

Le Programme détaillé du cours de Technologie des fruits, légumes, céréales et sucres : (3^{ème} Année de Technologies Agroalimentaires) : 45 H dont 35h CT et 10h : TD, TPE.

L'objectif est de mettre à la disposition des étudiants une connaissance qui leur permet de :

- Maintenir les qualités de fruits, légumes, céréales et sucre (chimique, bactériologique, Nutritionnelle, sensorielle),
- Restituer au consommateur après déplacement dans le temps et dans l'espace un produit de qualité,
- Rendre commerciale les produits en prolongeant leur durée de vie,
- Complémenter ou équilibrer pour répondre aux besoins de la population.

I- Introduction générale

1^{ère} PARTIE : FRUITS ET LEGUMES

CHAPITRE I : LES FRUITS ET LEGUMES

I-1 Composition et propriétés

I-2 La maturation et métabolisme après la récolte.

I-3 Conservation des fruits et légumes par le froid.

I.3.1 Technique de stockage par réfrigération.

I.3.2 Technique de stockage par congélation.

I.3.3 Technique de stockage par surgélation.

I.4 Conservation par les additifs alimentaires.

I.4.1 Conservateurs chimiques.

I.4.2 Conservateurs organiques.

I.4.3 Conservateurs minéraux.

I.5 La conservation des fruits et légumes par fermentation ;

I.5.1 Intérêt des fermentations

I.5.2 Avantage des fermentations lactiques.

I.5.3 Inconvénients des fermentations lactiques.

CHAPITRE II : LE TRAITEMENT DES FRUITS ET LEGUMES PAR LA CHALEUR.

II-1 Préparation

II-2 Le blanchiment

II-3 L'appertisation

II-4 Pasteurisation

II-5 La déshydratation (*ou* séchage)

II-6 L'irradiation ou l'ionisation

CHAPITRE III : LES DIFFERENTS TYPES DE SCHEMAS DE FABRICATION DES JUS, JUS CONCENTRES ET CONFITURES DE FRUITS ET LEGUMES (VOIR POLY COP).

CHAPITRE IV : PROCEDURE DE FABRICATION DE JUS DE RAISIN EN VIN (Œnologie).

IV-1 La matière première

IV-2 Evolution des grains de raisin.

IV-3 Les différentes phases de l'évolution du grain de raisin.

IV-4 Transformation du raisin en vin.

CHAPITRE V : LE THE

V-1 Définition

V-2 La composition du thé

V-3 Transformation du thé

V-4 les différents types de thé

V-5 le thé soluble

CHAPITRE VI : LE CAFE (le fruit de caféier)

- VI-1 Définition
- VI-2 Le traitement post-récolte
- V-3 Les principales variétés
- VI-4 La composition du café
- VI-5 Les différentes étapes de la fabrication du café
- VI-6 Le café soluble ou instantané

2^{ème} PARTIE : CEREALES ET PRODUITS DERIVES

CHAPITRE VII : LE BLE

- VII-1 Définition
- VII-2 Différence entre un blé tendre et un blé dur.
- VII-3 Composition chimique du blé
- VII-4. La transformation du blé
 - VII-4.1 Industrie de première transformation (fabrication de la farine).
 - VII-4.2 Les différentes étapes de la mouture du blé
 - VII-4.3. Industrie de deuxième transformation
 - VII-4.3.1 La panification ou formation banale
 - VII-4.3.2 Composition de la pâte boulangère
- VII-5 Le diagramme résumant les différentes étapes de la fabrication du pain.
- VII-6 Le schéma résumant les différentes de la pâte alimentaire (voir polycop).

CHAPITRE VIII : LE RIZ

- VIII-1 Le but de la culture du riz.
- VIII-2 Les caractères et variétés du riz
- VIII-3 La technique de décorticage du riz.
 - VIII-3.1 Préparation et conditionnement du riz.
 - VIII-3.2 Description des riz
 - VIII-3.3 Composition nutritionnelle de différentes parties du riz.
 - VIII-3.4 Composition chimique du riz
- VIII-4 Technologie de transformation du riz en produits dérivés.
 - VIII-4.1 la bière
 - VIII-4.1.1 définition et historique
 - VIII-4.1.2 les différentes matières premières et les ingrédients utilisés lors de la fabrication de la bière
 - VIII-4.1.2.1 Les matières premières
 - VIII-4.1.2.1.1 L'orge (malt)
 - VIII-4.1.2.1.2 L'eau
 - VIII-4.1.2.2 Les ingrédients utilisés lors de la fabrication de la bière
 - VIII-4.1.2.3 Les réactifs intervenant dans la fabrication et les accidents.
 - VIII-4.1.2.3.1 Les réactifs intervenant dans la fabrication de la bière.
 - VIII-4.1.2.3.2 Les accidents de la fabrication de la bière.
 - VIII-4.1.2.3.2.1 Les accidents chimiques.
 - VIII-4.1.2.3.2.2 Les accidents biologiques.
 - VIII-4.2 Les différentes étapes de la fabrication de la bière.
 - VIII-4.3 Le schéma ou diagramme de fabrication de la bière.

CHAPITRE IX : LE MAÏS

IX-1 Le but de la culture du maïs.

IX-2 Les différents procédés de fabrication de la farine de maïs.

IX-3 Composition chimique et nutritionnelle du maïs.

IX-4 Intérêts technologiques du maïs.

CHAPITRE X : MIL ET SORGO

X-1 Définition

X-2 Structure du mil et de sorgho.

X-3 Composition chimique

X-4 Les technologies des transformations du mil et de sorgho

X-4.1 La transformation alimentaire primaire.

X-4.2 La transformation alimentaire Secondaire.

X-4.2.1 La mouture selon la technologie traditionnelle.

X-4.2.2 La mouture selon la technologie intermédiaire (semi-industrielle).

X-4.3 La transformation alimentaire tertiaire.

X-5 Produits et sous-produits de la transformation primaire, secondaire et tertiaire.

X-5.1 Produits et sous-produits de la transformation primaire et secondaire.

X-5.2 Produits et sous-produits de la transformation tertiaire.

X-6 Schémas des principales opérations de la transformation traditionnelle du mil et de sorgho.

Conclusion

3^{ème} PARTIE : LES SUCRES

I – Introduction générale et rappels de biochimie des glucides.

CHAPITRE XI : Extraction du sucre de betterave.

CHAPITRE XII : Extraction du sucre de canne.

CHAPITRE XIII : Raffinage.

CHAPITRE X IV : Sucre liquide/ Sucre inverti.

4^{ème} PARTIE : EXTRACTION D'HUILE D'UNE MANIERE ARTISANALE.

(Thème des exposés)

I- L'huile d'arachide.

II- L'huile de karité.

III- L'huile de sésame.

IV- L'huile de palme.

V- L'huile soja.

VI- L'huile de l'amande douce.

VII- L'huile de noix.

VIII- L'huile de tourne sol.

IX- L'huile de cocotier.

X- L'huile de balanite.

XI- L'huile de Moringa.

Chargé de Cours / Mr NATOÏMADINE MICHAËL

I- Introduction générale :

Dans de nombreux pays sahéliens, le Tchad regorge de potentialités agroalimentaires qui sont faiblement valorisées. Il est cité parmi les pays d'importantes potentialités tant au niveau de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche que des ressources naturelles qui auraient pu constituer une base solide de développement rural.

Face à ces défis, le Gouvernement par intermédiaire de PAM a mis en place une direction du projet conjoint PRO-FORT mené par le PAM, l'UNICEF, la FAO, l'OMS, le Ministère de la santé publique et le Ministère de l'agriculture. Fondé sur une approche de chaîne de valeur, le projet appuie la production locale d'aliments enrichis destinés au marché local dans le but de lutter contre la malnutrition chronique. Plus spécifiquement, le PAM fournira une assistance technique spécialisée sur la transformation des denrées alimentaires, la sécurité sanitaire et la qualité des produits, les pratiques liées à la chaîne d'approvisionnement (approvisionnement, entreposage et transport) et la commercialisation. Dans le cadre du projet AFORT, le PAM aidera les femmes exerçant des activités de transformation à petite échelle à améliorer la qualité et le conditionnement des produits artisanaux locaux et à bénéficier d'une meilleure connectivité avec les marchés.

Le PAM aidera les populations à renforcer la résilience des systèmes alimentaires dont elles dépendent, grâce à la création d'infrastructures et d'actifs productifs et à des activités de relèvement. Cet effet direct stratégique vise les bénéficiaires ciblés par l'assistance alimentaire saisonnière relevant de l'effet direct stratégique 2, afin qu'ils puissent progressivement satisfaire leurs propres besoins alimentaires.

La valorisation de ces produits fait l'objet de programmes appuyés par les partenaires techniques et financiers. Un des partenaires est le STDF : Standards Trade Development and Facility (STDF) qui est une initiative conjointe de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), de l'Organisation Mondiale de Santé Animale (OIE), de la Banque Mondiale, de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC).

L'objectif stratégique est d'appuyer les pays en voie de développement au renforcement de leur expertise et de leur capacité d'analyse et de mise en œuvre des normes internationales sanitaires et phytosanitaires, à l'amélioration de la situation sanitaire des hommes, animaux et cultures, et à l'amélioration de la qualité des produits alimentaires en vue de faciliter leur accès au marché.

En effet, l'économie de marché qui règne impose un nouveau style de vie. Ainsi les populations ont besoin de moyen pour satisfaire au moindre de leurs besoins. Or en Afrique, les opportunités d'emploi et d'activités génératrices de revenus sont presque inexistantes en zones rurales. L'agriculture (Les fruits, légumes et les céréales) et l'élevage (Viande, lait et produits dérivés) demeurent les seuls moyens de lutter contre le problème socio-économique.

1^{ère} PARTIE : FRUITS ET LEGUMES

CHAPITRE I : LES FRUITS ET LEGUMES

I-1 Composition et propriétés

Les fruits et légumes sont des aliments d'origines végétales.

Désigné par le mot « fruits », en sens botanique du terme, un fruit (organe végétal) est la structure porteuse de graines dans les plantes à fleurs ce qui est caractéristique des Angiospermes.

Le fruit est formé à partir de l'ovaire après la floraison, il succède à la fleur par transformation du pistil, la paroi de l'ovaire forme le péricarpe du fruit et l'ovule donne la graine.

Le fruit résulte ainsi de la transformation de l'ovaire et de son contenu après fécondation (connu comme un vrai fruit) : les carpelles une fois fécondés, les ovules deviennent des graines et la fleur se transforme en fruit (dattier, mangue, papaye, raisin, tomate), ce qui implique une pollinisation. Cependant, il existe des espèces parthénocarpiques ; elles peuvent produire des fruits sans qu'il y ait eu pollinisation, ce qui donne des fruits dépourvus de graine (ex : la banane, mandarine sans pépins).

La maturation se fait sur la plante ou après la récolte, et aboutit à un équilibre organoleptique et qui sont : avocat, banane,

En revanche, les légumes recouvrent divers types de structures végétales, dont plusieurs sont botaniquement des fruits.

La maturation des légumes n'aboutit pas à un équilibre. L'équilibre ne devient optimal qu'après la cuisson. Parmi les légumes, on trouve des fruits (concombres, aubergines, poivrons, tomates...); des graines (petits pois, haricot, fèves, lentilles...); des racines (carottes, navettes, betteraves rouges, radis, ignames...); des tubercules (pomme de terre, patates douces,...) des feuilles (épinards, choux, laitue....) des fleurs (artichauts, choux fleurs...). Les légumes constituent ainsi une collection hétérogène, et il est difficile d'indiquer à leur propos des caractères communs. Seule la tomate qui fait abstraction des caractères organoleptiques d'un vrai fruit avec faible acidité (PH voisin ou supérieur à **5,0**) qui constitue une propriété commune à la plupart des légumes.

La maturation des fruits se fait sur la plante ou après la récolte, aboutit en générale à un équilibre optimal des caractères organoleptiques.

Dans le cas de la maturation complète et on les retard nombreux fruits, ce stade est toutefois vite suivi d'une désorganisation du tissu, c'est pourquoi, lorsqu'on désire prolonger la durée d'entreposage en vue de leur consommation à l'état frais, on les cueilli avant grâce à la réfrigération associée à la régulation de l'atmosphère des locaux.

Dans le cas des légumes, la maturation sur la plante, quoiqu'elle soit analogue à celle des fruits, ne conduit pas à une qualité organoleptique optimale ; dans la plupart des cas jugés après la cuisson.

Le vieillissement qu'il se produise sur la plante ou après la récolte entraîne souvent la synthèse d'amidon, ou d'éléments fibreux comme la lignine au détriment des sucres, d'où perte de saveur sucrée et durcissement (petit pois, haricots verts, asperges...). les fruits et les légumes sont riches en eau, d'acide organique, des protéines, des vitamines, des sels minéraux, (plus d'oses et moins d'amidon pour les fruits).

I-2 La maturation et métabolisme après la récolte.

I.2.1 Généralité sur le métabolisme après la récolte

Lorsqu'un fruit ou un légume est séparé de la plante, il ne reçoit plus, ni eau, ni nutriments, et la photosynthèse cesse. Cependant la respiration du tissu se poursuit, ainsi que diverses autres réactions enzymatiques, y compris la synthèse de pigments voire d'enzymes. Dans le cas de certains légumes cueillis avant maturité, la croissance peut se poursuivre après la récolte. Les principales réactions qui interviennent sont celles qui accompagnent la respiration. L'activité respiratoire est faible dans les légumes en dormance (carotte, betterave, pomme de terre...), qui peuvent de ce fait résister à un long entreposage sans trop se modifier ; elle est au contraire très élevée dans les fruits au moment de la maturation ainsi que dans certains légumes (par exemple asperge) qui se conserve que peu temps. La respiration des tissus végétaux consiste à l'oxydation des hydrates de carbone, elle provoque par conséquent une perte de matière sèche et souvent aussi une diminution de la saveur sucrée.

Elle consomme de l'oxygène, et il est important à cet égard que les fruits et les légumes entreposés aient de l'oxygène à leur disposition, faute de quoi l'anaérobiose entraîne la formation d'éthanol, toxique pour le tissu (tâche brune interne des pommes de terre) qui est désagréable du point de vue gustatif.

La respiration favorise aussi le développement de microorganismes due à la présence de l'anhydride carbonique qui se trouve dans les fruits et les légumes. La respiration du tissu végétal constitue aussi un facteur limitant de la conservation des fruits et des légumes à l'état frais car la réfrigération peut permettre de prolonger considérablement la durée de conservation sans dommage car chaque fruit ou légume doit respecter certaine zone de température.

Exemple : la respiration de pomme de terre est faible (les oses et l'amidon) dépendent de la température d'entreposage. Au-dessus de 5°C, c'est la synthèse de l'amidon qui domine. En dessous de 5°C, la phosphorylase est activée, l'amidon est ainsi hydrolysé, et des sucres réducteurs, glucose et fructose s'accumulent d'autant plus que la respiration est ralentie. L'accumulation de sucra réducteur affecte défavorablement la saveur et qui joue sur la couleur des pommes de terre. Les sucres réducteurs concourent aux réactions de brunissement enzymatique (formation d'alanine, alcaloïde toxique) c'est-à-dire verdissement par synthèse de chlorophylle.

I .2.2 Maturation ou Maturité des fruits :

La plupart des fruits peuvent se mûrir sur la plante, toutefois, pour des motifs à la fois technologie et économique, certaines fruits sont souvent cueillis avant la maturité complète ; la maturation se produit alors pendant le transport et l'entreposage ou, si l'on a eu recours à la réfrigération, dès que les fruits sont placés à une température plus élevée. Cette maturation artificielle améliore parfois les caractères organoleptiques du fruit (par exemple la poire). Néanmoins, elle est indispensable pour de divers fruits tropicaux pour prolonger la période pendant laquelle les fruits sont disponibles pour la consommation (par exemple, les bananes, mangues, pommes...). Généralement, les fruits parvenus à maturité sont très exposés à la détérioration, soit par la maladie physiologique, telles que le brunissement superficiel, soit à la suite d'attaque par des microorganismes (moisissures).

Le stade de maturité des fruits peut se résumer en quatre (4) phases :

Division cellulaire → **Augmentation du volume des cellules** → **Maturation** → **Sénescence**
(Floraison) (Croissance) (Vieillessement)

I .2.3 Le stockage des fruits et des légumes :

Après la récolte, les fruits et les légumes doivent être placés dans une atmosphère ambiante pour limiter la dessiccation et la perte de turgescence. Il est nécessaire de maintenir une humidité relative de (85 à 95%) dans l'atmosphère des entrepôts, cela favorise toutefois la croissance de moisissure, d'où l'emploi fréquent de fongicides (solution de phénylphénates ou d'hypochlorites en pulvérisant ou en bain de gaz tel que l'anhydride de sulfureux, l'ammoniac, le trichlorure d'azote) pour expositions courtes et répétées.

Au moment de stockage, le processus de maturation des fruits peuvent présenter des caractères différents selon la température d'entreposage : la plupart des fruits sont placés dès la récolte à une température de 15 à 18°C dans l'air, mûrissent rapidement mais, de façon incomplète, à 4°C ; la maturation est lente (environ 5 mois), mais complète ; à 0°C il n'ya aucune maturation, c'est pourquoi il est bon de surveiller l'évolution des fruits. La température supérieure à 30-35°C sont à éviter car elles ne permettent pas

le fonctionnement adéquat des systèmes enzymatiques intervenant dans la maturation, et peuvent provoquer la mort du tissu.

I-3 Conservation des fruits et légumes par le froid.

I.3.1 Technique de stockage par réfrigération.

Elle consiste à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation, mais toujours positive. Elle se situe généralement aux alentours de 0 à +4°C. Ces températures, la vitesse de développement des microorganismes contenus dans les aliments est ralentie. La réfrigération permet donc la conservation des aliments périssables à court ou moyen terme et d'allonger la durée de distribution des produits frais. Elle doit s'appliquer à des aliments sains et être continue tout le long de la filière de distribution. Une bonne conservation par la réfrigération implique la charge microbienne soit la plus faible possible. Elle nécessite donc des conditions de fabrication, de préparation et de stockage hautement hygiénique afin d'éviter la contamination (*Listeria*, *Salmonella*...).

Le tableau ci-dessous résume la réfrigération des fruits et des légumes, températures recommandées et durées de conservation.

Tableau 1 : les températures recommandées pour la conservation des fruits et des légumes par la réfrigération.

| PRODUITS | TEMPERATURE(°C) D'ENTREPOSAGE | DUREE APPROXIMATIVE DE CONSERVATION |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Artichaut | 0 | 1 mois |
| Asperge | 0 | 2-4 semaines |
| Carotte | -1 à +1 | 4-6 semaines |
| Concombre | 7 à 10 | 1-2 semaines |
| Chou | 0 | 2-4 mois |
| Epinard | 0 | 2-6 semaine |
| Haricot vert | 0 | 1-3 semaines |
| Laitue | 0 | 1-3 semaines |
| Oignon | 0 à -3 | 6 semaines |
| Petit pois | 0 | 1-3 semaines |
| Mangue | 10 à 13 | 5-6 semaines |
| Pomme de terre | 5 à 10 | 4-8 mois |
| Papaye | 7 à 8 | 1 mois |
| Abricot | 0 à -1 | 2-4 semaines |
| Avocat | 5 à 10 | 2-4 semaines |
| Banane | 11 à 15 | 1,5-3 semaines |
| Cerise | 0 à -1 | 1-4 semaines |
| Citron | 11 à 15 | 1-4 mois |
| Fraise | 0 | 5 jours |
| Orange | 4 à 6 | 6 mois |
| Pamplemousse | 4 à 8 | 2-3 mois |
| Pêche | -1 à +1 | 1-4 semaines |
| Poire | -2 à +1 | 1-7 semaines |
| Pomme | -1 à +4 | 1-8 mois |
| Prune | 0 | 1-2 mois |
| Raisin | -1 à 0 | 1-6 jours |
| Tomate | 0 | 1-6 semaines |

I.3.2 Technique de stockage par congélation.

Elle consiste à mettre les fruits et les légumes à basse température en vue d'une conservation prolongée sous l'effet d'une température inférieure à 0°C. Les produits végétaux se transforment en cristaux de glace. Tous les légumes frais particulièrement ceux saisonniers (petits pois, haricots verts...) se prêtent bien à la congélation. Les tomates, concombres, courgettes, laitues, pommes de terre perdent leurs qualités gustatives et

supportent mal la congélation. Les fruits peuvent être congelés naturels ou arrosés avec du jus de citron ou saupoudré de sucre fin en poudre.

I.3.3 Technique de stockage par surgélation.

Elle consiste à abaisser très rapidement la température d'une denrée en deçà de -18°C , pour bloquer Les activités microbiennes. L'abaissement rapide à 40°C dans des cellules de refroidissement ou des surgélateurs, entraîne la formation de très petits cristaux de glace où se conserve la structure cellulaire des produits. Cependant, les étapes préalables à la surgélation (blanchiment) occasionnent une perte en vitamine (voir le tableau ci-dessous). Les produits surgelés peuvent se conserver à -18°C pendant plusieurs mois (voir une année) sans modification notable des nutriments. Ce mode de conservation est aujourd'hui très répandu, pour sa praticabilité et la grande variété de produits disponibles (fruits et légumes).

Tableau 2 : Taux de rétention vitaminique moyen des légumes verts (pourcentage du taux).

| Vitamines | Cuisson ménagère à l'eau | Appertisation (produit prêt à consommer) | Surgélation (produit prêt à consomm |
|-----------|--------------------------|---|--|
| A | 70 à 90 | 70 à 90 | 70 à90 |
| C | 25 à 68 | 35 à70 | 40 à70 |
| B1 | 55 | 60 | 60 |
| B2 | 60 à 80 | 55 à 85 | 50 à90 |
| PP | 50 à 75 | 50 à80 | 50 à80 |

I.4 Conservation par les additifs alimentaires.

Les additifs alimentaires sont des ingrédients ajoutés aux aliments afin d'en améliorer les qualités et ne comportent, en principe aucun risque de toxicité aux doses et dans les conditions d'emploi prévu par la réglementation. Selon l'organisation des Nation Unies pour l'Alimentation, conformément à ces principes, tout additif alimentaire doit par conséquent avoir été l'objet d'une évaluation toxicologique. L'intérêt technologique de l'emploi d'un additif correspond au souci d'éviter des pertes de denrée au moment de la conservation et vise à empêcher la prolifération de bactéries dangereuses que le risque de formation de toxine botulique. Parmi les additifs alimentaires, on distingue les conservateurs chimiques, minéraux et organiques.

I.4.1 Conservateurs chimiques.

Ils sont nombreux, mais nous retenons quelqu'un et qui sont : Dioxyde de Soufre (E220), Sulfite de Sodium (E221), Bisulfite de Sodium (E 222), Disulfite de Sodium (E223), Disulfite de Potassium (E224), Sulfite de Potassium (E225), Sulfite de Calcium (E226), Sulfite acide de Calcium (E227) et Sulfite acide de Potassium (E228).....qui sont utilisés dans le but de prolonger la durée de conservation des aliments en empêchant le changement de la couleur. Ils ont comme objectifs d'assurer :

- l'innocuité de l'aliment, par l'inhibition de la multiplication des microorganismes pathogènes (salmonelles, clostridium, staphylocoques, moisissures....) ;
- la stabilité organoleptique de l'aliment par l'inhibition des microorganismes d'altération.

NB : les conservateurs chimiques n'ont pas la capacité de rendre sain un produit qui ne l'était pas son traitement, ni d'améliorer la qualité d'un mauvais produit ; ils peuvent seulement conserver au produit ses caractéristiques initiales plus longtemps qu'à l'ordinaire.

I.4.2 Conservateurs organiques.

C'est une famille importante des molécules dont les plus utilisées sont : Acide Formique (E236) et les Formiates (de Sodium : (E237) et de Calcium :(E238)), l'Acide Acétique (E260) , les Acétates (de Sodium : (E262 i) et de Potassium(E 261 i)) et les Diacétates (de Sodium : (E262 ii) et de Potassium : (E261 ii)), l'Acide propionique (E 280) et les Propionates (de Sodium : (E 281) et de Calcium : (E282)). Ces acides sont ajoutés aux produits alimentaires pour les désinfecter contre les bactéries, les levures et les moisissure..

Exemple : - l'Acide Acétique(E260) utilisé sous forme de vinaigre pour conserver les oignons contre les levures et les moisissures.

- Les propionates sont utilisés pour prévenir la moisissure sur les cuits (le jus de fruits).

I.4.3 Conservateurs minéraux.

Ce sont : Nitrate de Potassium (E252), Nitrite de Potassium (E249), Nitrite de Sodium (E250), Bisulfite de Sodium (E222), Sulfite de Sodium (E221), Sulfite de Calcium(E226), Sulfite de Potassium (E225)... sont les conservateurs minéraux les plus employés dans des produits végétaux tels que les pêches, les tomates, les pommes de terre...pour jouer le rôle de protecteur et action bactéricide contre certaines processus enzymatiques défavorables (le brunissement).

