA SZCZYK 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.
- 17- **FEILLET P.** (2000) Le grain de blé, composition et utilisation. Edition ; INRA. Paris. 308 pages.

- 18- 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.
- 19- F.A.O.(2010)** Séchage des fruits et légumes en Afrique tropicale : le développement des séchoirs mixtes, solaires et a gaz , RADHORT .
- 20- FOD2180. (2014)** Fruits et légumes, Document d'appui Ensemble d'outils destiné aux enseignants du cours FOD2180, Alberta gouvernement.
- 21- 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.
- 22- GODON B. (1998)** Les industries de première transformation des céréales. Ed. Tec et DOC. Lavoisier. Paris.
- 23- GROGNA P. (2016)** Transformation des céréales ; Turnhout, 1-2 (26)
- 24- GUIDE PRATIQUE. (2000)** Stockage et conservation des grains à la ferme ; ITCF.
- 25- GUY A., PATRICH V., JEAN-CLAUDE M.(2002)** Technologie de transformation des fruits, TEC & DOC ; 498.
- 26- HUI Y. H., (2008)** Food Drying Science and Technology : Microbiology, Chemistry, Application éd .DEStech publication Inc., pennsylvanie, p 149,158.
- 27- JEANTET R., CROGUNNEC T., SCHUCK P. ET BRULEG. (2007)** Science des aliments. Volume 2. Ed. Tec et doc. Lavoisier. Paris.
- 28- JONGEN T.R.G, BRUSCHKE M.V, DEKKER J.G. (2003)** Analysis of doughkneaders using numerical flow simulations. *Cereal Chemistry*80, pp383-389.

- 29- **JOYCE B. (2005)** Pasta .Ed .Chrysalis Education. USA, p32.
- 30- **KAREL K., JOSEF G. et PONTE Jr., (2000)** : Handbook of cereal science and technology .2^{ème} Ed Marcel Dekker Inc., New York, p 655.
- 31- **KENT N., EVERS A. (1994)** Technology of Cereals. Oxford: Pergamon Press Ltd.
- 32- **LEPATRE F. (1988)** Les industries agricoles et alimentaires : Progrès des sciences techniques ; Lavoisier.
- 33- **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.
- 34- **MONDAL A., DATTA A.K. (2008)** Bread baking – a review. Journal of Food Engineering 86 (4), pp 465–474
- 35- **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.
- 36- **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.
- 37- **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.
- 38- **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).

39- TIRILLY. Y, BOURGEOIS. C- M. (1999) Technologie des légumes ; Lavoisier.

40- 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.

41- VIERLING E., (2003): Aliments et boissons, filière et produits, Ed. Doin, 2^{ème} Ed p.77, 177, 181.