I.5 La conservation des fruits et légumes par fermentation :

La fermentation des fruits et des légumes sont des fermentations lactiques à partir des sucres du végétal.

Les bactéries lactiques présentent naturellement ouensemencées, se développent en produisant principalement de l'acide lactique.

En Afrique, de nombreux produits entrant dans l'alimentation de base sont fabriqués par fermentation : le manioc, le maïs, le chou, le soja, l'olive etc....En ce dernier temps, ce procédé de fermentation à peu à peu été remplacé par des techniques plus modernes (Appertisation ou Congélation).

I.5.1 Avantage des fermentations lactiques.

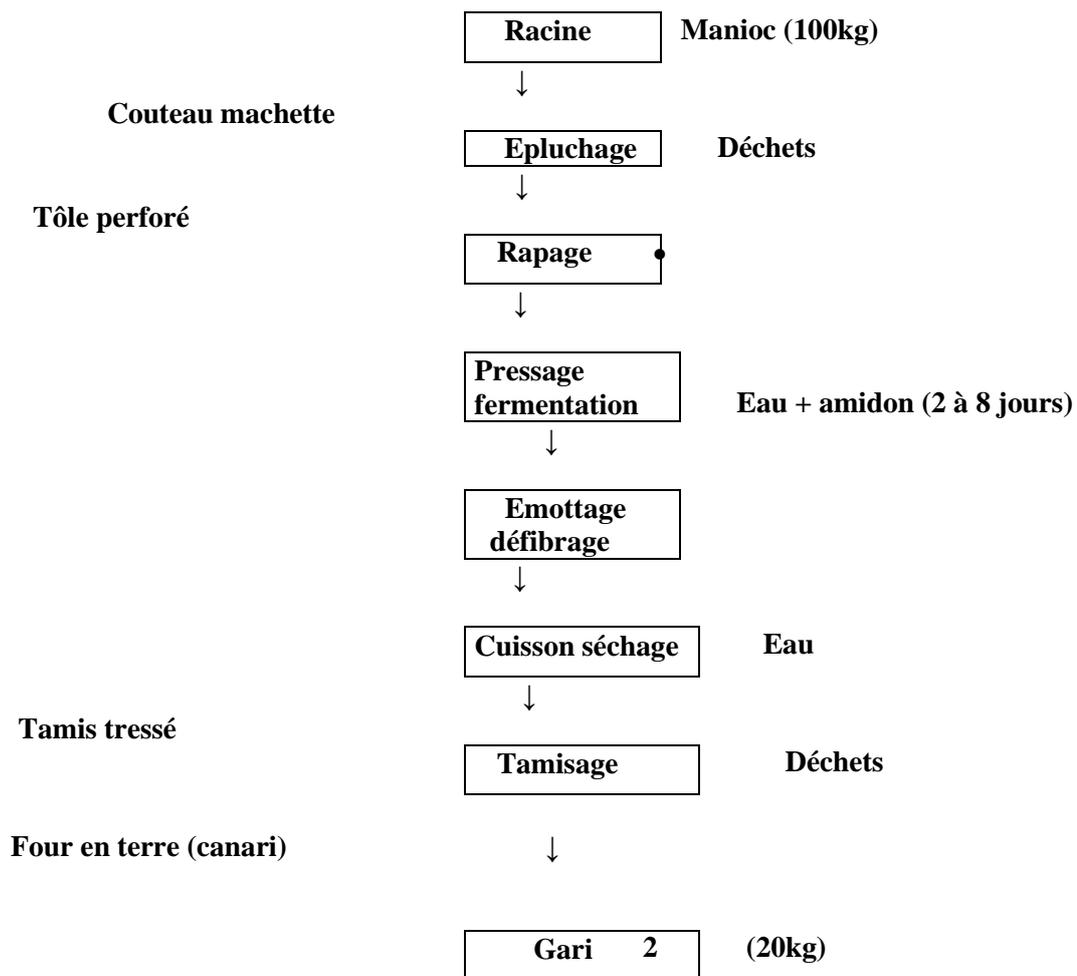
Ils sont :

- faible coût énergétique du procédé par rapport la réfrigération ;
- les qualités organoleptiques des produits ;
- réduction des agents responsables de la flatulence (état physique causé par le gaz) ;
- le maintien des fibres et des vitamines ;
- inhibition du germe indésirable (pathogène ou d'altération) grâce à la chute du PH et des espèces taxonomiques (peroxyde d'hydrogène, de gaz carbonique et de Diacetyl) ;
- transformation du goût.

I.5.2 Inconvénients des fermentations lactiques.

Le rôle attribué aux bactéries lactiques dans l'amélioration de produits présente aussi certains problèmes liés à la santé humaine (Cancer, Cholestérol, Désordre intestinaux..), même si ce rôle reste difficile à prouver.

I.5.3 Exemple de processus de la fabrication de Gari à base de manioc



CHAPITRE II : LE TRAITEMENT DES FRUITS ET LEGUMES PAR LA CHALEUR.

Le traitement des aliments par la chaleur est aujourd'hui la plus importante technique de conservation de longue durée. Il a pour objectif de détruire ou inhiber totalement les enzymes et les microorganismes et les toxines dont la présence ou la présence pourrait altérer la denrée ou le rendre impropre à l'alimentation humaine. On distingue plusieurs méthodes de conservation appropriées et les matières destinées doivent subir des traitements préliminaires. Ces traitements varient selon les matières premières et selon les produits voulus. Les fruits et les légumes subissent tous les opérations de nettoyage, triage, parage, pelage....

En outre, la plupart des légumes et certains fruits sont soumis au blanchiment, qui est une brève pré-cuisson dans l'eau chaude ou la vapeur.

II-1 Préparation

Les opérations de la préparation varient selon la nature de la matière première et le produit que l'on veut obtenir. L'ordre dans lequel elles interviennent varie également, seule les principales d'entre-elles sont mentionnées ci-après :

II.1.1 Nettoyage et lavage

Ils sont pratiqués pour la plupart des fruits et des légumes ; ils sont particulièrement importants pour les végétaux pouvant apporter de la terre ou du sable, et par là une charge microbienne élevée.

Il existe deux (2) types de lavage :

- Le lavage à tapis mécanique (utiliser pour les fruits fragiles) ;
- Le lavage par flottaison (spécialisation pour le petit pois).

II.1.2 Le Triage

Il sert à séparer les fruits et les légumes sains à ceux endommagés et selon leur grosseur et parfois selon leur couleur. Le triage se fait de deux (2) manières :

- Le triage manuel : on utilise de table de tri, doté d'un entonnoir, en dessous duquel se trouve des sacs, les produits endommagés touchent et tombent et selon la densité (1,04-1,05) ;
- Le triage automatique : c'est un traitement qui se fait en fonction de la couleur. La sélection se fait dans la chambre photo-électrique qui sélectionne les produits. On utilise l'air pour (le café, petit pois, haricot vert....) endommagés et l'eau pour (la tomate, le citron...).

II.1.3 Le Calibrage

Il permet d'obtenir un lot des fruits et des légumes de même diamètre. Il existe deux (2) types de calibreur :

- Un calibreur à roue rotatif, utilisé pour le petit pois ;
- Un calibreur à câble, utilisé pour l'abricot et certains fruits.

II.1.4 Le Parage

Il est utilisé exceptionnellement pour enlever des éléments non comestibles ou indésirables se trouvant dans les végétaux au moment de la récolte.

Exemple : écosage des petits pois , éboutage des haricot verts, pédoncule de cerises, des calices des fraises... C'est une opération qui se fait généralement grâce à des appareils automatique, conçu pour remplacer la main d'œuvre de plus en plus chère.

II.1.5 Le Pelage

Il se fait à partir des opérations de parage, mais des méthodes diverses sont employées pour le réaliser, qui sont :

- Le pelage à la flamme pour (les poivrons) ;
- Le pelage à l'abrasion, qui consiste à enlever en grattant la peau, cas de (carotte et la pomme de terre) ;
- Le pelage à haute pression ; consiste à chauffer pendant trois (3) minutes à une température de 90 C et soumet à une pression de jet d'eau pour éliminer tout ce qui n'est pas consommable,
- Le pelage à la soude caustique ; consiste à plonger les fruits dans un bain de soude de 10% pendant 30 à 90 secondes à une température de 90 C

II-2 Le blanchiment (ou Pré-cuisson)

C'est un traitement thermique de quelques minutes entre 95 à 100 °C destiné à détruire les enzymes susceptibles d'altérer les fruits et les légumes à l'exception des pêches, des abricots et des pommes. La destruction des enzymes n'est qu'un objectif parmi bien d'autres et le rôle de blanchiment qui constitue un prétraitement avant appertisation, surgélation et lyophilisation.

II-2 .1 les avantages du blanchiment

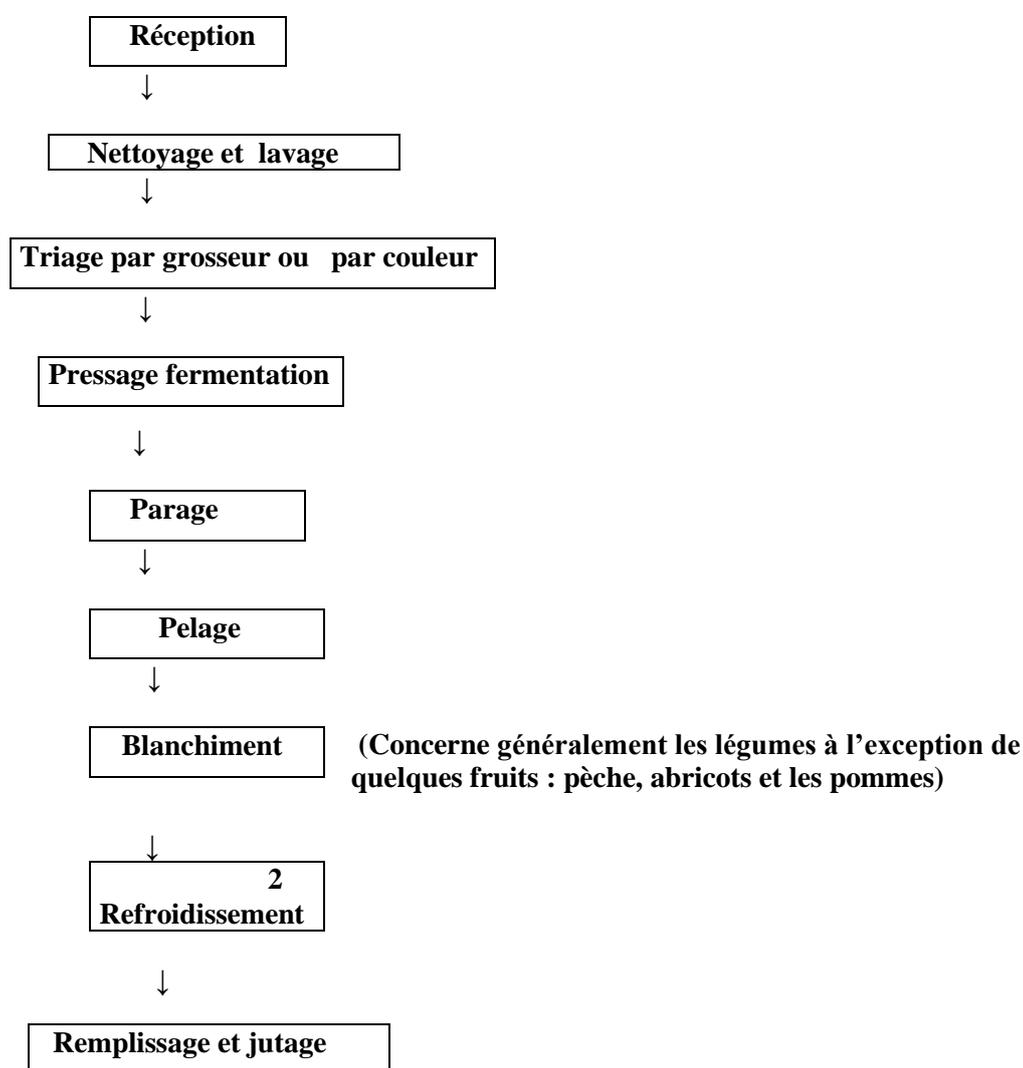
Ils se résument comme suit :

- Amélioration du goût (arôme) ,
- Elimination des enzymes (catalase, peroxydase), l'air et les autres gaz intercellulaires pour limiter l'oxydation,
- Assouplissement de la texture pour faciliter la mise en boîte (haricots vert),
- Compléter le lavage pour limiter les microorganismes.

II-2 .2 les inconvénients du blanchiment

- Ramollissement excessif de certains produits,
- Perte d'éléments nutritifs hydrosoluble (vitamine C), les sels minéraux, sucres, composée odorants.

II.2.3 Le diagramme résumant les différentes étapes de blanchiment



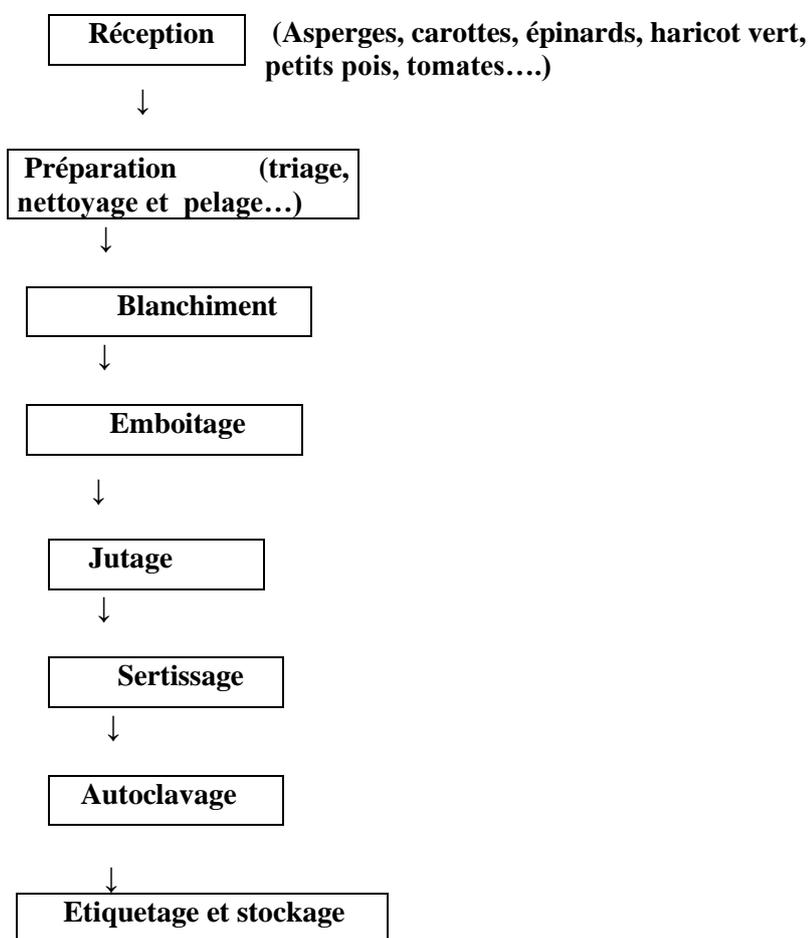
NB : Le refroidissement se fait de la manière plus rapide pour éviter les altérations chimiques, biochimiques et microbiologiques. Il se fait par le lavage à l'eau froide, soit par air réfrigéré. Le remplissage et jutage se font dans la boîte en laissant au minimum d'espace libre et ajouter un

liquide ne contenant pas de gaz (eau salée, sucrée...).

I-3 L'appertisation

C'est l'une des techniques thermiques les plus employées en terme de conservation mis en œuvre dès 1800 par Nicolas Appert. Les aliments conservés dans des boîtes métalliques, barquettes aluminium et bocaux de verre. Les boîtes barquettes et bocaux sont traités à très haute température (115 à 130°C) afin d'éliminer les bactéries et microorganismes susceptibles d'être présents. Le traitement se fait dans un autoclave (cocotte-minute). Avant la mise en conserve, les fruits et les légumes doivent passer par toutes les opérations de la chaîne de conserverie et subissent un blanchiment qui conduit à la destruction des enzymes en particulier des oxydases, puis ils sont mis en boîte et généralement préchauffés afin d'évacuer pendant un temps et à une température variable avec la nature et l'acidité du produit (inférieures ou égale à 100°C et de durée plus courte). Les aliments appertisés sont enfermés hermétiquement dans des boîtes de tel sorte qu'il ne reste plus d'air en contact avec eux. Les aliments sont ensuite conservés à une température ambiante. Les conserves des fruits et des légumes gardent leurs propriétés organoleptiques et nutritives pendant plusieurs années (deux à quatre ans et selon les cas).

II.3.1 La figure des différentes étapes de l'appertisation



II-4 Pasteurisation

C'est un traitement thermique moins sévère que la stérilisation ; et qui vise à éliminer les microorganismes pathogènes, qui pourraient altérer le produit ou le rendre impropre à la consommation. Elle est pratiquée en générale à des températures ne dépassant pas 100°C.

Dans le cas des jus de fruits dont le PH inférieur à 4, ce résultat est facile à atteindre ; il suffit en effet de se débarrasser des levures, des moisissures, et de certaines bactéries lactiques et acétiques. Le jus de tomate dont le PH est souvent proche de 4,3 ; le Bacillus thermoacidurans ou (Bacillus Coagulans) peut en effet s'y développer à partir de PH 4,2 ; avec comme conséquence un surgissement sans production de gaz ; dans ce cas il faut faire un recours à un traitement thermique assez fort. Il arrive aussi avec certaines variétés de tomates ou la maturité est très avancée, que le PH dépasse 4,5 ; l'acidification s'impose alors, pour éviter le risque de prolifération de Clostridium Botulinum avec production de toxine ; il serait en effet difficile d'appliquer ce traitement, à moins de disposer d'un appareillage spécial, des barèmes de stérilisation assurant la destruction des spores de Clostridium.

II.4.1 Pasteurisation après conditionnement

C'est un système qui consiste à introduire le jus froid, ou à une température ne dépassant pas les 100°C, dans les récipients, bouteilles de verres ; ceux-ci après la fermeture, sont chauffés dans un bain, puis refroidis. Dans le cas des jus de fruits en boîtes métalliques, il est possible et avantageux de chauffer plus rapidement, dans l'eau bouillante ou même dans la vapeur sous pression, en agitant les boîtes afin d'accélérer la pénétration

de la chaleur et d'abrégier la durée du chauffe. Le tableau ci-dessous montre quelques exemples de barème de pasteurisation.

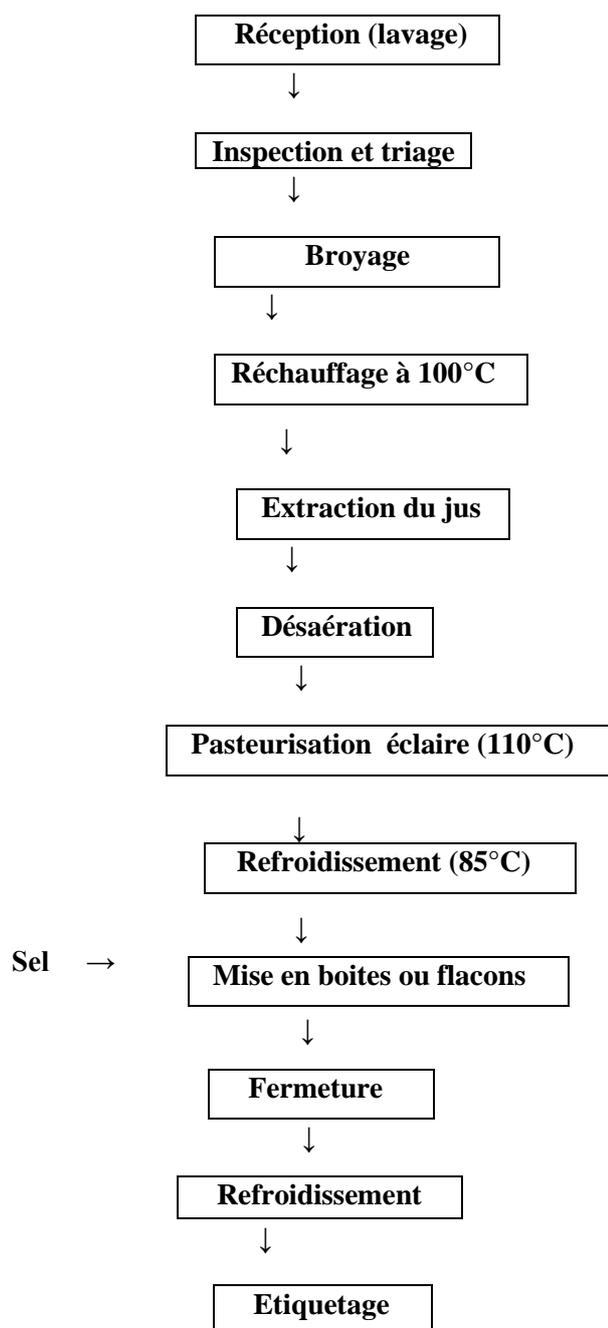
Tableau 3 : Le barème de pasteurisation après conditionnement

| Produits | Durées (minutes) | Températures en (°C) |
|--|------------------|----------------------|
| Fruits séchés et emballer (dattes, pruneaux) | 30-90 | 66-85 |
| Jus de pomme en bouteille | 30 | 77 |
| Boissons gazeuses fruitées | 30 | 66 |

II.4.2 Pasteurisation Eclair (Flash)

Cette méthode consiste à soumettre le jus à une température de 100-130°C pendant 4 à 5 secondes, puis à le refroidir immédiatement jusqu'à 82-85°C, le chauffage et le refroidissement sont réalisés dans des échangeurs de chaleur, à plaque ou tubulaires. Cette pasteurisation donne des produits bien meilleurs et de longue durée de conservation.

La figure ci- dessous nous montre le processus de fabrication de jus de tomate par la pasteurisation éclair :



II-5 La stérilisation

La stérilisation comme l'appertisation dont elle se distingue par le nom, c'est un procédé qui garantit la destruction de la totalité des microbes, bactéries, spores et toxines. En effet, la plupart des aliments se dégradent très rapidement, par l'action chimique d'enzyme, d'acides et d'autres produits oxydants, ou par le biais de bactéries ou de champignons. Ils peuvent alors se révéler nocif pour la santé et provoquer des intoxications alimentaires, c'est le cas du Botulisme qui peut être mortel. La stérilisation s'effectue à des températures plus élevées que la pasteurisation, entre 110- 1150C, parfois plus, ce qui n'est possible qu'en autoclave, c'est-à-dire dans une cocotte-minute. Elle permet de conserver les aliments (emballés à l'abri de l'air, dans des récipients hermétiquement clos), sur une longue durée et avec une qualité sanitaire très satisfaisante.

Le tableau ci-dessous résume le temps de stérilisation des produits.

Tableau 4 : Température et temps de stérilisation en minutes.

| Légumes | Températures en (°C) | Boîtes | | Bocaux | |
|------------------|----------------------|--------|-----|--------|----------|
| | | 1/1 | 1/2 | 1Litre | 1/2Litre |
| Artichauts | 115-116 | 30 | 25 | 40 | 35 |
| Asperges | 115-116 | 35 | 25 | 40 | 35 |
| Epinards hachés | 115-116 | 40 | 100 | 130 | 120 |
| Haricots verts | 115-116 | 25 | 20 | 40 | 35 |
| Petits pois | 115-116 | 45 | 40 | 55 | 50 |
| Tomates (purée) | 100 | - | 10 | 30 | 20 |
| Tomates entières | 100 | 35 | 35 | 60 | - |

NB : la stérilisation des produits acides se fait à une température inférieure à 100°C (85°C) par contre pour les produits basiques se fait à une température supérieure à 100°C.

La durée de stérilisation dépend des dimensions des récipients ; de la température initiale du produit à stériliser, de la nature et consistance du produit (liquide ou pâteux), de travail subit par le produit avant la stérilisation. La stérilisation des produits acides, se fait dans les autoclaves simples, mais pour les produits basiques, on utilise les autoclaves disposés en batteries c'est-à-dire discontinues.

II-6 La déshydratation (ou séchage)

C'est une technique physique de conservation et consiste à éliminer, partiellement ou totalement, l'eau contenue dans les aliments et présente deux intérêts principaux :

- Diminution de l'activité de l'eau pour inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques ;
- Diminution du poids et du volume pour le conditionnement, le transport et le stockage.

Ces procédés de conservation peuvent être classés en deux catégories principales :

- 1- Séchage par l'air ou par contact, à la pression atmosphérique, la chaleur est apportée à l'aliment soit par l'air chaud (la convection), soit par une surface chaude (la conduction).

Exemple : Tomate, Thé... (Température entre 80-110°C).

- 2- Séchage sous vide, le transfert de chaleur est effectué soit par conduction, soit par rayonnement.

La vapeur d'eau est généralement enlevée par condensation à l'état liquide ou par aspiration.

Exemple : Pomme de terre, Oignon, aile. Malte....

Les fruits et les légumes à sécher doivent être en parfait état et mûrs, de même variété et de même taille..

Une fois séchée, les produits doivent être conservés dans des boîtes en fer blanc, fermé et mettent dans un endroit sombre et sec.

II-7 L'irradiation ou l'ionisation

C'est un procédé physique de conservation qui repose sur l'exposition des aliments à l'action directe de certain rayonnement électromagnétique (rayon γ) ou électronique (rayon β) permettant de les conserver par des destructions des insectes et microorganismes parasites, en préservant leurs qualités organoleptiques, sanitaire et nutritionnelles. L'irradiation modifie l'activité enzymatique des tissus et retarde de ce fait la maturation de certains fruits ; elle pourrait être utilisée pour prolonger la durée d'entreposage, de divers fruits tropicaux et en facilitant par conséquent le transport. Pour les légumes, l'irradiation permet d'inhiber de façon durable la germination des pommes de terre, des oignons, et des carottes. Ce traitement permet de retarder leur détérioration à la température ordinaire.

CHAPITRE III : LES DIFFERENTS TYPES DE SCHEMAS DE FABRICATION DES JUS, JUS CONCENTRES ET CONFITURES DE FRUITS ET LEGUMES (VOIR POLYCOP).

CHAPITRE IV : PROCEDURE DE FABRICATION DE JUS DE RAISIN EN VIN (Œnologie).

IV-1 Définition du jus de fruits

On appelle jus de fruits, un liquide naturel obtenu par broyage ou pressurage des fruits sains et mûrs ; non fermentés / ou ne contenant pas plus de 1% le taux d'alcool après une fermentation. Après broyage, le jus de fruits contient en suspension des matières insolubles (fibres cellulosiques) ; ces substances peuvent être éliminées par solubilisation (enzyme) ou par précipitation ou filtration. Les fruits dont les caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques doivent présenter les jus sont : les ananas, les tomates, les pommes, les abricots, les raisins etc. En revanche, les raisins sont de fruits qui présentent de caractéristiques physiologiques exceptionnelles et conduisent à l'obtention des boissons non alcooliques et alcooliques. Les boissons à bases d'extraits (limonade, coca-cola...) sont fabriquées à partir d'extrait de citron ou d'autres fruits du groupe des Hespérides (fruits des agrumes : oranges, citrons, mandarines, pamplemousses...), acidulées au moyen des acides citriques, tartriques ou lactiques.

IV-2 Les Raisins

Les raisins sont de fruits de la vigne, constitués de grains sphériques à pépins, jaunes, ou rougeâtres réunis en grappes. La vendage ou période de la récolte pour la fabrication du vin se fait en automne les vins ont donc élaborés à partir d'une vendage et comprenant des parties diverses : le rafle, la pellicule (la peau), la pulpe (la chaire), les pépins (les graines).

IV-2-1 le rafle :

C'est la charpente d'une inflorescence (ensemble des fleurs groupées autour d'un même floral) de grappe. L'axe principal de l'inflorescence s'appelle **le rachis**. La ramification la plus courte de la grappe s'appelle **pédoncule**. A maturité, le rafle représente 3 à 6 % du poids de la grappe et elle compose de tanin (Substance amorphe et astringente extraite de la plante et principalement utilisée pour le tannage du cuir), 80% d'eau et des matières minérales (surtout potassium).

❖ **Schéma de coupe de rafle** : (à faire)



IV-2-2 la pellicule :

Elle est constituée de deux (2) parties :

- 1- L'épiderme : recouvert à la surface par une sorte de vernis qu'on appelle **la cuticule** sur laquelle se trouve une poussière (pruine) ;
- 2- Hypoderme : couche profonde qui contient les matières colorantes et odorantes.

NB : dans la pellicule, on trouve des matières colorantes telles que :

- Le flou vin (chez les cépages blancs c'est-à-dire variété de plant de vigne cultivée),
- Les anthocyanes (chez les cépages rouges).

IV-3 Evolution des grains de raisin.

IV-3.1 Les différentes phases de l'évolution du grain de raisin.

Le diagramme ci-dessous résume en quatre (4) phases de l'évolution de grain de raisin.(à faire)



- 1- **La phase herbacée :** elle s'étale de la nouaison à la véraison, qui dure de **50 - 60 jours**, caractérisée par la multiplication cellulaire intense et grandissement. Pendant cette phase, le raisin commence à prendre de couleur de sa maturité et à accumuler les sucres (10 à 15g/l) et la teneur en acide est de l'ordre de (15g/l) de jus.
- 2- **Phase de véraison ou de ralentissement de croissance :** elle est d'une courte durée avec une diminution de synthèse d'hormone de croissance et changement de couleur translucide pour le cépage, le choix de couleur pour le vin rouge. Les modifications sont dues à la migration intense de sève (substance nutritive ou liquide qui se trouve dans les végétaux surtout à la racine) vers les raisins. La teneur en sucre passe de 10 à 100g/l avec une diminution de l'acidité (environ entre 5à 10g/l) de jus.
- 3- **Phase de maturation :** s'étale entre **35-45jous** (ou **85-105 jours**) depuis la véraison jusqu'à la maturité. Elle est caractérisée par l'agrandissement cellulaire. La teneur en sucre augmente chaque jours de plus en plus important, mais le flux d'arrivée du sucre s'interrompt brusquement ; c'est la maturité. Cette teneur en sucre peut atteindre par l'année les valeurs de 200-250 et de fois 300-350g/l de jus.
- 4- **Phase de sur maturation :** elle annonce l'âge de récolte des raisins. Les échanges grain-grappe, un dessèchement du raisin commence. Si les conditions climatiques sont favorables, nous constatons un

développement de champignon responsable de la pourriture noble (*Botrytis Cinérea*).

En général, on distingue 3 types de maturations.

- Maturation physiologique ; c'est le moment sur lequel le raisin ne reçoit pas de nutriment,
- Maturation industrielle ; elle est déterminée quand le raisin atteint un volume maximum de sucre.
- Maturation optimum ; elle est aussi proche de la maturation physiologique, mais elle est caractérisée avec l'apparition de composantes aromatiques et vitaminiques une à deux semaines avant la maturité industrielle.

IV-3.2 composition et propriétés des substrats de fermentation

La fermentation alcoolique qui permet de transformer le jus de raisin en vin constitue une des étapes essentielles recherchées en particulier qu'il s'agit d'élaborer des vins rouges ou blancs.

- ✓ **Les sucres** : qui se trouvent dans la pulpe renferment essentiellement des hexoses (le glucose et le fructose) en quantité sensiblement égale et représentent la presque totalité de ces sucres fermentescibles. Le raisin contient également des sucres non fermentescibles, mais en très faibles quantités : Pentose : 0.5-1.7%.
- ✓ **Les acides organiques** : sont stockés dans les vacuoles des cellules, surtout les cellules de la pulpe. Ils sont en parties libres et parties combinés et les principaux sont :
 - Acide tartrique (5 à 10g/l),
 - Acide malique (5 à 10g/l),
 - Acide citrique (quelques centaines de milligramme/l).

Le PH de ces acides se situe généralement entre 3 à 5.

- ✓ **Les vitamines** : on les trouve dans le jus de raisin et les principales sont : la thiamine(B1), la riboflavine(B2), la pyridoxine(B6), l'acide pantothénique (B5), la biotine (B8 ou H) et les vitamines A, B, C et D. Parmi ces vitamines, la vitamine C joue le rôle de conservation c'est-à-dire empêche l'oxydation du jus de raisin ou du vin et la vitamine B joue le rôle de pigmentation et coloration pour le vin.
- ✓ **Les matières minérales** : les principaux cations sont : le potassium, le calcium, le magnésium, le sodium, le fer, le cuivre et l'aluminium. Les anions présents étant surtout le sulfate et le phosphate. Les teneurs de ces composés varient selon la nature du sol sur lequel pousse la vigne.
- ✓ **Les composés phénoliques** : qui sont ;
 - les anthocyanes, localisés dans les vacuoles des cellules de l'épiderme de la pellicule. On les trouve principalement dans les raisins noirs et donnent une teinte rouge ou bleu,
 - Les flavones, présents dans les cépages des raisins blancs et donnent une teinte jaune,
 - Les tanins, qui apportent au vin plus ou moins d'astringence selon leur degré de polymérisation. (union de plusieurs molécules d'un composé pour former une grosse molécule).
- ✓ **Les substances azotées** : sources de pépin, qui sont des protéines et des acides aminés nécessaires pour le vin. La richesse en azote varie selon la composition du sol sur lequel le raisin est cultivé et selon sa maturité. Elle se situe généralement entre 200 et 500 mg d'azote total, dont 100 à 200 mg d'azote ammoniacal et les acides aminés nécessaires à la croissance des levures en début de fermentation alcoolique. Les plus importantes quantités sont la glutamine, la proline, l'alanine et l'arginine. Il convient de signaler que lors de la maturation, l'azote assimilable diminue progressivement. Donc la sur-maturation du raisin provoque une diminution de la quantité d'azote assimilable.

IV-3.3 la récolte de raisin

IV.3.3.1 Détermination de la maturité du raisin

Dès la maturité du raisin, les sucres cessent à amasser mais, les autres constituants continuent à évoluer.

La date du vendage est déterminée en fonction de type de raisin et la qualité du vin recherché.

Elle est répartie comme suit :

- Avant maturité pour les vins effervescents ;
- maturité pour les vins rouges ;
- Sur maturité pour les liqueurs.

La figure ci-dessous représente les différents vins obtenus lors de la croissance du raisin :

Croissance.....→ Véraison (vin effervescent et blanc)...→Maturité (vin rouge...→Sur maturité (liqueur)

NB : la récolte de raisin est généralement déterminée par des indices scientifiques mesurant le rapport du sucre (S) sur l'acide (A) : **S/A**. ce rapport permet de déterminer un excellent vendage et se fixe entre 35 à 45g/l.

Dans certaines années quand les conditions climatiques sont défavorables et que le rapport **S/A** est insuffisant au norme recherché, la législation autorise le vinificateur de corriger le manque de sucre en ajoutant le glucose et fructose en quantité sensiblement égale ou corrigé l'acidité par ajout de l'acide tartrique, malique, citrique ou par l'utilisation des grappes. Cette méthode de correction, s'appelle **la Chaptalisation**.

IV-5 Transformation du raisin en vin.

IV.5.1 Préparation préliminaire du raisin

L'extraction du jus de raisin est soumise à diverses opérations de préparation, telles que lavage, calibrage, parage, inspection etc. le raisin est d'habitude égrappé de manière à éviter d'extraire les tannins présents dans la rafle, puis foulé avant le pressage.

IV.5.2 Préparation du jus de raisin (moût)

L'opération d'extraction du jus de raisin se résume comme suit :

- 1- **L'égrappage ou éraflage** : elle consiste à séparer les rafles qui lui restent après le vendage et se fait avant ou après le foulage, soit séparément, soit combinée les deux opérations. Elle a pour but de donner plus de souffle au vin (réduction de la teneur en tanin qui est l'origine de mauvais goût du vin).
- 2- **Le foulage** : c'est une opération qui vise à faire éclater les grains, crassés les pépins et les rafles. Elle a pour but de libérer au maximum de jus et permet de mettre en contact les levures naturelles de la pellicule et le moût sucré pour favoriser un bon départ de fermentation.
- 3- **Le pressurage** : il vise à extraire le moût des parties solides du raisin. Pour le vin rouge, il s'effectue sur les raisins fermentés alors que pour le vin blanc, il s'opère sur les raisins frais égouttés.
- 4- **La centrifugation** : c'est une opération qui sert à éliminer une partie, voire la plus grande partie, des matières en suspension. Cette opération s'appelle **débourbage**, et constitue tout simplement une décantation accélérée, suivie d'une clarification et la filtration.
- 5- **L'entreposage** : le jus extrait contient une sursaturation de tartrate acide de potassium, il est par conséquent, il est nécessaire de laisser précipiter pour éliminer ce sel avant le conditionnement car il y formerait un dépôt. Cette précipitation demande généralement plusieurs semaines, mais l'addition d'anhydride sulfureux à une dose d'au moins 1g/l à un PH 3 est la plus employée pour une rapide précipitation. L'anhydride sulfureux joue aussi un rôle conservateur.

IV-5.3 les levures et la fermentation du jus de raisin (moût)

IV-5.3.1 les levures

Les principales souches de levure utilisées pour la fermentation alcoolique appartiennent aux genres Saccharomyces, et pour la plupart à l'espèce Saccharomyces cerevisiae, caractérisées par leur capacité à fermenter une quantité importante de sucre (200g/l et pouvoir alcool gène (10 à 15°), l'espèce Oviformis peuvent fermenter jusqu'à 18°.

IV-5.3.2 la fermentation du moût

La fermentation est une modification chimique des substances organiques sous l'action des enzymes. Cette définition générale inclut en pratique toutes les réactions chimiques, physiologiques produits par des microorganismes tels que les moisissures, les bactéries et les levures. **Par exemple**, la lactase transforme le lactose en acide lactique. Ce type de fermentation est la fermentation alcoolique dans laquelle l'action de la zymase sécrétée par la levure transforme les sucres simple (glucose, fructose) en éthanol et en gaz carbonique. Mais, les conditions dans lesquelles se déroulent la fermentation sont encore très variables et selon les pays et le type de vin recherché. La fermentation peut durer plus d'un mois lorsqu'elle se déroule à faible température (environ 10°C) sur un moût très riche en sucre (plus de 200g/l). A 20°C sur un moût contenant (160-180 g/l)., la fermentation va durer 6 à 7 jours.

IV-5.3.2.1 La fermentation alcoolique ou éthylique

Elle est réalisée sous l'action des bactéries et/ou des levures qui vont transformer le glucose en éthanol, c'est-à-dire le sucre en alcool ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH$), 180g de glucose vont donner environ 92g d'éthanol et 88g de gaz carbonique. Ce processus doit s'effectuer dans un milieu anaérobie, c'est-à-dire dépourvu d'oxygène et à une température environ 25-30°C pour les vins rouges et 18-20°C pour les vins blancs.

IV-5.3.2.2 La fermentation malolactique

C'est la transformation de l'acide malique (C₆H₆O₅) en acide lactique et gaz carbonique.

Cette fermentation intervient souvent après la fermentation alcoolique et a pour but de désacidifier le vin et permet au vin d'acquérir une meilleure stabilité biologique (faible quantité d'anhydride sulfureux).

Elle s'applique généralement pour le vin rouge pour donner plus de souple et des caractères de fraîcheurs.

IV-6 La vinification

IV-6.1 Définition : est l'ensemble des procédés qui permet de transformer le jus de raisin en vin.

Ces procédés passent donc, par des manipulations physiques, chimiques, et permettent de faire appel à chaque catégorie de vin recherché. Ainsi, les vins rouges, blancs, roses, les vins spéciaux et d'autres encore, ne sont pas conçus de la même manière, mais certaines étapes d'élaborations sont incontournables.

IV-6.2 les opérations communes à toute la vinification

Elles se font après l'extraction du moût et se présentent comme suit :

- **Le sulfatage :** consiste à apporter dans le vin ou dans le moût un certain anhydrique sulfurique (SO₂) dont le but est l'apport pour avoir un vin de qualité agissant antiseptique. La sélection se fait selon les doses pour :
 - Clarifier le milieu en favorisant la décantation rapide ;
 - Retarder toutes les oxydations ;

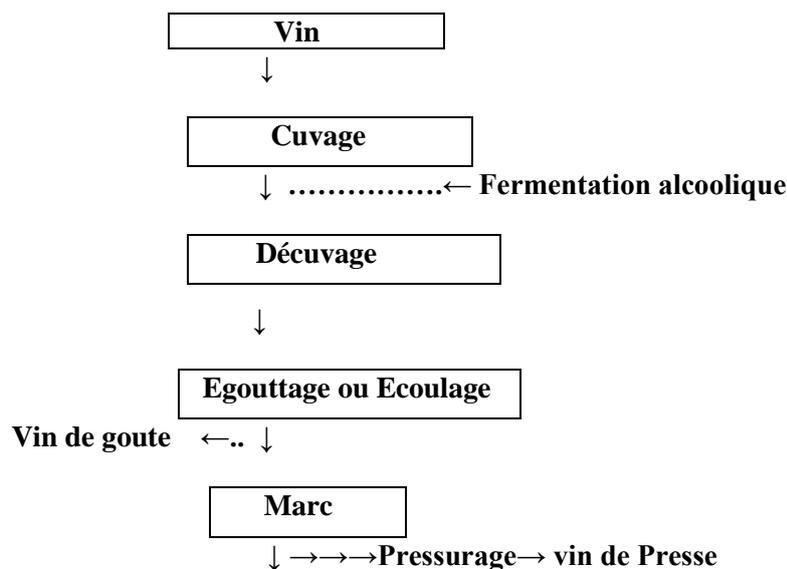
- Acidifier le moût ;
 - Influencer sur la qualité de moût (éviter le mauvais goût) ;
 - Augmenter le degré alcoolique ;
 - Donner une coloration intense ;
 - Conserver les parfums.
- **Le remontage** : consiste à prendre le moût de partie inférieure de la cuve et l'amener à la partie supérieure au moyen des pompes. Cette opération permet d'aérer le moût d'une manière plus ou moins importante pour fournir l'oxygène aux levures.
 - **Le levurage** : consiste d'apporter les levures sélectionnées pour favoriser l'activité des levures dans un moût pendant les conditions défavorables.

IV-6.3 Les opérations particulières de la vinification

Elles sont :

- **Le cuvage** : c'est l'opération qui consiste à mettre en cuve durant un temps plus ou moins long pour que la matière solide soit descendue au fond, soit remonté. La durée de la cuvaison est de :
 - 2-3 jours pour les vins de consommations courantes ;
 - 10-20 jours pour les vins de longue conservation ;
 - 2-3 semaines pour les vins de qualité.
- **Le décuvage** : est applicable après la fermentation alcoolique et consiste à laisser écouler ou égoutter le vin. Après l'égouttage, nous obtenons à l'intérieur de la cuve des matières solides, appelée **Marc**.
Le marc sera ensuite dirigé vers des pressoirs pour être pressé parce qu'il contient encore une quantité importante de vin.
- **L'écoulage ou égouttage** : c'est une opération qui consiste à faire égoutter par gravitation ou pompage le vin.
- **Le pressurage** : consiste à faire passer le marc encore riche en vin dans les pressoirs pour récupérer le vin de presse. La composition du vin de presse est différente de celle du vin de goutte.

IV-6.4 Diagramme résumant Les opérations particulières de la vinification



IV-7 La vinification spéciale (champagne)

Le champagne ou vin effervescent s'obtient par l'addition du sucre (4g/l) et des levures et sous pression atmosphérique qui se situe entre 5 et 6 pascal pour provoquer une nouvelle fermentation dans la bouteille. L'ajout du sucre et des levures permettent d'accroître la teneur en alcool.

L'opération d'élimination du dépôt des levures dans les bouteilles passe par le remuage (consiste à renverser les bouteilles pour faire monter les substrats du fond de bouteille vers les hauts) et dégorgement (opération qui permet de faire écouler normalement tout en éliminant ce qui obstrue).

Conclusion : le vin est un milieu très défavorable pour la croissance des bactéries lactiques car les principaux facteurs physico-chimiques se situent entre à la limite de la croissance bactérienne.

- Le PH du vin qui situe entre 3 à 3,5 selon les régions alors que l'optimum se situe entre 4,5 et 4,8 ;
- La température de la fermentation alcoolique est souvent inférieure à 20°C et dans certains cas, elle est proche de 10°C, alors que l'optimum se situerait vers 25°C ;
- Le niveau d'éthanol dans le vin est de 10 à 13%, ce qui bloque ou inhibe le développement de la plupart des souches de bactéries lactiques ;
- L'anhydride sulfure (SO₂) utilisé lors de différentes opérations agit comme antioxydant et joue un rôle bactéricide et inhibiteur.

CHAPITRE V : LE THE

V-1 Définition

Le thé est une boisson courante obtenue à base de feuille séchée de théier (arbuste de la famille des théacées), consommé en infusion, est un stimulant aromatique contenant des huiles essentielles et de théine, qui est en réalité le même produit que la caféine. La concentration du thé en caféine est comprise entre 2,5 et 4,5 % alors que le café n'en contient, en moyenne que 1,5%.

V-2 Composition du thé

Le thé est composé de :

- **La théanine** : est le principal acide aminé présent dans les feuilles de thé et qui a un effet relaxant sur le système nerveux. Une étude récente a démontré son rôle dans la diminution du stress physiologique chez des patients adultes. Elle agirait sur le cerveau en augmentant l'activité des fréquences alpha (fréquence cérébrale qui caractérise l'état de repos de l'organisme). On trouve généralement dans le thé vert et entre 1 et 2%.
- **Les minéraux**, sont en grand nombre dans les feuilles de thé et la consommation de celui-ci participe au bien-être de l'organisme grâce à la présence de ces minéraux. Un gramme de feuille séchée de thé contient de :
 - Potassium, environ 200mg, qui assure plusieurs fonctions vitales équilibre acido-basique, contrôle du taux des fluides et du PH dans les cellules, participe à la transmission des impulsions nerveuses qui sont essentiellement à l'origine de la contraction musculaire et participe au bon fonctionnement des reins ;
 - Calcium, environ 4 mg, il représente 2% de notre poids corporel et le principal constituant de nos os et de nos dents. La teneur journalière recommandée pour un adulte est de 1,2g ;
 - Magnésium, environ 2mg et contribue à la transmission nerveuse et à la relaxation musculaire après la contraction. Il est essentiel au maintien d'un rythme cardiaque régulier, au métabolisme des lipides, ainsi qu'à la régulation du taux de sucre sanguin et de la tension artérielle. La teneur journalière recommandée est de 400 mg ;
 - Les minéraux comme sodium, zinc, cuivre, nickel...sont présents, mais en infime quantité.

- **Les tannins**, sont de l'ensemble de molécules qui, dans le thé, sont responsables de l'astringence (caractère de ce qui est astringent : gout ou odeur). Ils participent également à son épaisseur et à sa coloration. Ils ont un rôle sur les effets stimulants en se liant à la caféine du thé et retardent la diffusion de ce dernier dans le sang.
- **Les antioxydants**, sont de molécules qui diminuent ou empêchent l'oxydation d'autres substances chimiques et les plus connus sont les poly phénols. Les poly phénols représentent 20 à 35 % de l'extrait sec de la feuille et rassemblent plusieurs molécules antioxydantes dont la plus grande partie sont les flavonoïdes, qui sont la catéchine (épicatéchine, gallate d'épicatéchine, épigallocatechine, gallate d'épigallo-catéchine), qui font l'objet de nombreuses études pour leurs propriétés anti oxydantes. Ce sont le thé vert et le thé blanc qui contiennent le plus de catéchine. L'oxydation ayant pour effet de les transformer en théaflavines et en théarubigines, d'autres antioxydants dans le thé noir, rouge puerh et coolong.
- **La caféine et la théine du thé**, la caféine du thé représente 2,5 à 5% d'une feuille de thé. Les scientifiques l'ont d'abord nommée théine jusqu'à ce que des recherches en 1838 prouvent que cette molécule était effectivement de la caféine et qui agit sur le système nerveux central et cardio-vasculaire comme stimulant.

Exemple ; un thé riche en bourgeons contiendra plus de caféine qu'un thé composé essentiellement de grandes feuilles (comme les Oolong).

NB : le café contient plus de caféine (7 à 10 fois plus) que le thé. Pour 100ml de thé noir ; il faut 20 mg de caféine et pour 100ml de café ; il faut environ 150 mg de caféine. C'est pourquoi l'effet du thé est moins vif mais plus durable.

V-3 Transformation ou méthode de la fabrication du thé

V-3.1 Le Flétrissage, c'est une opération qui consiste à sécher les feuilles de thé jusqu'à ce qu'elles perdent 40 à 50% de leur teneur en eau. Le thé est posé sur de longues claies ventilées ; ses feuilles sont assouplies manuellement.

V-3.2 Le Roulage, les feuilles sont roulées sur elles-mêmes sans être brisées dans des machines adaptées. Les cellules se brisent, libérant les huiles essentielles qui rendent possible la phase suivante de fermentation. De plus, cette légère pression libère les sucres qui confèrent au thé sa saveur caractéristique.

V-3.3 La Fermentation ou oxydation ; elle se fait dans une atmosphère humidifiée où l'air ambiant ne circule pas. Le thé s'oxyde et prend sa couleur brune par absorption d'oxygène.

V-3.4 La Dessiccation ou torréfaction ; elle se fait dans des chambres à air chaud (90 et 95°C) pour arrêter la fermentation. Devenues noires, les feuilles n'ont conservé que 5% d'eau au maximum.

V-3.5 le Criblage et tamisage ; lors de la dessiccation, les feuilles peuvent s'effriter et les brisures forment la poussière du thé. Le tamisage consiste à séparer la poussière du thé et l'opération de criblage permet d'obtenir le thé selon les grosseurs voulus.

V-4 les différents types de thé :

- **Le thé blanc**, est le thé non oxydé et subit deux opérations : flétrissage et séchage. Ces deux opérations se font dans la plupart du temps en plein air ;
- **Le thé vert**, est le thé oxydé et les feuilles ne sont ni flétries, ni manipulées avant leur séchage.

L'action enzymatique des feuilles est évitée par la chaleur et le séchage des feuilles ;

- **Le thé bleu-vert** ; est le thé partiellement oxydé ou en voie de fermentation appelé aussi **Oolong**.
Le degré d'oxydation varie de 10 à 70%. Moins un thé est oxydé et plus il se rapproche de thé vert, plus la feuille est oxydée et plus elle se rapproche de thé rouge ;
- **Le thé rouge (appelé aussi thé noir)**, est un thé oxydé ou fermenté, puis torréfié pour éliminer les enzymes oxydantes et réduire l'humidité ;
- **Le thé noir ou sombre (appelé Pu'erh)**, c'est de thé post-fermenté ou post-oxydé.
Le processus de fermentation est accéléré en rassemblant et recouvrant les feuilles sous une bâche. Les feuilles sont ensuite triées, séchées puis à nouveau humidifiées et rassemblées. Les feuilles sont régulièrement retournées et aérées et elle peut durer deux mois d'où la fameuse appellation **thé post-fermenté**. Lors d'une phase d'humidification, le thé peut être sculpté, compressé en forme de galette et s'améliore en vieillissant

V-4.1 Résumé de la fabrication du thé à partir de feuilles de thé fraîche

| Thé blanc | Thé vert | Oolong | Thé rouge |
|--------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| Flétrissage | Torréfaction | Flétrissage | Flétrissage |
| Dessiccation | Roulage | Sudation | Roulage |
| | Dessiccation | Fermentation partielle | Fermentation complète |
| | | Roulage Dessiccation | Dessiccation |

V-5 le thé soluble

Consommer dans de l'eau chaude, le thé soluble présente de nombreux goûts. Le thé soluble de type Lipton aromatisé à la menthe est boisson très rafraichissante et aromatique spécialement conçue pour la distribution automatique. Il est obtenu par déshydratation, l'atomisation et la lyophilisation et présente les valeurs nutritives comme suit :

| Valeur énergétique | Protéines | Glucides | Matières grasses | Acides gras saturés | sucres | Sel |
|--------------------|-----------|----------|------------------|---------------------|--------|-------|
| 19 | 0,5 g | 4,9 g | 0 g | 0 g | 4,1g | 0,01g |

CHAPITRE VI : LE CAFE (le fruit de caféier)

VI-1 Définition : le fruit du caféier est une drupe (appelée Cerise), qui pousse en grappe serrées sur les rameaux de l'arbre, à l'aisselle des feuilles. La cerise est constituée d'une peau rouge à maturité (l'exocarpe), d'une chaire mucilagineuse plus ou moins abondante (le mésocarpe) et de deux graines opposées par leur face plate, sa loge reste vide et l'autre prend une forme plus arrondie (caracoli). Chaque graine est recouverte d'une pellicule argentée (le spermoderme) et entourée par la parche (endocarpe). La teneur en eau de cerise fraîche à maturité est voisine de 65%.

La figure ci-dessous représente la coupe d'une cerise fraîche de café :

VI-2 Le traitement post-récolte

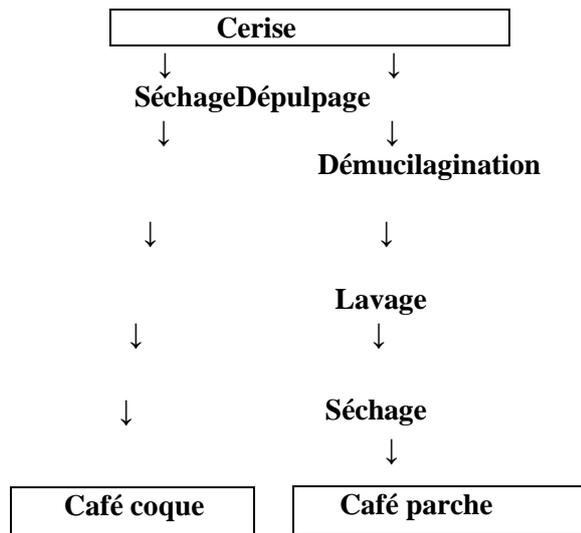
La préparation primaire du café répond à deux objectifs :

- Abaisser la teneur en eau de la cerise fraîche jusqu'à un niveau qui permette la bonne conservation des graines (soit environ 12% sur matière humide) ;
- Débarrasser les graines de l'ensemble des enveloppes qui les entourent.

Après la préparation post-récolte, les cerises sont soumises à deux modes de séchage et qui sont :

- La voie sèche, qui conduit aux cafés naturels (café coque) ;
- La voie humide, à l'origine des cafés lavés (café parche).
 - Le traitement par voie sèche implique le séchage de la cerise entière : l'ensemble des enveloppes (exocarpe, mésocarpe et endocarpe) est ensuite séparé au cours du décorticage.
 - Le traitement par voie humide consiste à éliminer d'abord l'exocarpe et une fraction du mésocarpe par des moyens mécaniques. La partie du mésocarpe qui reste encore adhérente à la parche après le dépulpage (dépulper : enlever la pulpe), est appelée **mucilage** (substance végétale visqueuse). La présence du mucilage pendant le séchage risquerait de provoquer des fermentations indésirables préjudiciables à la qualité du produit. Le café dépulvé doit être dé mucilaginé puis séché. La fermentation du café est une technique de dé mucilagination et qui suit des étapes du traitement par voie humide, mais nous nous intéressons sur le traitement par le voie sèche et qui passe par le séchage des grains.

Le diagramme ci-dessous nous montre le traitement post- récolte du café.



V-3 Les principales variétés

Il existe plus d'une centaine d'espèce de caféier, mais deux espèces d'origine africaine sont principalement cultivées. Ce sont l'arabica et le robusta, qui fournissent les neuf dixièmes de la production mondiale. Le robusta est plus riche en caféine que l'arabica (2 à 3 % pour robusta contre 1 à 1,3% pour arabica) et les deux sont convenables pour le café soluble.

VI-4 La composition du café

La fève (semences ou fruits) renferme un mélange complexe de divers composants. La dégradation partielle de la fève lors de la torréfaction entraîne l'apparition d'un certain nombre de produits notamment des composés aromatiques. On classe les constituants du café en deux catégories :

- Les composants gustatifs, non volatils, qui sont la caféine (substance alcaloïde qui est le principe actif du café et qu'on en extrait pour des usages thérapeutiques) 0,8 à 2 %, la trigonelline, l'acide chlorogénique et les acides phénoliques, l'acide aminés, les glucides et les minéraux ;
- Les composants volatils, dont les principaux sont les acides organiques, les aldéhydes, les acétones, les esters, les amines et tous les composants sulfurés connus sous le nom de mercaptans (synonyme de thiol (Thiol-SH (groupement sulfhydrile) attaché à un atome de carbone qui à l'origine de forte odeur. La caféine agit comme stimulant du système nerveux et peut entraîner des effets physiologiques importants. Son abus peut entraîner une intoxication appelée **caféisme**. Ce pendant, il est possible d'éliminer la caféine par le traitement qu'on appelle **la décaféine**.

VI-5 Les différentes étapes de la fabrication du café

VI-5.1 La récolte et séchage

Après récolte, les fèves du caféier sont mises à sécher pendant 2 à 3 semaines. Elles sont ensuite débarrassées de la pulpe qui les entoure mécaniquement. Les fèves sont cueillies de façon sélective, ramollies à l'eau dans de grand bassin, lavées à nouveau puis séchées à l'air libre ou dans des cylindres rotatifs chauffants. Après séchage à l'air libre, les fèves sont ramassées pour être triées puis calibrées avant d'être torréfiées.

VI-5.2 Torréfaction du café

Elle assure la fragmentation du tanin et la suppression de l'huile, et libère l'arome des fèves.

Cette torréfaction s'effectue en deux temps :

- Les fèves sont grillées pendant 12 à 15 mn à une température de 193°C pour une torréfaction légère, à 205°C pour une torréfaction moyenne et jusqu'à 218 pour une torréfaction poussée ;
- Les fèves torréfiées sont rapidement refroidies, la couleur brune ainsi obtenue grâce à la carbonisation
- de la cellulose et du sucre. Les fèves torréfiées sont ensuite, soit emballées pour les commerces de détail, ou bien moulues avant d'être commercialisées. Le café moulu perd son parfum en moins d'une semaine s'il n'est pas emballé de façon adéquate. Les paquets conservent la fraîcheur du café pendant 3 ans.

VI-6 Le café soluble ou instantané

C'est un produit phare de l'industrie du café obtenu par déshydratation d'extraits de café selon 2 méthodes différentes, l'atomisation et la lyophilisation. L'atomisation permet de sécher à chaud les extraits de café. Lors de la fabrication de café lyophilisé, dont l'arome est meilleur que celui du café obtenu par atomisation, l'extrait de café est congelé, et l'eau éliminée par sublimation.

Le produit obtenu est emballé sous vide d'air dans des récipients scellés.

CHAPITRE VII : LE BLE

VII-1 Définition : De l'espèce issue du croisement de *Triticum turgulum* et *Triticum Lauchü*.

Les diverses variétés de blé dur (*Triticum Turgulum*) sont issues de l'amidonier cultivé, lui-même issu du croisement *Triticum Urartux Aegilops speltoides*. L'ensemble de ces espèces est originaire du proche –orient, de la Mésopotamie et d’Ethiopie.

Le blé dur constitue 5% de la production de blé des pays en développement, il est produit à 80% au Moyen Orient et en Afrique du Nord, dans des zones de climat semi-aride ou aride. Le blé tendre est produit sous le climat plus humide. Le blé est une céréale cultivée principalement pour leurs grains comportant qu'un seul cotylédon et constituée par le germe qui donne la plantule, l'amidon appelée endosperme ou albumen, tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires pour sa croissance et les enveloppes protectrices ou son, composées par la paroi de la graine (testa) et par la paroi (péricarpe).

VII-2 Différence entre un blé tendre et un blé dur.

Le tableau 5 ci-dessous résume les différences qui existent entre le blé dur et le blé tendre :

| Caractères | Blé tendre | Blé dur |
|--------------------------|---|--|
| Aspect génétique | 3 A,B et D génomes $2n = 42 = 3$ | 2 génomes : A et B $2n = 28 = 2$ |
| Prédominance | L'amidon | Protéines |
| Aspect de la plante | Feuilles très étroites, maturation très rapide. | Feuilles larges, maturation très longue, moisson tardive, exigeante du point de vue sol et climat. |
| Forme | Texture opaque, structure de l'amande farineuse | Texture vitreuse |
| Utilisation de la farine | Pains, biscuits... | Semoule,couscous, galette, pate... |

VII-3 Composition chimique du blé

Le grain de blé est constitué essentiellement de l'eau, des matières organiques (glucides, matières azotées, lipides) auxquelles s'associent en faibles proportions des matières minérales.

Le tableau 6 ci-dessous résume la composition chimique moyenne de différentes parties du grain et des farines de blé tendre (en gramme (g) pour 100g de matière sèche).

| | Matières minérales | Matière Azotée totale | Matière grasse | Glucides totaux | Matière cellulosique |
|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| Grain entier | 1,7-2,0 | 10-13 | 1,45-2,5 | 70-75 | 2-3 |
| Enveloppes | 8-10 | 18-22 | 3-5 | 65-68 | 15-20 |
| Germes | 5-6 | 25-30 | 15- 19 | 35-45 | 0,1-0,2 |
| Amande | 0,4-0,6 | 9-11 | 0,5-1 | 80-85 | 0,5-0,6 |
| Farine | 0,5-0,6 | 9-11 | 0,6-0,7 | 75-80 | 0,2-0,3 |

Ce tableau met en évidence l'importance des glucides dans le grain comme dans la farine par rapport aux autres constituants. Par ailleurs, les matières azotées ont une teneur élevée notamment dans l'enveloppe et le germe. Du point de vue qualitatif, les céréales renferment une faible proportion de protéines bien équilibrées (albumines, globulines) localisées dans les tissus périphériques (couche à aleurones, assise protéique, germe). Voir coupe longitudinale d'un grain de blé (**figure 3**). La matière grasse dont la majorité,

se trouve dans le germe et les enveloppes est en proportion faible. Les matières minérales sont en faible proportion et inégalement réparties. Ainsi 80% des cendres se trouvent dans les enveloppes contre 20 % dans l'amande. Le potassium, la phosphore, le calcium et le magnésium possèdent les teneurs les plus élevées parmi les matières minérales contenues dans le blé. Le soufre se trouve en très faible quantité, mais à une importance du fait qu'il entre dans la composition de certains acides aminés comme la methiome et la cystéine.

Le tableau 7 ci –dessous résume la composition moyenne en minéraux du grain de blé et des différents produits de mouture (en milligramme (mg) pour 100g de matière sèche).

| | Potassium | Phosphore | Fer | Zinc | Calcium | Magnésium |
|---------------------|-----------|-----------|-----|------|---------|-----------|
| Grain entier | 500 | 350 | 5 | 6 | 50 | 150 |
| Germe | 400 | 1200 | 16 | 4 | 100 | 500 |
| Son | 1300 | 1100 | 20 | 20 | 130 | 530 |
| Farine | 160 | 150 | 13 | 0,3 | 30 | 80 |

NB : la mauvaise condition de conservation de grain influent négativement sur la valeur boulangère par élévation de l'acidité de matière grasse et son à l'origine de phénomène de rancissement qui s'accroît tout au long de la période de conservation du grain.

VII-4 Transformation du blé.

VII-4.1 Industrie de première transformation (fabrication de la farine).

L'objectif de la première transformation est d'isoler l'albumen amylic des parties périphériques (à savoir les enveloppes, la couche à aleurone et le germe). C'est une opération de fragmentation et de séparation. Le grain de blé a une certaine caractéristique c'est-à-dire l'élimination des enveloppes s'effectue de l'intérieur vers l'extérieur. (c'est la mouture). Contrairement au riz que l'élimination des enveloppes se fait de l'extérieur vers l'intérieure (c'est l'abrasion décortique)

voir polycop, la figure 8.

La mouture d'un blé est définie par le taux extraction :

Taux d'extraction = poids de farine ou de semoule extrait/ 100kg de blé mis en œuvre.

(Taux d'extraction est exprimé en pourcentage c'est-à-dire 1kg de farine correspond à 1% de farine)

Exemple : 100kg de blé est mis en œuvre pour extraire de la farine. La farine obtenue de cette mouture est de 75kg ou 75%. Déterminer le taux des impuretés provenant de ce blé ?

VII-4.2. Les différentes étapes de la mouture du blé.

1- La réception du blé.

Après la récolte, le blé est conservé dans des boisseaux appelés aussi boisseau à blé sale.

2- la pesée du blé.

A la sortie des boisseaux, le blé est pesé au moyen d'une bascule automatique, un compteur permet de compter la somme des déversements. La quantité enregistrée représente le poids du blé sale entré au moulin.

3- Séparateur-aspirateur.

Après la pesée, le blé se dirige vers la première machine de nettoyage, appelée le séparateur-aspirateur.

Cet appareil a pour but d'enlever du blé, les impuretés de taille nettement différente.

La séparation se fait en fonction du diamètre du produit. Il possède des tamis munis d'un mouvement de va et vient, ce qui permet d'éliminer les gros et les fins déchets.

4- Le magnétique.

Il est équipé d'un aimant ou bien d'un électro-aimant, ce qui va permettre l'attraction et l'élimination des corps de natures métalliques.

5- Le triage.

C'est l'une des opérations les plus importantes de nettoyage et a pour but d'enlever les impuretés et de trier le blé qui possède le même diamètre.

6- Le brossage.

Il permet d'enlever les particules et les poussières qui se maintiennent à l'intérieur du sillon de la graine.

7- Le pesage.

Le deuxième pesage intervient pour donner le poids du blé propre avant sa mise en mouture.

8- La mouture du blé propre.

Elle comporte deux (2) opérations :

- **la fragmentation**, consiste à un broyage qui permet d'abord une réduction des grains en particules grossières. Elle s'effectue grâce à des claqueurs, des convertisseurs et des désagrégeurs et qui ont pour but final l'obtention des particules plus fins (farine ou semoule) ;
- **la séparation**, cette phase aboutit à la séparation des enveloppes et des particules par un tamisage. Ainsi, il se produit un classement des particules selon leur granulométrie. Les sasseurs dans le cas du blé dur qui permet un classement aérodynamique des différentes semoules avec une purification. dans le cas du blé tendre, on utilise des plansichters (tamis animés de mouvement oscillatoires et circulaire qui permettent de faire le classement des particules en fonction de leurs volumes).

Voir polycop, figure 17.

Méthodes :

- On prend la quantité du blé qu'on veut broyer (il doit être nettoyé des impuretés) ;
- On détermine l'humidité par la méthode rapide (inframatic) ;
- On calcul la quantité d'eau qu'il faut ajouter par la relation suivante :

$$E = Q (H_f - H_i / 100 - H_f)$$

Q : Quantité du blé qu'on va broyer.

H_f : Humidité finale ≈ 16%

H_i : humidité initiale (déterminé par le test d'humidité)

E : Quantité d'eau ajouté pendant le mouillage pour atteindre 16% ;

- On laisse reposer le blé mouillé pendant 24h pour assurer qu'il a bien absorbé l'eau ;
- On allume l'appareil pendant 2min pour éliminer toute sorte d'ancienne farine restant dans la mouture ;
- Après on lance la mouture du blé, le taux de la semoule doit être calculé :

Si on a un pourcentage de la semoule >48% =====> il faut répéter 2 fois l'étape de convertissage.

Si on a un pourcentage de la semoule < 48% =====> un seul convertissage suffira.

- On récupère la farine, sons et la semoule et on mesure leurs quantités.

Du coup la farine obtenue va nous permettre d'effectuer les principales analyses :

alvéographe, consistographe, gluten, l'humidité, temps chutes, taux cendres... Et à partir de ces analyses on pourra savoir si le blé reçu est de bonne qualité.

VII-4.3 Industrie de deuxième transformation

C'est une opération de mise en forme dont l'objectif est la fabrication d'un produit digestible et agréable sur le plan organoleptique. Cette mise en forme se fait de différentes manières :

- par fermentation et cuisson (cas de la panification) ;
- par extrusion sans fermentation à basse températures (technique de fabrication de produits par écoulement de matières liquides en donnant une texture légère ou plastification) ;
- par roulage sans fermentation (cas de la fabrication de couscous).

Parmi les différentes techniques de la deuxième transformation précitée ci-dessus, nous nous intéressons à la panification. Les autres techniques font partir de vos recherches personnelles.

VII-4.3.1 La panification ou fermentation banale

Elle se repose sur trois (3) étapes :

- 1- le pétrissage (hydratation et formation de la pâte) ;
- 2- la fermentation (la levée de la pâte par la présence de gaz carbonique (CO₂),
- 3- la cuisson (la stabilisation de la structure).

1- Le pétrissage : c'est l'hydratation de la farine, le développement d'une structure continue à la pâte. On distingue deux (2) types de pétrissages :

- **Pétrissage à vitesse lente ou traditionnel** : caractérisé par une formation lente de pâte et entrecoupé par un ou deux phases de repos pour permettre à la pâte de se relever et mieux se souder,
- **Pétrissage intensifié** : caractérisé par une hydratation faible, on utilise des améliorants tels que soja, malt, la farine de fève, vitamine C. la quantité de sel à ajouter est plus important (2,1%) par rapport au pétrissage traditionnel. la farine fève est utilisée pour provoquer une légère activation de l'amylase et un dégagement de gaz carbonique (CO₂) durant la fermentation. la vitamine C permet d'augmenter la ténacité et la force de la pâte et de freiner la protéolyse du gluten enfin de fermentation, ce qui permet d'obtenir des pains plus volumineux. il est utilisé à très faible dose soit 500mg par quintal de farine. Pendant le pétrissage, il se produit dans la pâte un réseau de protéines et de glycolipide tout autour des granules d'amidon. la surface de ces granules, le phénomène de gélatinisation et la libération de l'amylose.



Réseau de protéines et de glycolipides autour des granules d'amidon

2- La fermentation : c'est une transformation du glucose dans la pâte en éthanol et gaz carbonique (CO₂) par la levure (*Saccharomyces Cerevisiae*) c'est-à-dire sucre simple+ levure → CO₂+éthanol.

Au cours de la fermentation, les levures présentes dans la pâte, substances fermentescibles sont de différentes origines. Il ya d'abord les sucres préexistant dans la farine, en quantité compris entre 1 et 2% et qui sont constitués des glucoses et saccharoses. On trouve également les sucres formés par la transformation d'amidon sous l'action de l'amylase (Alpha-amylase et Béta-amylase) pour provoquer la dégradation de l'amidon en glucose qui servira de substrats pour les levures. Les levures entrent en activité avec l'apparition des arômes (première fermentation). C'est au cours de la deuxième fermentation qu'il se produit un dégagement de CO₂ accompagné d'une augmentation du volume de la pâte équivalent aux deux tiers (2/3) du volume final et un développement des composés volatiles. Le réseau glutineux (protéine de l'albumen) est bien formé alors que le CO₂ est emprisonné à l'intérieur du réseau. il existe deux (2) phases de fermentations : le pointage et l'apprêt.

- le pointage, c'est la période de la fermentation comprise entre la fin du pétrissage et le pesage

de la pâte, période durant laquelle la pâte subit une fermentation de masse et dure entre une et une heure trente minutes (1h et 1h30mn).

- l'apprêt, c'est la fermentation qui s'échelonne de la tourne à la mise au four, elle dure 1h30mn à 2 h.

3- La cuisson : se fait dans un four à une température supérieure à 150°C (environ 230°C) avec une température de la pâte fermentée inférieure, en pain accompli. Au cours de la cuisson, deux phases se distinguent :

- **la première cuisson**, commence à l'intérieure de la pâte jusqu'à ce que la chaleur interne atteignant une température comprise entre 45 et 50°C :
- **la deuxième cuisson**, provoque la destruction des ferments et stoppe toutes les actions de l'élévation de gluten avec une température qui comprise entre 60 et 70°C.

Au fur et à mesure que la température augmente, le produit perd progressivement sa plasticité et le pain prend son aspect définitif.

VII-4.3.2 Composition de la pâte boulangère

La pâte boulangère ne contient généralement que de l'eau, de farine, du chlorure de sodium et de la levure. L'addition d'amylases (malt) de protéases, d'acide ascorbique, de farine de fève etc. ... autorisée par la législation, permet d'améliorer la valeur nutritive, la texture du pain

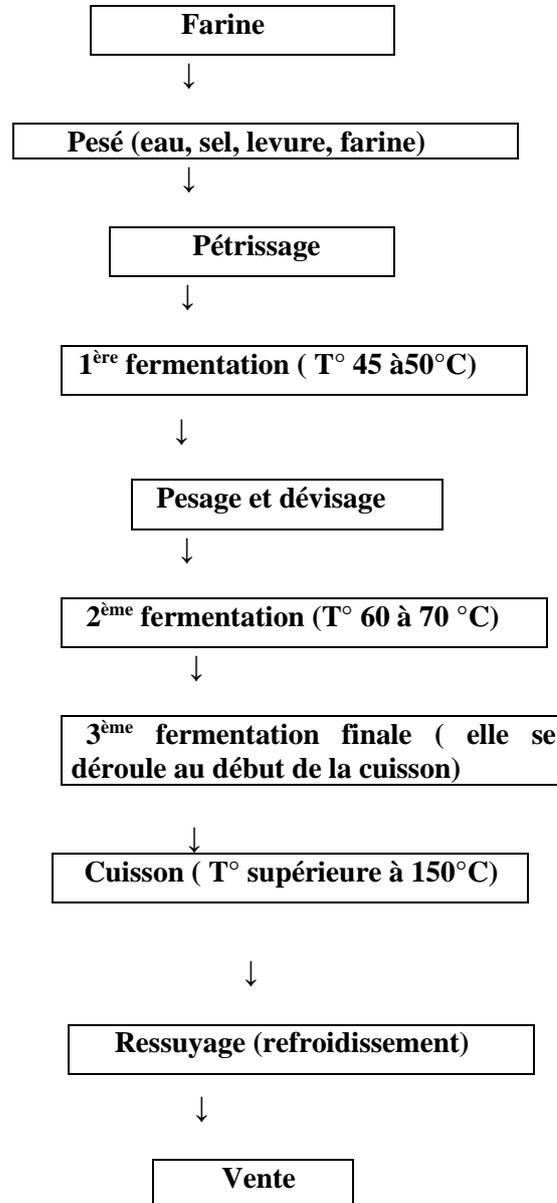
Le tableau 8 ci-dessous résume les composants d'une pâte boulangère et leurs rôles.

| Composants | Quantités (en gramme) | Rôles |
|-------------------------------|------------------------|--|
| Farine | 100 | Sucre de gluten, amidon, de lipide etc.... |
| Eau | 50 à 65 | Agent plastifiant |
| Chlorure de Sodium | 2 | Saveur, durcissement du gluten |
| Levure | 2 | Fermentation |
| Extrait de malt | 0,5 | Source d'amylase |
| Sel d'ammonium | 0,5 | Source d'azote pour les levures |
| Sucre (saccharose ou glucose) | 6 | Saveur et couleur |
| Lait | 6 | Saveur, couleur, effet tampon sur le |

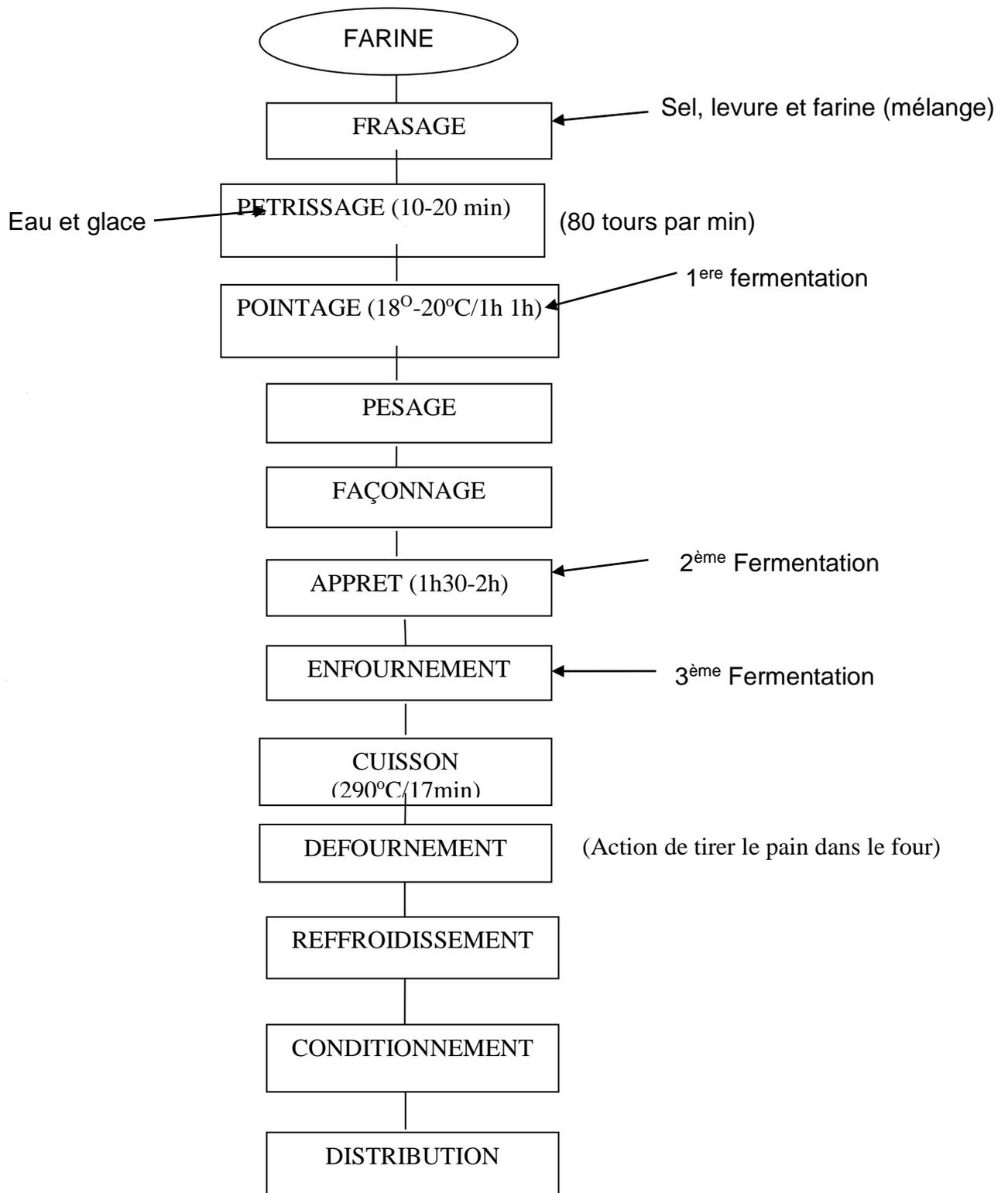
| | | |
|----------|---------------------|----------------------------|
| | | PH |
| Lipide | 4 | Amélioration de la texture |
| Vitamine | Dépend de fabricant | Aspect nutritionnel |

VII-5 Le diagramme résumant les différentes étapes de la fabrication du pain.

➤ Figure de diagramme théorique de fabrication du pain.



➤ **Figure de diagramme pratique de fabrication du pain (Boulangerie Notre Dame de Laï 2021)**



NB : l'utilisation de l'eau glacée lors de pétrissage a pour objectif de maintenir la croissance des levures c.à.d. en empêchant la levée de la pâte pendant le pétrissage.

VII-6 Le schéma résumant les différentes étapes de pâte alimentaire (voir polycop).

CHAPITRE VIII : LE RIZ

VIII-1 Le but de la culture du riz.

Le riz est la céréale la plus cultivée dans le monde (environ 150 Millions d'hectares). C'est la nourriture de base d'une grande partie de l'humanité. A part son emploi dans l'alimentation, les grains servent à fabriquer de l'alcool, de l'amidon, huile, du vinaigre, produits pharmaceutiques, aliments diététiques, les aliments vitaminés etc. les balles servent de combustible et leur cendre d'engrais. Les animaux peuvent consommés aussi le paddy, la paille, les brisures et la farine.

VIII-2 Les caractères et variétés du riz

Le riz est une plante annuelle dotée d'un abondant système racinaire de surface. La faculté de tallage (3 à 6 talles productives et souvent beaucoup plus) est surtout marquée en début de croissance. La tige se termine par une panicule ramifiée de 20 à 40 cm. Les fleurs, par autofécondation donnent un caryopse enveloppé de deux glumelles adhérentes (l'ensemble appelé paddy). La glumelle inférieure est plus ou moins barbue. Le péricarpe est diversement coloré (rouge, brun, gris, violet). L'albumen à une texture variable : (translucide avec des taches blanches centrales), ou blanc malt (riz gluant où l'amidon est composé uniquement de dextrans). La hauteur de la paille varie aussi, elle peut atteindre jusqu'à 5m pour le riz flottant. Au-dessus de 1m, les riz sont dits à grande paille. On classe les variétés de riz en riz précoces : jusqu'à 120 jours de cycle végétatif ; le riz de saison (environ 160 jours) ; et le riz tardif (' au-delà de 170- 180 jours).

Le tableau 9 ci-dessous résume quelques variétés courant du riz.

| Variétés | Origines | Cycles (Jours) | Zone de culture |
|-----------------------|---|----------------|---|
| Riz Pluvial | | | |
| Dourada | Brésil | 100 | Afrique de l'Ouest |
| Iguape cateto | Brésil | 135 | Afrique de l'Ouest |
| IRAT 144 | Burkina Faso | 105 | Afrique de l'Ouest |
| 05.6 | Zaire | 135 | Afrique de l'Ouest et centrale |
| Riz Irrigué | | | |
| IR 5 | Philippines | 120 | Mali-Burkina Faso |
| ITA 212 | Nigéria | 135 | Afrique |
| Chianans B | Formose | 120 | Madagascar |
| ITA 222 | Nigéria | 135 | Afrique |
| Riz Aquatique | | | |
| D : 52-37 | Zone soudanienne, d'Afrique Occidentale | 110 | Zone soudanienne, d'Afrique Occidentale |
| HKG 98 | Mali | 160 | Mali |
| 16 32 | Madagascar | 120 | Madagascar |
| Ali Combo | Madagascar | 160 | Madagascar |
| Riz Inondation | | | |
| C 74 | Philippines | 140 | Mali-Burkina Faso |
| IM 16 | Guinée | 160 | Guinée- Côte d'Ivoire |
| Fossa | Burkina Faso | 150 | Afrique de l'Ouest |
| Gambiaka | Gambie | 150 | Afrique de l'Ouest |
| Riz Flottant | | | |
| Mali Sawn | Mali | 190 | Mal |
| Khao Gaew | Laos | 180 | Mali-Guinée |

VIII-3 La Technique de décortilage du riz

VIII-3.1 Préparation et conditionnement du riz.

L'usinage a pour but de débarrasser le paddy de ses glumes et glumelle. C'est une opération du décortilage et permet d'obtenir de riz décortiqué. **Voir le schéma de fabrication dans le polycop.**

VIII-3.2 Description des riz

Le riz brun, rouge, cargo, ou riz complet sont obtenus après décortilage. Mais, d'autres variétés de riz peuvent découler aussi et qui sont :

- le riz usiné (riz blanc) : c'est un riz décortiqué et débarrassé par usinage de tout ou en partie le péricarpe du germe ;
- le riz étuvé : est un riz décortiqué par trempage dans l'eau de paddy puis à un traitement thermique pour gélifier entièrement l'amidon ;
- le riz gluant : c'est une variété spéciale de riz dont les grains sont opaques et l'amidon est presque entièrement constitué d'amylopectine.

VIII-3.3 Composition nutritionnelle de différentes parties du riz

Parmi les fractions d'usinage du riz, le son est celle qui à la plus forte teneur en énergies et en protéines et la balle (enveloppe du grain dans l'épi) est celle qu'en à la plus faible teneur. L'usinage par abrasion (action d'user par frottement pour éliminer le péricarpe, l'enveloppe, le tégument externe).

La couche d'aleurone et l'embryon afin d'obtenir du riz usiné, entraîne une perte de lipide, protéine, les vitamines (thiamines, riboflavines, niacines et tocophérols alpha). Les glucides digestibles principalement les amidons sont plus abondants dans le riz usiné. Les gradients pour les divers nutriments ne sont pas identiques :

- 1- **les minéraux** : dans le son ; ((90%) de phosphore, (51%) de potassium, (51%) de magnésium), dans le germe ; (10%) de magnésium, dans le grain de riz cargo ; (63%) de sodium et 47% de calcium ;
- 2- **les Protéines sont** : (5 à 8%) de prolamine, (3,5 à 4%) de lysine, (15%) d'albumine. ;
- 3- **les lipides** : la teneur du riz en lipides ou matières grasses est principalement dans la fraction suivante : son (20%) sous forme de l'acide gras essentiel, l'amidon (on trouve généralement de l'acide palmitique et linoléique avec une moindre quantité d'acide oléique).

VIII-3.4 Composition chimique du riz

La valeur énergétique varie peu entre le riz décortiqué et le riz blanchi, elle se situe autour de 350-360 calories pour 100g. La composition du riz blanchi est moins équilibrée (plus riche en glucide, cendre et phosphore) et plus pauvre en protides, lipides, celluloses, fer et calcium. Le riz cargo est assez bien pourvu en vitamines B et E localisées dans les couches périphériques du caryopse, sa teneur en vitamines A, C et D est nulle ou négligeable. le blanchiment réduit considérablement le taux de vitamines.

Le lavage avant cuisson avec excès réduit encore le peu de vitamine qui reste.

La consommation exclusive du riz blanchi provoque le béribéri dû à l'absence quasi totale de vitamine et notamment de la thiamine. On lutte contre cette maladie par l'adjonction du riz blanc avec le riz cargo de façon à remonter le taux de la thiamine à 1,8mg/kg de riz (le riz cargo contient 0,365mg pour 100g et le riz blanc contient 0,069mg pour 100g). Pour une bonne équilibre nutritionnelle, il est conseillé d'accompagner le riz avec un ajout des produits riches en vitamines (sauce de soja, viande, poisson, viande, légumes verts...).

VIII-4 Technologie de transformation du riz en produits dérivés.

A part son utilisation directe dans l'alimentation, les grains de riz servent à fabriquer l'alcool, l'amidon, huile, les produits pharmaceutiques, les aliments diététiques etc. Les sous-produits de transformation (brisure, farine, tourteau) et les pailles sont utilisés en alimentations animales.

VIII-4.1 La bière

VIII-4.1.1 Définition et historique

La bière est une boisson alcoolique fermentée, faite à base des céréales (riz, maïs, orge germée ou malt) et aromatisée avec des fleurs de houblon. Ses origines sont très anciennes et l'histoire offre des preuves de sa consommation à Babylone, en Mésopotamie, et dans l'Egypte des pharaons. semble que l'une de ses formes primitives ait été obtenue par fermentation de pain humide. la fabrication de la bière à partir d'orge, une céréale cultivée sous des climats très variés, a ensuite permis son extension hors du monde méditerranéen. Puis des brasseries artisanales apparurent vers le X^e siècle, en Normandie, en Alsace, dans les Flandres et dans diverses autres régions d'Europe. L'innovation au cours des siècles suivants, en l'aromatisation du produit résultant de la fermentation de l'extrait de céréales, à l'aide di verses plantes aromatiques amères jusqu'à ce que le houblon, utilisé dès le XI^e siècle, s'impose aux alentours du XIV^e siècle, en même temps le terme de «Bière» se substituait à celui de « Cervoise» (bière à base de l'orge ou blé consommée dans l'antiquité).

Enfin, la seconde moitié du XX^e siècle correspond en brasserie à une nouvelle phase d'évolution très importante de la production avec une accélération des transformations biochimiques, l'innovation de la composante microbiologique et grâce aux progrès du génie génétique.

VIII-4.1.2 Les différentes matières premières et les ingrédients utilisés lors de la fabrication de la bière.

VIII-4.1.2.1 les matières premières

Les matières premières utilisées à la brasserie sont : l'orge (malt), le riz, l'eau et le maïs.

VIII-4.1.2 .1 .1 L'orge (le malt)

Il est le produit de la transformation en malterie d'orge spécialement sélectionnée.

Cette transformation comprend successivement quatre (4) étapes :

- 1- **le trempage** : consiste à mettre l'orge pendant une dizaine d'heures et entrecoupé de pesage à l'air libre, à une température de 15 à 25°C. Cette phase durera environ une cinquantaine d'heures avec une teneur d'eau de 14 à 45% d'humidité environ. Après 2 à 3 jours, les grains d'orge sont gorgés d'eau et peuvent passer à la germination, ce qu'on appelle **le malt vert**.
- 2- **Le touraillage** : il consiste à sécher le malt vert dans un four à l'air chaud pulsé durant une trentaine d'heures. La teneur en humidité passe de 45% à 4% à une température de coup de feu de 80 à 105°C durant 1 à 4 heures. Ce coup de feu déterminera la teinte du malt (l'arôme de caramel, la couleur) ;
- 3- **le dégermage** : consiste à débarrasser le malt de ses radicules apparues lors de la germination.
- 4- **le stockage** : consiste à stocker le malt pendant plusieurs semaines à une température de 20 à 25°C avant d'être fourni aux brasseries pour éviter une fausse germination.

VIII-4.1.2 .1.2 L'eau

L'eau est un élément essentiel dans la fabrication des boissons. Sa composition à une importance considérable dans la fabrication de la bière du point de vue qualité et quantité (environ 90 à 95%).

Les sels contenus (calcium et magnésium) dans l'eau de brassage ont une grande influence sur la qualité des boissons et peuvent par chauffage former des précipités insolubles. Ces sels forment des dépôts de tartres et d'autres incrustations qui diminuent très fortement les échanges thermiques et par conséquent le rendement du matériel tels que : la chaudière, les pasteurisateurs, des laveuses des bouteilles....les sels qui déterminent les qualités de l'eau de brassage sont : le chlorure de calcium, le magnésium, le potassium, chlore, sulfate de zinc, acide sulfurique, acide ascorbique...

Les nitrates et les nitrites provoquent le mauvais goût ainsi que le magnésium. Le sodium est défavorable aussi au goût et à une action alcalinisation sur la bière.

Le PH de l'eau pour un bon brassage varie entre 5 et 5,5 et qui profite aux enzymes acidophiles de jouer leur rôle de dégradation de l'amidon.

Le Tableau 10 ci-dessous résume la recommandation sur les normes de l'eau de brassage.

| EAU DE BRASSAGE | TH (°F) | TA (°F) | TAC (°F) | CL ₂ (Ppm) | PH |
|-----------------|---------|---------|-----------|-----------------------|-------|
| | 22 | 0,5 à 1 | 1,3 à 2,3 | 0,75 à 1 | Acide |

TH : Titre Hydrométrique,

TA : Titre Alcamétrique

TAC : Titre Alcamétrique Complet,

Ppm : Partie par millième = 10⁶ g,

°F : 1degré français, c'est l'unité de la dureté.

(Pour ajouter au cours) L'eau est une des composantes les plus importantes dans la fabrication de la bière. La pollution des approvisionnements en eau étant de plus en plus préoccupante pour les brasseurs, ces derniers attachent une attention toute particulière à la qualité de l'eau. Elle doit, avant tout, répondre aux normes fixées par l'OMS. Cependant, la composition de l'eau est variable, on peut y trouver une grande diversité d'ions en différentes proportions. La densité de certains de ces ions peut influencer plus ou moins sensiblement sur le déroulement de certaines étapes de la fabrication de la bière. Par exemple, la présence d'ions NO₃⁻ est néfaste au travail des levures. A contrario, les ions Ca²⁺ y sont propices. Certains ions influencent également le goût définitif du produit

(Na⁺, SO₄²⁻,etc.).Pour éviter les éventuels désagréments tout en favorisant d'autres paramètres, l'eau peut être traitée de différentes manières :

1- neutralisation par acides ;

- ajout de sulfate ou chlorure (SO₄²⁻, Cl⁻) ;
- décarbonatation (addition de chaux, décantation, filtration ou précipitation des carbonates par chauffage) ;

2- traitement bactériologique (filtre à charbon actif) ;

- avec des résines
- osmose inverse ;
- électrolyse.

VIII-4.1.2.2 les ingrédients utilisés lors de la fabrication de la bière

Les ingrédients sont les additifs alimentaires qui entrent dans la composition d'une préparation ou d'un mélange d'un aliment et présent dans le produit fini que sous une forme modifiée. Parmi les ingrédients utilisés, on peut citer : le houblon, le sucre (utilisé dans certaine bière), le caramel, la maturex et la levure. Compte tenue de son importance dans la fabrication de bière, la levure sera étudiée d'une manière plus détaillée.

➤ **Le houblon**

Il appartient à la famille des cannabiniées, genre Humus, espèce Lupulus, c' est une plante vivace, grimpante, dioïque, cultivé dans les pays tempérés. Seules les fleurs femelles ou cônes sont utilisés en brasserie à cause de leur sécrétion de résine amère. Il a pour rôle de contribuer à l'arôme, d'apporter l'amertume et aussi d'inhiber les contaminants par ses propriétés antiseptiques. La dose moyenne est de 5g/l.

➤ **Le sucre**

est une substance de saveur douce extrait principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière. Il est majoritairement formé d'un composé nommé saccharose qui est de plus en plus utilisé par les industries agroalimentaires grâce à son pouvoir sucrant. Il est généralement utilisé dans certaines boissons alcooliques (Gala, Guinness...) pour diminuer de la teneur de moût en azote et d'augmenter la stabilité de la bière.

➤ **Le caramel**

Le caramel est un produit issu du traitement thermique du sucre sous certaines conditions.

La norme AFNOR NF VOO-100(1988) définit deux (2) sortes de caramels :

- **Le caramel aromatique** ; est défini me étancomt « un liquide ou un solide de couleur brun pâle foncé, soluble dans l'eau, obtenu par l'action contrôlée de la chaleur sur des sucres alimentaires à une température comprise entre 150-160°C ; l'appellation commerciale« caramel aromatique» ou« caramel».
- **le caramel colorant** ; est un liquide ou un solide de la couleur brune plus foncée, soluble dans l'eau, obtenu par l'action contrôlée de la chaleur sur des sucres alimentaires. Il est fabriqué à une température comprise entre 160 et 180°C dont le principal objectif est la coloration des liquides alimentaires.

C'est le caramel le plus utilisé dans les brasseries pour colorer les boissons alcoolisées et non alcoolisées

- **La maturex** ; c'est une substance chimique utilisée dans le but d'éliminer le diacétyl et d'accélérer la fermentation de la bière.

➤ **Les levures**

- 1- **Définition** : ce sont des champignons microscopiques unicellulaires qui se multiplient par bourgeonnement ou sporulation, ayant la capacité de fermenter des matières organiques, animales ou végétales pour produire des substances variées. Les levures sont courantes dans la nature, dans le sol et sur les plantes. La plupart des levures cultivées, telles que la levure de bière et la levure de boulangère, appartiennent au genre saccharomyces, de forme ronde ou ovale, elles se divisent en deux groupes :

- les saccharomyces Cerevisiaes ou levures haute. ;
- les saccharomyces Carls Bergensis ou levures bases..

les saccharomyces cerevisiaes se distinguent des caerls Bergensis par le fait que les saccharomyces cerevisiaes remontent en surface après la fermentation de la bière, par contre

les saccharomyces carls Bergensis restent au fond de cuve après la fermentation. De plus, les saccharomyces cerevisiaes ne supportent pas la température inférieure à 10°C.

2- Les facteurs physico-chimiques

Les facteurs qui peuvent ralentir, inhiber ou favoriser la croissance et la multiplication des levures sont :

- **la température** : elle est de l'ordre de 20°C pour que les germes puissent se développer convenablement ;
- **le PH** : les levures préfèrent des milieux relativement acides entre 3 et 6 ;
- **exigences gazeuses** : les levures industrielles sont aéro-anaérobies facultatifs pouvant indifféremment se développer en présence d'oxygène.

3- Nutrition et croissance des levures

Comme les êtres vivants, les levures se nourrissent des substances organiques et minérales puisées dans l'environnement. Les substances minérales et organiques assimilées sont nécessaires à la synthèse des coefficients cellulaires et assurent la croissance et la multiplication. les aliments constitutifs apportant les éléments nécessaires à la synthèse des constituants cellulaires (eau, carbone, azote, éléments minéraux...) qui sont de substance chimique et énergétique pour les cellules.

VIII-4.1.2.3 Les réactifs intervenant dans la fabrication de la bière et les accidents de fabrication.

VIII-4.1.2.3.1 Les réactifs intervenant dans la fabrication de la bière

Ce sont des substances chimiques qui entrent dans la préparation de la bière et qui sont :

- 1- **hitempase** : est une complexe enzymatique contenant un alpha amylase active à chaud (99°C), elle permet de faciliter la liquéfaction de l'amidon de la farine jusqu'à au palie d'ébullition.
- 2- **la bioglucanase** : c'est une enzyme qui à pour rôle de dégrader les glucanes qui se trouvent dans le malt. La dégradation de ces glucanes favorise la filtration du moût. l'ajout de bioglucanase se fait quand la température d'ébullition atteint 76°C. en dessous de cette température, les glucanes se forment et empêcheront une bonne filtration du moût.
- 3- **l'iode** : se trouve sous forme de solution, de couleur bleue. Il est utilisé pour tester **la maïsche** après la fin du chauffage pour déterminer la présence ou non de l'amidon. L'absence de l'amidon, est déterminée par un résultat de test de **couleur jaune**. La présence d'amidon, est déterminée par un résultat de test de **couleur bleue**.
L'objectif de ce test est d'obtenir la maïsche dépourvue de l'amidon. Pour ce fait, le ou les brasseur (s), s'il constate que le résultat est négatif ; il doit prolonger la chauffe pendant quelques minuties et refaire un nouveau test pour voir. Si, le résultat est positif, il transfère la maïsche dans la Cuve de Filtre (CUF).
- 4- **le Sulfate de Calcium (CaSO₄)** : il se trouve sous forme de poudre, de couleur blanche. Il a pour rôle de favoriser l'acidification de moût, la floculation de la levure au moment de la fermentation. Il donne à la bière un gout sec.
- 5- **le Chlorure de Calcium(CaCl₂)** : c'est un sel solide, anhydre (qui ne renferme pas d'eau) et recherché pour ses qualités exothermiques (qui dégage de l'énergie et de la chaleur). Il est déliquescent c'est-à-dire qu'il se dissout avec l'humidité et l'air et très soluble dans l'eau. A température ambiante, il se comporte comme un sel

d'halogénure typique (combinaison d'un halogène avec un autre élément : chlorure de sodium), avec notamment une bonne conductivité électrique à l'état liquide et des liaisons chimiques ioniques. C'est un matériau très hygroscopique (c'est-à-dire qui absorbe l'humidité de l'air) qui doit être conservé dans les récipients bien fermés. Il est utilisé comme un antioxydant et pour permettre aux enzymes de résister à la chaleur.

- 6- **le Chlorure de Zinc ($ZnCl_2$)** : C'est un sel solide, blanc ou incolore, extrêmement hygroscopique. Il est utilisé pour stimuler l'activité fermentaire de la levure.
- 7- **l'Acide Sulfurique (H_2SO_4)** : c'est un acide de forme visqueux, inodore et incolore ; très corrosif (qui se dissout facilement dans l'eau). Il intervient le plus souvent dans des réactions chimiques, en particulier dans la synthèse de rouille de fer. Il a pour rôle de favoriser la cuisson des aliments et de précipiter des composés insolubles etc.
- 8- **l'Acide Phosphorique (H_3PO_4)** : c'est un oxo acide trifonctionnel (triacide) important en chimie inorganique et fondamentalement en biochimie. Il s'agit d'un acide minéral obtenu par traitement de roche phosphatée ou par combustion du phosphore. Il est utilisé pour régulariser ou corriger le PH de l'eau avant le brassage.

VIII-4.1.2.3.2 Les accidents de fabrication de la bière

VI II-4.1.2.3.2.1 les accidents chimiques

Ils se résument comme suit :

- une mauvaise aération de la bière provoque l'oxydation, ce qui entraîne un changement de couleur, de goût et contamination par les germes ;
- la protéolyse trop importante dans la bière est à l'origine de la trouble de la bière dans les bouteilles ou fûts.

VI II-4.1.2.3.2.2 les accidents biologiques

- le reste des levures dans la bière provoque une fermentation post-conditionnage et donne des goûts désagréables ;
- une forte aération conduit à une infection surtout par des bactéries acétiques qui transforment l'alcool en acide acétique et gaz carbonique.

NB : **Le sucre** est une substance de saveur douce extrait principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière. Il est majoritairement formé d'un composé nommé saccharose qui est de plus en plus utilisé par les industries agroalimentaires grâce à son pouvoir sucrant. Il est généralement utilisé dans certaines boissons alcooliques (Gala, Guinness...) pour diminuer de la teneur de moût en azote et d'augmenter la stabilité de la bière.

VIII-4.2 Les différentes étapes de la fabrication de la bière.

Elles se résument comme suit :

- 1- **La trémie** : c'est un entonnoir en forme de pyramide qui permet de stocker le malt et le riz avant d'être nettoyés. Le versement de ses sacs dans la trémie se fait grâce à la machine (manitou) et à la main d'œuvre.
- 2- **L'épierreur** : c'est une machine muni d'aimants et aspirateurs qui permettent de retenir les impuretés et d'essouffler les poussières se trouvant dans le malt et le riz.
- 3- **Le moulin** : c'est une machine qui a pour rôle de mouliner le riz en farine et concasse le malt grâce à ses meules qui tournent dans le sens opposé.

- 4- **Le brassage** : c'est une opération qui consiste à préparer le malt et la graine crue (riz ou maïs) pour le mélange à une eau dans les cuves et qui conduit à l'obtention du moût fermentescible.
- **la Cuve à Grain Crus (CGC)** : c'est un matériel muni d'un agitateur qui tourne pour mélanger la farine du riz venant du moulin avec l'eau chaude. Le mélange commence quand l'eau atteint un volume de 45 hectolitre et à une température de 63°C. c'est dans cette cuve que débute le premier ajout des réactifs : chlorure de calcium et hitempase. Le chauffage se fait avec trois (3) différents paliers pendant 10 mn avec différentes températures pour permettre aux enzymes de jouer leur rôle.
 - **la Cuve d'Empattage (CEM)** : c'est une cuve possédant un agitateur qui permet de mélanger le malt.. L'empattage de malt se lance généralement quelques minutes (12 à 15 mn) après celle de la farine du riz de CGC. La mouture de malt se lance depuis le moulin vers CEM et arrive sous forme concassé et humide. Le moulin est doté de l'eau qui lui permet de mélanger le malt de fur à mesure. les réactifs ajoutés sont : Bioglucanase, chlorure de calcium et acide sulfurique ou acide phosphorique.

❖ **La réunion de la trempé dans la CEM**

La réunion de deux se fait quand la mouture de malt est terminée. Le transfert se fait de la CGC vers CEM et qui durera généralement 10 mn et parfois plus. Une fois transfert le chauffage commence et 3 phases se déroulent durant le chauffage :

- ✓ la peptonisation : c'est la période par laquelle les enzymes protéolytiques attaquent les protéines.

Elle se passe quand la température se situe entre 45-50°C pendant ½ heure, les fractions de protéines deviennent solubles, indispensables pour les levures au moment de la fermentation ;

- ✓ l'amylomyce : se fait à une température de 62-63 pendant ¼ à ¾ d'heure, l'amidon est décomposé par l'amylose et dextrine (produit de l'hydrolyse partielle de l'amidon de maltose) ;

- ✓ la saccharification : se fait à une température de 72 à 75°C pendant ¾ d'heures à une heure. les dextrans sont décomposés en amidons plus simples (maltose fermentescible, saccharose, fructose, glucose). Toutes ces phases se déroulent à l'intérieur de la cuve sous effet de la chaleur avec les différents paliers. Le test de la saccharification se fait à la fin de la chauffe (entre 76 -77°C) en prenant un peu d'échantillon de la maische pour ajouter 3 gouttes de la solution iodée, si le test de saccharification donne un résultat positif (couleur jaune), la maische sera transférée dans la Cuve Filtre (CUF) ; dans le cas contraire la chauffe sera prolongée pour quelques minutes jusqu'à l'obtention d'un résultat conforme.

- **la Cuve Filtre (CUF)** : elle est dotée de deux fonds séparés par une plaque filtrante, des piocheurs qui creusent les pores pour une meilleure filtration, d'un système d'arrosage qui permet d'envoyer l'eau pour laver la drêche et de raideurs qui assurent le balayage de drêche.

Avant le transfert de la maische de CEM vers la CUF, le pré-remplissage commence, environ 9 hectolitres d'eau et se fait d'une manière automatique. Une fois le transfert de la maische fait, stationnement commence pendant 10 mn suivi d'une recirculation des pioches de pendant 5 mn.

Après cela, l'extraction du premier moût commence jusqu'à un volume de 100 à 130 hectolitres avant que le lavage de la maische commence. Du début jusqu'à la fin du lavage, il ya cinq (5) piochage dans le but de faciliter le lavage de la maische. Ce lavage permet d'extraire la quasi-totalité des sucres fermentescibles, ce qui permet

d'optimiser le rendement du brassage. A la fin de l'extraction, le moût est transféré dans la cuve d'ébullition et la drêche est évacuée dans le tank à drêche pour servir plus tard pour l'alimentation des animaux et la fabrication des briques cuites.

NB : à l'exception de la Chari et gala, les autres boissons alcooliques, on ajoute le sulfate de calcium et chlorure de calcium au moment de la filtration

- **la Chaudière à moût ou Cuve d'ébullition (CHM)** : c'est un cuiseur à vapeur muni d'un chapeau qui sert à retenir le moût en ébullition et d'un évaporateur qui renvoie la vapeur dans l'air. L'extrait aqueux ou moût obtenu après la filtration est porté à l'ébullition pendant une à deux heures à une température de 110-140°C. Le houblon est ajouté au début de l'ébullition (200 à 1500g/hl) dans le bac à houblon puis on lance la recirculation qui permet de bien homogénéiser le complexe moût-houblon et suivi de caramel en raison de 2 litres.

L'ajout de l'acide sulfurique est en fonction de PH déterminé à la fin d'ébullition car l'objectif est d'avoir un PH égal 5,3 avant de le transférer dans le Whirlpool (WHR).

- **Whirlpool (WHR) ou Cuve de Refroidissement du moût** : c'est un récipient cylindrique en acier inoxydable ayant une pente qui permet au moût de bien se décanter et de circuler sur le RAM (échangeur de chaleur à une, température de 3 à 4°C) qui permet de réduire la température du moût. Le transfert de moût de CHM vers WHR se fait à une température d'environ 100°C, puis décanté pendant quelques minutes (15mn) et tout en ajoutant le chlorure de zinc pour stimuler l'activité fermentaire de la levure. Le transfert de moût de WHR vers Tank Out Door (TOD) se fait grâce à l'échange thermique entre eau de RAM glacée et le moût chaud et ceci permettra d'obtenir le moût refroidi dans le TOD (12 -14°C).

- **Le TOD** : c'est un tank qui permet de stocker le moût venant de Whirlpool pour subir les processus de la fermentation. Une fois transféré le moût dans le TOD, l'opérateur ou brasseur doit effectuer les opérations suivantes :

- **Purgeage** : c'est une opération qui consiste à purger le moût pendant 5 à 10 minutes pour enlever et retirer totalement les résidus, débris et d'autres impuretés dans le moût ;
- **Aération du moût** : consiste à envoyer au moût une quantité oxygène pour permettre aux levures de reconstituer leur structure membranaire lors de la multiplication ;
- **Dosage de maturex** : se fait à raison d'un gramme par hectolitre (1g/hl) et ceci juste avant l'ajout de levure dans le moût..

➤ **La fermentation**

La fermentation est une étape cruciale dans la fabrication de la bière et elle se décompose en deux stades :

- **la fermentation principale**, elle est rapide, intense et de courte durée et qui dure de **3 à 10 jours** à une température de **18 à 26 °C**. Elle se caractérise par un dégagement abondant de gaz carbonique. A cette étape, il faut éviter absolument l'oxygène afin d'empêcher les trouble d'oxydation. Pour cela, la fermentation doit se faire en milieu hermétique ;

- **la fermentation secondaire ou de garde** : elle est plus lente et peut aller 2 à 8 semaines à une température de 0 à 2°C. Cette température permet de coaguler les protéines en solution.

On distingue deux sortes de fermentation :

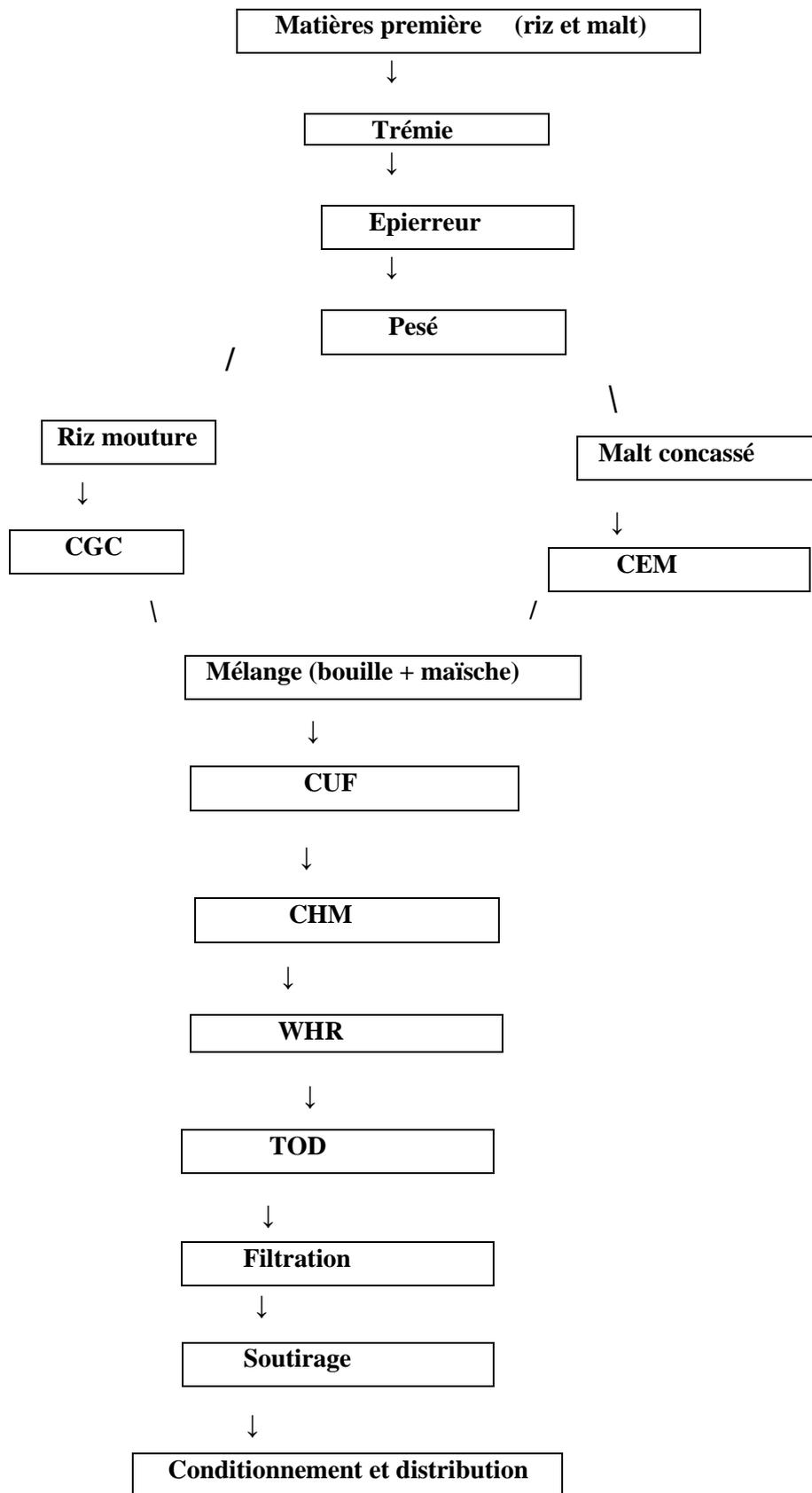
1- **la fermentation basse (FB)** : elle se déroule à une température comprise entre 5 °C et 14 °C et le PH complit entre 4,2 - 4,3.

L'une des levures utilisée est la *Saccharomyces uvarum* ou. *Saccharomyces Carls Bergensis* Cette fermentation dure une dizaine de jours. À la fin de la fermentation, les levures coulent au fond de la cuve, Il s'agit d'une fermentation caractéristique des lagers (bière de basse fermentation).

2- **la fermentation haute (FH)** : elle se déroule à une température comprise entre 10 °C et 20 °C et le PH varie entre 4,2-4,3 . L'une des levures utilisée est la *Saccharomyces cerevisiae*. Cette fermentation dure de 4 à 8 jours. Au contraire de la fermentation basse, les levures migrent à la surface du brassin, d'où son nom. le vidage se fait par le haut de la cuve. le PH Il s'agit d'une fermentation caractéristique des stouts.(bière noire forte préparée à partir de grains très torréfiés)

- **la Filtration** : cette nouvelle filtration s'effectue après la fermentation et permet d'éliminer les protéines qui se trouvent encore dans la bière. Elle se fait sous pression parce que la bière est saturée en CO₂. Après la filtration, la bière est pasteurisée à une température de 60- 80°C.
- **le soutirage** : il se fait après lavage des bouteilles et par la machine, qui envoie de l'air (CO₂) dans les bouteilles suivi de la bière qui se fait sous pression puis capsules. une fois capsulé, la bière sera pasteurisée à l'eau chaude jusqu'à une température de 60-80°C pour éliminer les bactéries ou les levures. La pasteurisation permet de prolonger la durée de vie de la bière qui est d'un à deux ans maximum sans modifier le goût.
- **l'étiquetage** : consiste à coller les étiquettes à l'aide d'une étiqueteuse pour indiquer la marque de la boisson, mentionne la Date Limite de Conservation (DLC) et l'adresse.
- **Encaissage** : consiste à mettre les bouteilles dans les casiers à l'aide d'une machine appelée encaisseuse. le palettiseur qui va arranger ses casiers à l'entrepôt pour le conditionnement et la distribution

VIII-4.3 Le schéma ou diagramme de fabrication de la bière.



CHAPITRE IX : LE MAÏS

IX-1 Le but de la culture du maïs.

Du nom scientifique *Zea mays*, est une céréale originaire d'Amérique, qu'on utilise parfois comme un légume dans l'alimentation traditionnelle à travers tout le continent a connu un grand progrès. L'amidon extrait industriellement, des grains servent à préparer des bouillies pour les enfants, biscuits, de la bière, des colles, des textiles, des apprêts pour tissus etc. Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert à l'alimentation humaine, fabrication de margarine, de savon, de vernis etc., Enfin le maïs est utilisé comme fourrage vert pour les animaux ou pour faire de l'ensilage pour les bovins.

IX-2 Les différents procédés de fabrication de la farine de maïs.

Généralement la farine de maïs est obtenu après la récolte des grains qui passent par séchage (traditionnellement au soleil) et selon les pays, ils sont ensuite blutés (étape qui consiste à enlever l'enveloppe des grains), broyés et enfin moulés. Cette transformation manuelle est très rudimentaire, prend du temps et nécessite beaucoup d'énergie.

En ce dernier temps avec l'évolution de la technologie, des machines permettent d'obtenir à un temps cours de la farine et selon les différentes formes. **Voir le résumé sur les usagers industriels du maïs et schéma de fabrication des produits dans le polycop.**

IX-3 Composition chimique et nutritionnelle du maïs.

IX-3.1 Composition chimique des principales parties des grains de maïs.

Le tableau 11 ci-dessous résume les composants chimiques des différentes parties des grains de maïs.

| Composants chimiques | Péricarpe en % | Albumen en % | Germe en % |
|----------------------|----------------|--------------|------------|
| Protéines | 3,7 | 8,0 | 18,4 |
| Extrait de l'éther | 1,0 | 0,8 | 32,2 |
| Fibres brutes | 86,7 | 2,7 | 8,8 |
| Cendres | 0,8 | 0,3 | 10,5 |
| Amidons | 7,3 | 87,6 | 8,3 |
| Glucides | 0,34 | 0,62 | 10,8 |

La teneur en glucides et en protéines des grains de maïs dépend dans une très grande mesure de l'albumen ; pour les protéines et les sels minéraux dépendent du germe. les fibres brutes du grain proviennent du tégument séminal. Le germe fournit une certaine quantité de lysine et de tryptophane, qui sont les deux acides aminés indispensables des protéines du maïs. Par contre les protéines de l'albumen sont pauvres en lysine et tryptophane de même que les protéines du grain entier.

Le tableau 12 ci-dessous indique la teneur en acides aminés indispensables des protéines de germe et albumen

| Acides Aminés | Albumen (mg/gN) | Germe (mg/gN) |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| Tryptophane | 38 | 62 |
| Thréonine | 249 | 268 |
| Isoleucine | 289 | 249 |
| Leucine | 810 | 444 |
| Lysine | 180 | 341 |
| Phénylalanine | 284 | 208 |
| Tyrosine | 382 | 148 |
| Valine | 319 | 340 |

IX-3.2 L'huile et acide gras des différentes variétés de maïs.

La teneur en huile du grain de maïs provient essentiellement du germe. Le tableau 13 ci-dessous fait apparaître la composition en acide gras de l'huile des différentes variétés de maïs en pourcentage (%).

| Variétés de maïs | Acide Palmitique | Acide Stéarique | Acide Oléique | Acide Linoléique |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| QPM Nutricia | 15,71 | 3,12 | 36,45 | 43,83 |
| Azotea | 12,89 | 2,62 | 35,63 | 48,85 |
| X et Zoc | 11,75 | 3,54 | 40,07 | 44,65 |
| Blanc tropical | 15,49 | 2,40 | 34,64 | 47,47 |
| Santa Apolonia | 11,45 | 3,12 | 38,02 | 47,44 |

IX-3.2.1 Importance de l'huile de maïs.

L'huile de maïs contient des antioxydants appartenant à la famille des tocophérols (vitamine E) qui est riche en l'un de ces composés appelé **gamma-tocophérol**. Il a été démontré chez l'humain que la concentration sanguine de gamma-tocophérol augmente lorsque l'huile de maïs est ajoutée à l'alimentation habituelle et que les tocophérols de l'huile de maïs possèdent une activité antioxydant dans l'organisme et de plus apporterait une protection contre les dommages à l'ADN et certaines cellules sanguines et favorable pour la prévention du cancer. Par ailleurs, une autre étude chimique a démontré que l'huile de maïs était les principaux composés responsables d'une diminution de l'absorption du cholestérol par l'organisme.

IX-3.3 Les fibres alimentaires des différentes variétés de maïs

Après les glucides, les protéines et les graisses ; les fibres alimentaires sont le composant chimique que l'on trouve en plus grandes quantités. Les glucides du grain de maïs proviennent du péricarpe et de la coiffe, mais ils sont également fournis par les parois des cellules de l'albumen.

Le tableau14 ci –dessous présente les valeurs en fibres alimentaires solubles et insolubles selon la variété de maïs en pourcentage (%).

| Type de maïs | Insolubles | Solubles |
|--------------|-----------------------|----------------------|
| Highland | (10,94) + ou- (1,96) | (1,25) + ou – (0,41) |
| Lowland | (11,15) + ou – (1,08) | (1,66) + ou – (0,73) |
| QPM Nutricia | 13,77 | 1,14 |

IX-3.4 Les classifications de sels minéraux selon les sources des nutriments

On les rencontre généralement dans le germe et l’albumen.

Le tableau 15 ci-dessous donne la teneur du maïs en matières minérales (moyenne de 5 échantillons).

| Sels minéraux | Concentration (mg/100g) |
|---------------|-------------------------|
| Phosphore | (299,6) + ou – (57,8) |
| Potassium | (324,8) + ou - (33,9 |
| Calcium | (48,3) + ou – (12,3) |
| Magnésium | (107,9) + ou – (9,4) |
| Sodium | (59,2) + ou – (41) |
| Fer | (48) + ou – (1,3) |
| Cuivre | (1,3) + ou – (0,2) |
| Manganèse | (1,0) + ou – (0,2) |
| Zinc | (4,6) + ou – (1,2) |

Les rôles de sels minéraux se présentent comme suit :

- ✓ **Le Potassium (K)** : le plus abondant dans le maïs et parmi tous les sels minéraux, il participe à la régulation d’équilibre hydrique et acido-basique, assure le métabolisme cellulaire, la synthèse protéique, le métabolisme des glucides et l’excitabilité neuromusculaire.
- ✓ **Le Phosphore (P)** : occupe le deuxième rang après le potassium et joue un rôle essentiel dans la formation et le maintien de la santé des dents et des os. De plus, il participe à la croissance et à la régénérescence des tissus et aide à maintenir le PH du sang (7,40 acido-basique) et 7,38). Un PH inférieur à 7,38 entraine une faible variation du PH et indique une forte variation de la concentration ionique du sang et donc un trouble important ; il faut nécessairement corriger.

NB : un équilibase est un comprimé qui permet de rétablir un équilibre acido-basique du sang.

- ✓ **Le Magnésium (Mg)** : suit le phosphore dans le maïs, il participe au développement osseux, à la construction des protéines, aux actions enzymatique, à la contraction musculaire, à la santé dentaire et au fonctionnement du système immunitaire. Il joue aussi un rôle dans le métabolisme de l’énergie et dans la transmission de l’influx nerveux.
- ✓ **Le Calcium (Ca)** : occupe cinquième rang dans le maïs, est un élément très important de l’organisme, des dents et assure la construction du squelette.
- ✓ **Le Fer(Fe)** : septième rang après le calcium dans le maïs, il joue le rôle de transport de l’oxygène et à la formation des globules rouges dans le sang. Il participe à la fabrication

de nouvelles cellules, d'hormone et de neurotransmetteurs (message dans l'influx nerveux).

NB : le fer contenu dans les aliments d'origines végétales est bien absorbé par l'organisme que le fer contenu dans les aliments d'origines animales. L'absorption de ce fer est favorisée par certains nutriments tels que la vitamine C qui contient de substance purifiante.

- ✓ **Le Zinc (Zn)** : qui occupe le huitième rang et juste après le fer dans le maïs, participe à la réaction immunitaire, à la fabrication du matériel génétique, à la perception du goût, à la cicatrisation des plaies et au développement du fœtus. Il interagit également avec les hormones sexuelles et thyroïdiennes. Il participe aussi dans le pancréas et dans la synthèse et la mise en réserve et à la libération de l'insuline (hormone sécrétée par le pancréas et qui joue un rôle important dans le métabolisme des glucides, lipides et de l'amidon dans l'organisme).
- ✓ **Le Manganèse (Mn)** : occupe le dernier rang dans le maïs, agit comme cofacteur de plusieurs enzymes qui facilitent de différents processus métabolique. Il participe également à la prévention des dommages causés par les radicaux libres (substances produites par l'oxydation et dot d'une réactivité qui la pousse à se lier à une molécule dont elle accroît le vieillissement).
- ✓ **le Cuivre (Cu)** : occupe avant dernier dans le maïs, est nécessaire à la formation de l'hémoglobine et du collagène (protéine servant à la structure et à la réparation des tissus) dans l'organisme. Il participe aussi à la défense du corps contre les radicaux libres.

IX-3.5 Les différentes vitamines du maïs.

Elles se repartissent comme suit :

- **Vitamine B₁** : appelée aussi **Thiamine**, fait partie d'un coenzyme nécessaire à la production d'énergie principalement à partir des glucides. Elle participe aussi à la transmission de l'influx nerveux et favorise une croissance normale de l'organisme.
- **Vitamine B₂ (Riboflavine)** : joue un rôle de métabolisme de l'énergie de toutes les cellules. Elle contribue à la croissance et à la réparation des tissus, à la production d'hormone et à la formation des globules rouges.
- **Vitamine B₃ (Niacine)** : participe à la réaction métabolisme et contribue à la production d'énergie à partir des glucides, des lipides, des protéines et de l'alcool. Elle collabore aussi au processus de formation de l'ADN.
- **Vitamine B₅ (Acide pantothénique)** : participe à la synthèse des hormones stéroïdiennes, des neurotransmetteurs (messagers dans l'influx nerveux) et de l'hémoglobine.
- **Vitamine B₉ (Folate)** : participe à la fabrication de toutes les cellules du corps, dont les globules rouges. Elle participe aussi à la production du matériel génétique (ADN, ARN) dans la fonction du système nerveux immunitaire et à la cicatrisation des blessures et des plaies. Elle intervient durant les périodes de croissance et développement du fœtus
- **Vitamine C ()** : contribue à la santé des os, des cartilages, des dents et des gencives. Elle protège contre les infections, favorise l'absorption du fer contenu dans les végétaux et accélère la cicatrisation.

IX-3.6 Importance de son de maïs

Une étude menée chez des hommes hyper cholestérolénique (cholestérol sanguin trop élevé) a démontré que l'ajout de son de maïs, finement moulu à une alimentation à effet

sur la diminution du cholestérol sanguin que la diabète. Néanmoins ces chercheurs n'arrivaient pas toute fois d'expliquer par quel mécanisme le son de maïs exerçait ce bienfait.

Conclusion : A part leur importance sur le plan nutritionnels, le blé, le riz et le maïs sont cultivés aussi pour fabriquer les produits industriels (plastique, éthanol, l'huile) tirée du germe, féculé (poudre d'amidon) utilisée en cuisson comme liant (substance qui provoque l'adhésion), sirop, fructose, dextrose, produits pharmaceutiques (vitamines C et E, acides aminés, acides organiques, antibiotiques etc.).

De nos jours, une grande partie des produits qui se trouvent sur les tablettes de nos épiceries sont fabriqués avec de farine de maïs issus de grains de variétés modifiées génétiquement. Les produits à base de féculé de maïs, de dextrose et de maltose sont également fabriqués en majorité avec maïs OGM, bien qu'on n'en retrouve pas nécessairement de traces dans les produits alimentaires. Quant aux modifications intervenant en cours de stockage, elles sont influencées par la faible conductivité thermique du grain ainsi que sa capacité d'absorption de l'eau, sa structure, sa composition chimique, sa respiration et la texture et la consistance de péricarpe.

CHAPITRE X : MIL ET SORGO

X-1 Définition

Du nom scientifique *Penniselum glaucum* (le mil) et *Sorghum bicolor* (le sorgho) sont des grains des caryopses dont les principaux composants sont le péricarpe, l'endosperme et l'embryon ou germe qui constituent les principales sources des protéines, lipides, vitamines surtout du groupe B et sels minéraux. L'élimination du péricarpe externe accroît la teneur en protéines et réduit la teneur en cellulose, en lipides et en minéraux du grain.

Compte tenu de ses valeurs nutritionnelles, le mil / sorgho constituent la principale nourriture de la population. et permettent de lutter contre l'autosuffisance alimentaire. L'encadrement des agriculteurs afin d'augmenter significativement la production et la valeur marchande et de leurs sous-produits. L'appui à la transformation artisanale et semi-industrielle sur le mil / sorgho du projet croissance économique informe sur le rôle déterminant et l'importance de ces spéculations dans le commerce international. La farine à base de mil/ sorgho fortifiée en fer et acide folique est un produit particulièrement nutritif pour la population en générale et les jeunes enfants et femme en âge de procréer en particulier.

X-2 Structure du mil et de sorgho.

Les grains du mil / sorgho sont des caryopses dont les principaux composants sont le péricarpe (6-8% du poids sec du grain), l'endosperme (80-84% du poids sec du grain) et l'embryon ou germe (7,8-12,1% du poids sec du grain). L'embryon est riche en protéines, en lipides, en minéraux et vitamines du groupe B. Peu de recherches ont été menées sur la structure des grains de mil/sorgho. Cependant, il ya une profonde similitude entre grains de mil et de sorgho. La taille, la forme et la densité des grains dépendent de leur variété et, des conditions de l'environnement dans lesquelles ils ont mûri. Le poids d'un grain de sorgho varie de 5 mg à 80 mg, sa masse est de 1,2 g/cm³ à 1,45 g/cm³. Cent(100) grains de sorgho pèsent entre 25g à 35g tandis que la quantité de grains ne pèse que 5,5g.

X-3 Compositions chimiques.

Les principaux constituants des grains de mil/sorgho sont les hydrates de carbone, les protéines et les lipides. La composition nutritive moyenne pour ces céréales est reprise dans le tableau ci-dessous.

Tableau : valeur des éléments nutritifs représentatifs du mil/sorgho.

| Céréales | Lipide | Glucide | Protide | Calcium | Fer | Thiamine | Riboflavine |
|----------|--------|---------|---------|---------|-----|----------|-------------|
| Mil | 11,0 | 5,0 | 69 | 25 | 3,0 | 0,3 | 0,15 |
| Sorgho | 10,4 | 3,4 | 71 | 32 | 2,0 | 0,50 | 0,12 |

X-4 Les technologies de transformations du mil et de sorgho.

L'opération de transformation de mil/sorgho a été regroupée en plusieurs phases composantes essentielles dans l'alimentation humaine tout en milieu urbain qu'en milieu rural. Le mil/sorgho requièrent subir plusieurs phases de transformation avant d'atterrir dans l'assiette du consommateur final. De toute évidence, il est observé des disparités de techniques de transformation. Ainsi, autant les techniques procédés, machines-outils, savoir faire utilisés dans le processus de transformation sont variés, autant les produits finis obtenus sont nombreux et permettent d'établir des distinctions entre les phases conduisant à leur élaboration.

X-4.1 La transformation alimentaire primaire.

Le point de départ de cette phase de transformation est le grain entier sont constitués par le germe qui donnera la plantule, l'amande appelée également endosperme ou albumen, tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires jusqu'à l'apparition des premières feuilles ; et les enveloppes protectrices ou son, composées de la paroi de la graine (testa) et de la paroi du fruit (péricarpe). La transformation alimentaire primaire comporte une étape principale : le décortiquage qui consiste à enlever le péricarpe du grain ; riche en fibre cellulosique indigeste.

- **Le décortiquage selon la technologie traditionnelle** : le procédé traditionnel de décortiquage de mil/sorgho se résume vers la fin de ce chapitre. Le décortiquage se fait à l'aide du mortier et du pilon et est loin de donner entière satisfaction.
 - Dans une première étape s'effectue le travail de nettoyage car le grain contient des impuretés dont il est nécessaire de s'en débarrasser avant toute transformation. En effet, le nettoyage des grains est une opération indispensable afin d'éliminer le sable, la paille, les petites pierres et parfois même les débris métalliques qui y sont mélangés.
 - Ensuite dans la deuxième étape s'effectue le décortiquage et c'est au mortier et au pilon. Avant le décortiquage au mortier et au pilon, les grains sont humidifiés pour faciliter le détachement de l'enveloppe extérieure. L'humidification est suivie immédiatement du pilonnage, avant que l'eau ne parvienne jusqu'à l'amande du grain. La fin du pilonnage est sanctionnée par le vannage qui se fait contre le vent est quelque fois remplacé par le tamisage qui permet également de séparer les grains entiers du son et des brisures.
 - l'opération terminale est le séchage au soleil, permet une longue conservation des grains décortiqués et rend possible la transformation et/ ou la commercialisation en farine au moment voulu.
- **Le décortiquage selon la technologie intermédiaire (semi-industrielle)** : le décortiquage de mil/sorgho par technologie intermédiaire reste peu développé au Tchad. l'insuffisance du pouvoir d'achat et de qualité des grains décortiqués, les ménages préfèrent le procédé traditionnel au mortier et au pilon, d'autre part, le coût élevé des investissements et la faible marge bénéficiaire, n'encouragent pas les investissements dans les créations d'unités de décortiquage. La répartition des unités de décortiquage dans le pays, montre qu'il ya plus d'unités à N'Djamena que sur les autres sites. A l'intérieur des sites, la répartition des ateliers va décroissant, du centre ville vers les quartiers périphériques. On distingue deux procédés de décortiquage : voie humide et voie sèche.
 - **Voie humide** ; la grande majorité des unités motorisées utilisent par voie humide des décortiqueuses de **marque Andouria**. Cependant, ces appareils sont pour la plupart utilisés pour décortiquer aussi bien le riz, mil que le sorgho. Par conséquent, la qualité des grains décortiqués est très souvent désastreuse et les rendements et pertes sont plutôt grands et ne permet pas de conserver les grains décortiqués pendant une longue période.
 - **Voie sèche** ; l'alternative au décortiquage humide est le décortiquage à sec qui permet de garder les grains décortiqués assez longtemps donc, de mieux les commercialiser. En effet, cette technique permet non seulement de traiter le grain à toute période mais aussi permet de gagner du temps. On utilise également des machines de type **Andouria**.
- **Le décortiquage selon la technologie industrielle** : le décortiquage industriel de mil/sorgho ne se fait pas au Tchad actuellement. C'est une étape incontournable dans la transformation du mil/sorgho. Ses techniques, pourtant généralisées, sont longues et pénibles. La pénibilité du travail par des techniques traditionnelles et la courte durée de conservation des grains

décortiqués par la voie humide (humidification contribue à la formation du goût fermenté) freinent la consommation du mil/sorgho. Il s'ensuit que les procédés mécaniques mis au point pour le décortilage du mil/sorgho à petite échelle s'avèrent nécessaires. Cependant la plupart de petite et moyenne unités de décortilage des céréales ne résolvent qu'à moitié le problème car les grains mouillés ne se conservent pas pendant longtemps.

X-4.2 La transformation alimentaire Secondaire.

X-4.2.1 la mouture selon la technologie traditionnelle.

Le mil/sorgho est à la base de nombreux plats au Tchad. Cependant, avant d'être utilisés dans les préparations, les ménagères sont obligées de les transformer en farine ou semoule. La technique traditionnelle de mouture la plus répandue reste le pilage au mortier. Dans certaines provinces du pays, la mouture se fait aussi à l'aide de la meule. Dans tous les cas, l'opération consiste à imprimer au pilon ou à la meule une force supérieure à celle imprimée pour le décortilage. Le broyage des grains décortiqués est toujours suivi par plusieurs tamisages afin d'obtenir une farine fine. La mouture par la technologie traditionnelle reste donc une tâche toujours pénible, longue et difficile.

X-4.2.2 la mouture selon la technologie intermédiaire (semi-industrielle).

La majorité des moulins motorisés sont importés et de marque Andouria. Il existe également des moulins de fabrication locale vulgarisés par l'ONG (les moulins à meule et marteaux). Par contre, nous savons que les moutures se font par voie humide et sèche. Bien qu'Andouria soit la marque la plus présente au Tchad, elle dispose d'un service après vente peu fiable. Ce qui n'est pas le cas des autres marques qui assure une disponibilité quasi permanente en pièces de rechange.

NB : la technologie industrielle de mouture n'existe pas au Tchad actuellement

X-4.3 La transformation alimentaire tertiaire.

La transformation alimentaire tertiaire met en œuvre les produits de la mouture et débouche sur la fabrication des produits prêts à consommer.

X-5 Produits et sous-produits de la transformation primaire, secondaire et tertiaire

Les différentes opérations de transformation permettent, à chaque stade, de générer graduellement des produits et sous-produits. Ces produits et sous-produits intermédiaires subissent à leur tour des transformations avant d'aboutir au produit final consommé. Les activités de transformation sont caractérisées par une grande diversité des tâches articulées autour des produits et sous-produits.

X-5.1 Les produits et sous-produits de la transformation primaire et secondaire.

Le décortilage de mil/sorgho, qu'il soit réalisé de façon mécanisée ou par la méthode traditionnelle aboutit au même produit et sous-produit et leurs sons. Cependant, les produits issus de ces deux (2) méthodes ne sont pas appréciés de la même façon. Le son issu de la première transformation est parfois servi comme alimentation du bétail ou dans la fabrication de l'alcool indigène (argué).

Les brisures issues de la deuxième transformation connaissent le même sort que le son.

Elles sont destinées, soit à la préparation des repas, soit intégrées au processus de transformation de l'alcool indigène. La qualité des produits issus de ces deux (2) stades de transformation dépendent étroitement des méthodes utilisées et de la nature des équipements.

X-5.2 Les produits et sous-produits de la transformation tertiaire.

La transformation primaire et secondaire débouche sur la farine. Ensuite celle-ci subit une ultime transformation pour aboutir à un éventail de plats et boissons. Ces plats et boissons qui découlent du dernier stade de transformation bien que présentant peu de similitude entre eux, sont désignés sous de vocables différents en fonction de leur lieu de production. Ainsi, l'alcool indigène obtenu à partir du mil/sorgho, auquel peuvent être ajoutés éventuellement d'autres ingrédients, issu de la transformation (son, brisure, reste de la boule etc.) est connu sous diverse appellation : Argué, Argui, Elf, Mali etc.

Dans la partie soudanienne du pays la pâte en boule est connue les noms de « mour » ou « mourou ». Dans la partie sahélienne, c'est sous le nom de « esche ». Les jus réalisés à base de mil, appelé communément « koundou » ou Amtamadji.

X-6 Schémas des principales opérations de la transformation traditionnelle du mil et de sorgho (voir polycop)

Conclusion : l'agriculture des zones semi-arides de l'Afrique de l'ouest et du centre était centrée sur les mils et sorghos, céréales bien adaptés à leur écosystème. Ces cultures étaient principalement autoconsommées, car la faible urbanisation limitait les débouchés marchands. Pour couvrir leurs besoins monétaires, les paysans se sont tournés vers des cultures de rente (revenu périodique) telles que l'arachide et le coton pour lesquels, il y avait une demande importante sur le marché mondial.

A ce jour ; le constat général est que les cultures de rente et de riz ont montré leur limite. Les conditions du marché d'importation des cultures de rente se sont vite dégradées d'une part, et d'autre part les résultats des grands aménagements rizicoles n'ont pas été à la hauteur des attentes ; ni en terme techniques ni en terme de coût de production.

Malgré la faible attention accordée aux cultures de mil et sorgho dans les programmes de recherche et de développement, plusieurs pays ont enregistré une faible croissance de la production par habitant rural (entre 135kg).

Néanmoins, certains défis majeurs restent à relever pour que le mil et le sorgho soient au cœur du processus de développement d'une agriculture durable, notamment :

- intensification des exploitations pour faire face à la pression démographique et à la disparition des jachères ;
- l'ajustement du marché des céréales au changement des besoins des consommateurs ;
- le développement des technologies et du savoir faire nécessaire à la transformation des céréales

3^{ème} PARTIE : LES SUCRES

I – Introduction générale et rappels de biochimie des glucides.

Le terme « sucre » n'évoque encore que le saccharose pour la majeure partie des consommateurs, il est pour, les biochimistes, synonyme d'ose (glucose, galactose ou fructose). Actuellement, beaucoup s'accordent à regrouper sous le mot « sucre » les agents sucrants de nature glucidique. C'est cette dernière définition que nous adopterons dans la suite de ce cours.

Les sucres utilisés dans le monde sont pour la plupart dérivés de l'amidon par hydrolyse, éventuellement suivie d'une isomérisation (conversion d'une molécule chimique en un de ses isomères = des composés chimiques qui ont la même formule brute mais qui diffèrent par un ou plusieurs propriétés) où d'une hydrogénation (état d'un corps qui s'imprègne ou qui est imprégné d'hydrogène). D'autres produits de base, tels que le saccharose, le lactose ou le xylose sont susceptibles de conduire par ces mêmes réactions à d'autres produits au goût sucré.

Le tableau ci-dessous montre les différents sucres utilisés

| Sources | Produits | Produits obtenus selon l'action chimique ou enzymatique utilisée | | | |
|-------------------|------------|--|---------------------------|-----------------------------------|--|
| | | Hydrolyse | Isomérisation | Action d'une Fructosyl-transféras | Hydrogénation |
| Canne à sucre | Saccharose | Sucre inverti | Isomaltulose (Palatinose) | Tructo-oligo-saccharides | Isomalt (Palatinit) Sorbitol/ Mannitol |
| Betterave à sucre | | Fructose | | | |
| Maïs | Amidon | Glucose | Fructose | | Sorbitol/ Mannitol |
| Pomme de terre | | Maltose Sirop de glucose | Isosirop | | |
| Lait | | Lactose | Sirop de lactose | Lactulose | Lactitol |
| Bois | Xylane | Xylose | | | Xylitol |

Le tableau ci-dessous montre quelques effets du sucre sur les produits alimentaires :

| Augmentation | Amélioration ou renforcement | Autres rôles |
|----------------------|-------------------------------------|---|
| - Saveur sucré | - Saveur et arôme | - Fournit des calories |
| - pression osmotique | - apparence (brillance) | Améliore la texture par son volume |
| - viscosité | | - Agit sur la solubilité des autres ingrédients |
| - point d'ébullition | | - Fermentiscibilité |
| - Rétention d'eau | | - Aide l'émulcification |
| | | - Meilleur développement de la couleur |
| | | - Diminuer le point de congélation (glace) |

CHAPITRE XI : EXTRACTION DU SUCRE DE BETTERAVE.

XI.1 Généralité sur la betterave

La betterave représente 40% du sucre mondial. Après la récolte, la racine est broyée pour extraire le jus, qui est raffiné et blanchi jusqu'à obtention du sucre. La pulpe restante peut être utilisée comme alimentation pour le bétail. Le sucre non raffiné, appelé Vergeoise, est utilisé pour la confection de nombreux gâteaux, tels que les spéculoos belges.

XI.2 Description de la betterave

La betterave sucrière du nom scientifique **Beta Vulgaris**, classification (Règne : plantae ; Division : Magnoliopsida ; Ordre : Caryophyllales ; Famille : Chemopodiaceae ; Genre : Beta) est une plante bisannuelle (qui se produit tous les 2 ans) à la racine de couleur blanche et bien enterrée, elle se développe en 2 phases :

- la première année est caractérisée par la phase végétative : la germination des glomérules, la feuille se développe et la racine charnue accumule des réserves sous forme de sucre. Les racines sont récoltées en automne pour la production de sucre.
- la deuxième année est caractérisée par la phase reproductive : les tiges montent et les inflorescences se développent (en juin avec des fleurs hermaphrodites à fécondation croisée) pour aboutir après la floraison et la pollinisation anémophile (pollen est disséminé par le vent) à la production des graines. La maturation du fruit se fait en Août.

XI.3 La culture de la betterave

Elle se fait généralement à la mi-mars après le gelé d'hiver ; elle a besoin de 6 mois de climat chaud et ensoleillés pour achever la formation de la racine, elle aime les terres riches, profondes, bien fumées.

Après le semis, il sera nécessaire de procéder au démariage c.à.d. à l'élimination des plants excédentaires. La graine de betterave est très petite et contient très peu de réserve. Sa culture est donc très sensible à la battance (forte pluie, grêle). La graine est enfouie à 2-3 cm de profondeur, lorsque les cotylédons pointent à la surface, la plantule a complètement hydrolysé ses réserves, elle a donc un besoin urgent de soleil pour commencer la photosynthèse (et la production d'énergie). Si elle rencontre un obstacle comme une croûte de battance, elle ne peut y faire face et le plant meurt. La fertilisation azotée doit être faite sans excès sous peine de nuire au rendement en sucre. La betterave a une consommation dite luxe car elle puise énormément de potassium du fait de son origine halophytes (plante adaptée aux milieux salés). Ses besoins en potasse sont donc plus élevés environ 4kg/tonne de racine, elle exige de sol à PH basique.

Le saccharose (C12) est directement produit dans les feuilles ; celui-ci est réduit en glucose (C6) dans les organes-puits (organe ou partie d'un végétal qui utilise une substance provenant d'un ou de plusieurs autres organes) lors de la croissance, puis stocké dans la racine. La richesse en sucre est un facteur important de la qualité de la récolte, et le prix d'achat en dépend.

XI.4 Récolte de la betterave

La betterave, matière première périssable, la récolte est mécanisée à l'aide de machines automotrices combinant les fonctions d'arracheuse-effeuilleuse-décolleteuse-chargeuse pour être traitée rapidement pour ne pas perdre son sucre. La betterave est en effet, un produit vivant qui, une fois arrachée, continue à vivre sur ses réserves en consommant son sucre (200g à la tonne et par jour). C'est pourquoi la sucrerie est implantée à proximité des lieux de culture. La sucrerie est une industrie saisonnière et la campagne d'extraction ne dure en effet que trois mois (généralement de septembre à décembre). Durant cette période, les machines fonctionnent jour et nuit.

XI.4.1 Transport et réception des betteraves

L'approvisionnement de l'usine se fait dans un rayon de 25 km environ. Les cultivateurs laissent les betteraves en silo au bout du champ, la sucrerie s'approvisionnant au fur et à mesure de ses besoins. Ils peuvent aussi les livrer dans les centres de réception ou à l'usine.

XI.4.1.1 La pesée des betteraves

Deux méthodes sont employées :

- la pesée directe, se fait au centre de réception, le camion chargé de betterave passe sur une bascule, puis y repasse vide. La différence entre les 2 masses donne la masse du chargement ;
- la pesée géométrique, consiste à acheter la récolte sur pied par la sucrerie, la masse de la récolte est évaluée à partir de prélèvements effectués en différents points de champ en présence d'un géomètre, de représentants de la sucrerie et du planteur. Un calcul permet ensuite de connaître par extrapolation la masse totale de betterave du champ.

XI.4.1.2 La teneur en sucre

Pour connaître la proportion de sucre contenue dans la betterave, on procède à un dosage sur échantillon : la mesure saccharimétrique se fait sur un filtrat résultant de la digestion aqueuse à froid de 40g de râpure (ce qu'on enlève avec une râpe) de betterave et de 165 cm³ d'une solution et de sous-acétate de plomb.

La teneur moyenne est d'environ 16 à 18% de sucre pour 100g de betterave.

XI.4.2 Déchargement et stockage des betteraves à l'usine

Les betteraves sont déchargées dans de vastes silos où elles doivent séjourner le moins possible pour ne pas perdre leur richesse en sucre. Deux (2) méthodes sont utilisées :

- le déchargement hydraulique : les camions déchargent les betteraves dans une fosse appelée **point fixe** d'où elles sont extraites par des jets puissants et continus projetés par des lances appelées **mitrailleuses** qui entraînent dans un caniveau. Le courant d'eau les amène au pied du lavoir où elles sont introduites soit par une roue élévatrice à godets, soit par une pompe à betteraves. L'eau utilisée est reprise après décantation des boues les plus lourdes. Le débit d'eau, réglé à distance, permet d'extraire plus ou moins de betterave du point fixe selon les besoins de l'usine ;
- le déchargement à sec : les camions déchargent dans une fosse d'où les betteraves sont extraites en permanence par une bande transporteuse appelée **extracteur** qui, par un jeu de bandes, les met en stock dans la cours sous forme de silo, ou les envoie directement au lavoir.

XI.4.3 Lavage, épierrage et erherbage (désherbage) des betteraves

Les betteraves arrivent au lavoir soit à sec, soit par transport hydraulique, contiennent d'importantes quantités de terre, pierres, herbes, radicules et feuilles de betterave. Cette séparation se fait par l'eau en frottant les betteraves les unes contre les autres puis en pulvérisant de fins jets d'eau sous pression pour éliminer les restes de terre accrochés dans les sillons (vaisseau). Du lavoir, les betteraves passent dans l'hydro-épierrage où elles sont soumises à un courant d'eau ascendant (les betteraves flottent, les pierres tombent), enfin un hydro-erherbeur les débarrasse, grâce à un courant d'eau propre, des débris végétaux.

XI.4.3.1 Pesées des betteraves propres

Afin de connaître exactement la masse de betteraves qui entre en fabrication et pour contrôler le rendement en sucre, les betteraves propres sont pesées. La plupart des usines pèse les betteraves après découpage en cossettes.

XI.4.3.2 Découpage en cossette

Il se fait par un disque de grand diamètre dont la longueur est de (5-6 cm) pour une épaisseur de (3 à 4 mm) où elles sont découpées en fines lanières assez rigides appelées **cossettes**. Ce découpage a pour but :

- d'augmenter la surface de contact entre les cellules de betterave et jus de diffusion, pour favoriser les échanges de chaleur et de matière ;
- d'obtenir une faible épaisseur, pour réduire le temps de diffusion du sucre vers le jus ;
- d'apporter une certaine rigidité pour éviter les risques d'agglutination (action d'agglutiner = unir et mêler plusieurs substances de manière à en former une masse compacte) qui nuisent aux échanges et à l'aptitude au transport.

XI.4.4 La diffusion

Au niveau de la betterave, le saccharose est contenu dans des vacuoles constituant les réserves énergétiques de la plante. Ces vacuoles sont incluses dans les cellules de la betterave, cellules délimitées par une membrane plasmique qui est accolée à une paroi plus rigide. La membrane plasmique est imperméable au saccharose. L'opération d'échange, par un chauffage à plus de 70°C, va détruire cette barrière et faciliter ainsi la diffusion.

La vitesse de diffusion (V_d) peut s'exprimer par la formule suivante : $V_d = A \cdot K \frac{C-c}{e}$

A : surface d'échange betterave / jus de diffusion,

K : coefficient dépendant des paramètres physique (température),

C-c : gradient de concentration,

(C) concentration de sucre dans les cellules de betterave,

(c) concentration de sucre dans le jus diffusion,

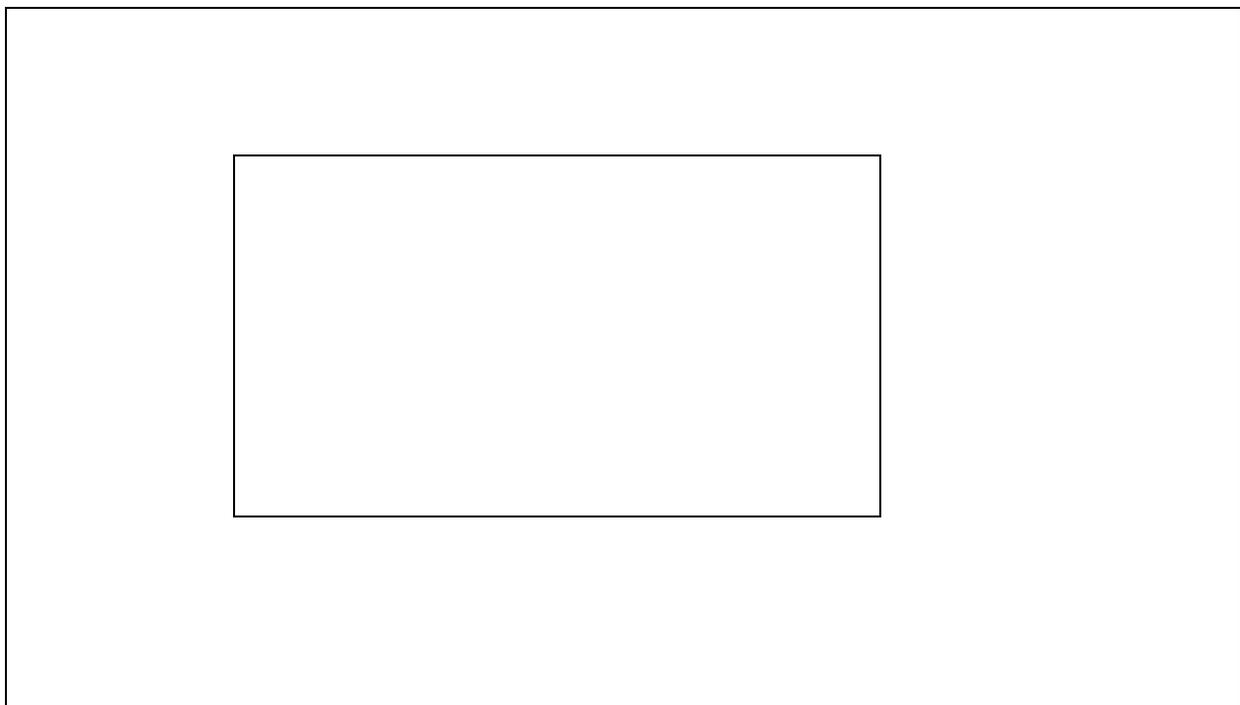
e : épaisseur des cossettes de betterave.

Pour maintenir une vitesse de diffusion élevée, il est nécessaire d'avoir une différence C-c la plus grande possible. (Voir cours sur le Génie de procédé Alimentaire).

On pourrait pour cela réaliser une percolation, en amenant en permanence de l'eau pure sur les betteraves, mais les quantités d'eau évaporées seraient énormes. On réalise donc une diffusion contre-courant, le jus progresse par un système de vis d'Archimède, alors que les cossettes de betterave passent d'un compartiment à un autre en sens inverse, rencontrant jusqu'à leur sortie du diffuseur, un jus de moins en moins concentré en sucre. Enfin de diffusion, on obtient un jus dont la richesse en sucre est voisine de celle des cossettes fraîches. Ces dernières, presque épuisées, sont appelées **pulpes**. Le jus de diffusion est un liquide bleu-noir contenant environ :

- 76% d'eau,
- 15 à 18 % de saccharose,
- 4 à 5 % de pulpe.
- 2 à 3% d'éléments non sucrés.

Il faut donc éliminer les impuretés par épuration et l'eau par évaporation.



Diffusion type RT ou Diffusion Continue RT

RT : Raffinerie Tulemontoise (d'autres système de diffusion : Buckau Wolf Desmet)

XI.4.5 Epuration des jus de diffusion

XI.4.5.1 Le Chaulage

La chaux, élément principal de l'épuration des jus, est produite à partir de pierres calcaires, dont le chauffage à très haute température permet la dissociation :



Le chauffage se fait dans des fours à chaux, situés dans le périmètre de l'usine. Ces fours sont alimentés en continu d'un mélange de pierre et de coke. On obtient de la chaux vive qui est hydratée et transformée en lait de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Le lait de chaux est ajouté aux jus bruts de diffusion (chaulage).

L'autre produit sortant du four à chaud est le dioxyde de carbone (CO_2). Ce gaz sera mis à barboter dans les jus chaulés pour compléter l'épuration. La chaux précipite une partie des impuretés en formant avec celle-ci des sels insolubles dans l'eau. Le chaulage a lieu en deux (2) temps.

1/5 environ de la chaux agit lentement sur le jus sucré en précipitant les impuretés. Le jus passe alors dans un réchauffeur et est envoyé dans les bacs de chaulage où le reste du lait de chaux est ajouté de façon massive.

XI.4.5.2 La Première carbonatation

Le jus chaulé est réchauffé pour barboter le dioxyde de carbone (CO_2) provenant du four à chaux. Celui-ci provoque la formation de carbonate de chaux insoluble qui en se déposant entrainera les impuretés.

XI.4.5.3 La Première filtration

Le jus carbonate est envoyé dans les filtres presses ou rotatifs, qui séparent le jus clair du précipité de carbonate de chaux contenant les impuretés. Ce précipité, aggloméré contre les toiles filtrantes des filtres, constitue les tourteaux ou écumes de carbonatation. Après lavage, ces résidus sont récupérés pour être utilisés en agriculture comme amendement calcaire.

XI.4.5.4 La Deuxième carbonatation et deuxième filtration

Après réchauffage du jus, on procède à une deuxième carbonatation qui élimine toute la chaux. Elle suivie d'une deuxième filtration qui donne le jus épuré contenant de 12 à 13 % de sucre. Le jus épuré est une solution sucrée limpide de couleur jaune contenant environ 86 % d'eau, 13 % de sucre, 1 % d'impuretés dissoutes.

Pour obtenir le sucre, il reste à éliminer l'eau dans laquelle il se trouve en solution. On procédera par évaporation, puis par concentration.

XI.4.6 Evaporation

Elle s'effectue de façon continue dans une série de chaudières à « multiple effet ». Ces chaudières, appelées aussi **caisses d'évaporation** ou **évaporateurs** sont au nombre de 4 à 6. Dans la première, fonctionnant sous pression, le jus est porté à ébullition par la vapeur d'échappement des turbines de l'usine. La vapeur produite par l'ébullition du jus de la première caisse est récupérée et envoyée au faisceau de la deuxième caisse. Dans celle-ci, l'ébullition s'effectue à une pression et à une température moindre c.à.d la température d'ébullition diminue avec la pression. C'est le principe qui est mis en application dans le système d'évaporation à multiple effet.

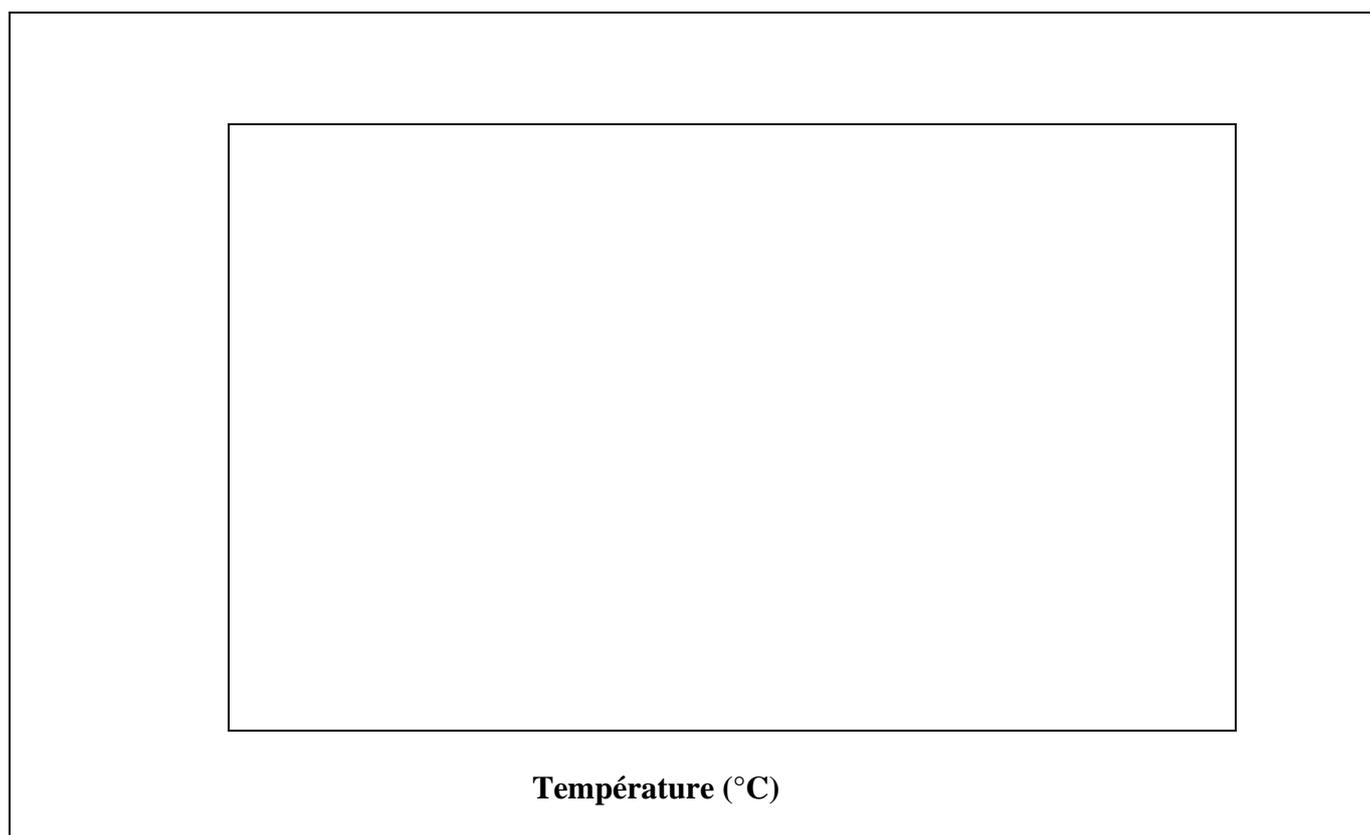
Le dernier évaporateur est relié à un condenseur barométrique muni d'une pompe à vide. Cela permet d'abaisser la pression de la dernière caisse. Celle-ci fonctionne sous vide ; on peut donc poursuivre l'évaporation à une température inférieure à 100°C. Le sirop jaune-brun très dense qui sort de la dernière caisse contient de 60 à 65 % de saccharose

XI.4.7 La cristallisation

Le sirop qui sort de la dernière caisse d'évaporation est envoyé dans d'énormes chaudières appelées **Cuites** où la concentration et la cristallisation vont être effectuées sous vide partiel à température réduite (80°C) pour l'amener à sursaturation (état d'équilibre instable). La cristallisation va permettre d'obtenir des cristaux de sucre pur . On réalise en générale trois (3) caisses successives (3 jets) qui permettent de recueillir un maximum de sucre, le produit final étant la mélasse (l'égout du 3e jet qui renferme une très grande quantité d'impuretés).

sursaturation. Pour garantir la croissance des cristaux sans formation spontanée de germes, il faut se situer dans la zone de sursaturation comprise entre la limite de solubilité et la limite métastable (instable = matière qui demeure en phase liquide alors que sa température est plus basse que son point de solidification). Les germes qui vont grossir pendant la cuisson auront été préalablement introduits dans l'appareil de cuite. Ils sont ajoutés sous forme de sucre glace en suspension dans de l'alcool, à la fin de la concentration du « **pied de cuite** » (**1 → 2 voir figure ci-dessous**). C'est l'opération d'ensemencement.

Figure : Limite de solubilité et limite Métastable du saccharose



La croissance des cristaux se fait par la sursaturation constante. La dilution apportée par l'alimentation en sirop est compensée par la concentration par évaporation sous vide (points 2 et 3 confondus).

Les cristaux grossissent ; l'eau mère qui les entoure acquiert une coloration plus foncée car elle concentre en proportion inverse en impuretés ou non sucre. La cuisson se termine par le serrage (action de serrer = renfermer), on stoppe l'alimentation en sirop et l'on chauffe, ce qui permet aux cristaux de grossir encore en épuisant le sirop dont la concentration se rapproche alors de la saturation (voir point 3→4).

La vitesse de cristallisation ou fonction de la proportion de saccharose par rapport aux impuretés (non sucré). On utilise en sucrerie la notion de pureté qui se définit par le rapport :

$$V(c) = \frac{\text{Teneur en sucre}}{\text{Matière sèche}} \text{ Ou } \frac{\text{sucre}}{\text{Sucre+ Non sucre}}$$

Au fur et à mesure des cuissons successives ou « jets », on sépare le sucre cristallisé de la masse cuite, d'où une diminution de la pureté et une chute de la vitesse de cristallisation.

| Etapes | Pureté | Temps de cuisson pour cristallisation |
|-----------------------------|---------------|--|
| Premier jet | 92 % | 3 heures |
| Deuxième jet | 87 % | 5 heures |
| Troisième jet | 75 % | 8-10 heures |
| Malaxage 3 ^e jet | 72 % | 40heures |
| Mélasse | 60 % | Cristallisation |

XI.4.8 Malaxage

La masse cuite, d'aspect brunâtre, dont la température est de l'ordre de 80°C à la sortie de la chaudière, est déversée dans un bac de malaxage (grande cuve semi-cylindrique) où par agitation régulière, sa température est ramenée aux environs de 45°C. Les cristaux se refroidissant achèvent de grossir aux dépens de « l'eau mère » qui les entoure.

L'achèvement des opérations consistent à séparer les cristaux de l'eau mère.

XI.4.9 Turbinage, Clairçage

La masse cuite est enfin introduite dans desessoreuses centrifuges ou turbine à sucre tournant à grande vitesse (150 tours/ mn) qui sont composées de panier en tôle perforée revêtue de toile filtrante. Le sucre blanc est retenu sur les bords du panier, tandis que l'eau mère (sirop impur) est chassée hors du panier. Les cristaux de sucre qui restent à l'intérieur de la turbine forment le sucre de 1^{er} jet. Avant de recueillir ce sucre, on lui fait subir à l'intérieur de la turbine un clairçage c.à.d. un lavage à l'aide d'un jet d'eau puis de vapeur pour enlever les dernières traces d'eau mère. Le sucre obtenu est très blanc et pur, destiné directement à la consommation. L'eau mère ou appelée encore **égout de 1^{er} jet** est reprise en fabrication. Elle subit une nouvelle cuisson, un nouveau turbinage et donne le sucre de 2^e jet plus coloré et moins pur que le sucre de 1^{er} jet. Les égouts de 2^e jet, toujours riche en sucre, subissent une nouvelle cuisson, un nouveau turbinage et donnent un sucre de 3^e jet, brun et chargé d'impuretés (sucre roux) ainsi qu'un égout appelé **mélasse**.

Les sucres de 2^e et 3^e jet sont généralement refondus et réintégrés dans la fabrication pour être recristallisés. Certains sont traités en raffinerie.

XI.4.10 Séchage, Ensachage, Stockage

Le sucre cristallisé blanc sortant des centrifugeuses, possède une teneur en eau de 2 % environ et sa température est de 60°C. Avant stockage ou conditionnement, il est dirigé dans des sécheurs où, mis en contact avec l'air chaud, son humidité est amenée à moins de 0,02 – 0,04% environ. Il est pesé et dirigé vers des silos de stockage où il subit une maturation. Le sucre sera repris au fur et à mesure des besoins vers l'atelier d'ensachage automatique ou vers les quais (embarquement) de chargement.

Résumé de sucrerie de betteraves

| Produits entrant en fabrication | Etapes | Produits sortants |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| Betteraves → | Lavage ↓ → | Terre, pierres, débris végétaux |
| | Diffusion ↓ → Jus brut | Pulpes |
| Pierre calcaire → + Combustible pour chaudière | Epuration ↓ → | Ecumes |
| | Jus | |
| | Evaporation ↓ → | Eau |
| | Sirop ↓ Cristallisation → → | Mélasse Sucre blanc |

Ecume : mousse blanchâtre qui se forme à la surface des liquides agités, chauffés, ou en fermentation

Labile : qui n'est pas fixe ; mobile, changeant c.à.d. instable.

XI.4.11 Le Contrôle de fabrication

Tout au long de la fabrication, le laboratoire de l'usine exerce un contrôle de façon à diminuer les pertes et améliorer la qualité des sucres obtenus. Un bilan de fabrication est effectué chaque semaine, variable d'une usine à l'autre. Il se présente habituellement sous forme suivante :

| Sucre (saccharose) | Quantités | Perte totale | |
|--|-----------|--------------|--|
| Théorique prise en charge (pour 1000kg de betteraves) : | 165 kg | | |
| Pertes de fabrication | | | |
| Diffusion | 3kg | | |
| Épuration | 1kg | 9 kg | |
| Inconnues | 5kg | | |
| Sucre restant | | | |
| Dans la mélasse | 21kg | | |
| Sucre produit | | | |
| Évalué en sucre blanc | 135 kg | | |

NB : A l'intercompagne, l'activité de l'usine ne cesse pas avec la compagne de fabrication. Pendant les neuf autres mois de l'année (période de d'inter compagne), la sucrerie procède à la modernisation et à l'entretien des matériels de fabrication et de transport.

Une grande partie du personnel est en effet employé à démontrer, réviser, nettoyer, réparer pièce par pièce le matériel qui a servi sans interruption pendant la compagne. La sucrerie a aussi parfois une activité complémentaire (distillerie de mélasse, fabrication d'engrais, de levure (boulangérie), de matériel agricole....)

CHAPITRE XII : EXTRACTION DU SUCRE DE CANNE.

XII.1 Description et la culture de canne à sucre

La canne à sucre, herbe tropicale et subtropicale graminée de la famille des Poaceae et du genre Saccharum, a besoin de soleil et de chaleur pour produire des tiges dont on extrait le sucre. C'est une plante vivace, c.à.d. qu'elle n'a pas besoin d'être replantée tous les ans. là où l'eau manque, les champs de cannes sont irrigués.

La canne repousse après chaque récolte (cinq ou six repousses), la replantation se fait à partir de bouture, la portion des tiges est enterrée horizontalement. A la croissance, le sucre s'accumule dans les tiges jusqu'à un maximum, on dit que la canne atteint sa maturité ; c'est le moment optimal pour la récolte. La canne est une touffe de 5 à 20 tiges dressées, les tailles de 2 à 5 mètres de haut et 2 à 4 centimètre de diamètre. Chaque tige est une succession de nœud. Les tiges sont également très riches en cellulose et lignine, matières premières utilisées en chimie verte, carburant, énergie... Les feuilles sont longues et étroites permettent de fabriquer par le processus de photosynthèse, la matière végétale dont les molécules sont les sucres. Les feuilles sont aussi un bon fourrage pour l'élevage.

XII.2 Récolte et nettoyage

La récolte consiste à couper les tiges en laissant la partie basse la « souche », pour permettre la pousse des talles et la croissance de nouvelle tige. La coupe des tiges se fait à la main, à l'aide d'une machette, ce qui nécessite une main d'œuvre importante .C'est une opération difficile, car la tige de canne est dure, les feuilles sont coupantes (qui coupe). Le recours au brulage facilite le travail, ainsi que la coupe mécanique est de plus en plus utilisée en ce dernier temps. Une fois coupée, les tiges doivent être apportées à l'usine dans les 2 jours, car la teneur en sucre baisse rapidement. La récolte est donc une étape cruciale, elle demande un grand sens de l'organisation dans l'approvisionnement des usines selon leur capacité de broyage et de fabrication de sucre, de rhum, du carburant éthanol et bien d'autres produits. La récolte se fait 9 à 12 mois après la plantation dans les climats très chauds ou la repousse, alors que dans des régions tempérées (Iles, l'Afrique du sud...), il faut compter jusqu'à 18 à 24 mois.

Après la récolte, les tiges de la canne à sucre sont nettoyées, débitées en morceaux (par de couteaux tournant en raison de 500 à 800 tours / min) et passent dans une série de moulin où ils broyés.

XII.3 Broyage

La canne ainsi préparée passe ensuite dans une batterie de moulin (4 à 6 en moyenne).Un moulin est constitué par un ensemble de trois (3) cylindres horizontaux montés en triangle : un cylindre supérieure et deux (2) cylindres inférieurs . La vitesse de rotation des cylindres est lente (4 à 6 tours / min). La canne est d'abord broyée entre le cylindre inférieur d'entrée et le cylindre supérieur, puis entre ce dernier et le cylindre inférieur de sortie, la canne subit donc deux(2) broyage par moulin. Le jus est recueilli au-dessous. A la sortie du premier moulin, la canne écrasée appelée « **bagasse** » est reprise et envoyée au deuxième moulin et ainsi de suite jusqu'au dernier.

Après, le passage dans le premier moulin, on facilite l'extraction du jus par un procédé dit d'imbibition (consiste à arroser la bagasse pour extraire du sucre restant). Ce qui permet une extraction plus efficace.

A la sortie du dernier moulin, la bagasse représente 20 à 30 % de la masse de la canne et contient 48 à 50 % d'humidité. Les jus obtenus sont troublés, de couleur jaune verdâtre, parfois brune foncée. Leur composition varie suivant la variété de la canne et le traitement subi, est la suivante :

- 71 % d'eau ;
- 14 % de saccharose ;
- 13 à 14 % de fibres ligneuses;
- 2 à 3 % d'autres éléments (vitamines, sels minéraux, oligoéléments).

XII.4 Epuration du jus

Les jus obtenus après les divers broyages, subissent une épuration dont le but est d'éliminer les impuretés qui sont :

- Les sucres réducteurs ;
- Les acides organiques ;
- Les matières colorantes (chlorophylles) ;
- Les cires, gommés végétales ;
- Les matières minérales.....

L'épuration comprend deux (2) étapes :

- Un chaulage, qui consiste à traiter le jus par la chaux (qui transforme les acides en sels insolubles et coagule les matières albuminoïdes) ;
- Un chauffage à une température supérieure à 100°C suivi d'une décantation au fond et le jus clair reste en surface. A cet stade, la fabrication du sucre de canne devient identique à celle du sucre de betterave, c.à.d. le jus clair va subir :
 - Une évaporation ;
 - Une cristallisation ;
 - Un malaxage ;
 - La turbinage ou centrifugation.

Les sucres de 1^{er}, 2^e et 3^e jet sont tous des sucres roux. La mélasse contenant encore du saccharose, mais qu'il n'est plus rentable de recycler pour la cristallisation. Elle sert à la fabrication du rhum et de l'éthanol (carburants, alcool à brûler).

Le sucre de canne sera raffiné ensuite.

XII.5 Le Contrôle de fabrication

Il est identique à celui utilisé pour le sucre de betterave. Le bilan du sucre est le suivant :

| Sucre (saccharose) | Quantités | Perte totale | |
|--|-----------|--------------|--|
| Théorique prise en charge (pour 1000 kg de Canne) : | 135 kg | | |
| Pertes au moulin | 6 kg | | |
| Pertes de fabrication | | | |
| Ecume | 0,6 kg | | |
| Mélasse | 12 kg | 20 kg | |
| Indéterminé | 1,4 kg | | |
| Saccharose obtenu | | | |
| | 115 kg | | |

CHAPITRE XIII : RAFFINAGE DU SUCRE

C'est une usine complémentaire de la sucrerie. Son but est de traiter le sucre roux issu de la betterave et de la canne à sucre. Les différentes opérations du raffinage peuvent se résumer comme suit :

XIII.1 Affinage

Les sures roux sont déversés dans un malaxeur, où ils sont mélangés à un sirop chaud, saturé à concentration suffisante pour ne pas détruire les cristaux. Cette opération est appelée **l'empâtage**. La couche superficielle, la plus impure, est dissoute. La masse de pâteuse est essorée (sécher par l'effet de la force centrifuge dans un appareil fermé) par des turbines centrifugeuses qui séparent les cristaux de sucre de l'égout de raffinage, sirop contenant les impuretés. Les cristaux de sucre retenus dans le panier de la turbine sont lavés par un sirop pur ou encore avec de l'eau ou de la vapeur. Le sucre obtenu est le sucre affiné.

XIII.2 Refonte et clarification du sucre affiné

Le sucre affiné est dissous dans de l'eau pure très chaude. Le sirop obtenu est soumis à une première épuration à chaud qui s'apparente à celle pratiquée dans les sucreries : par chaulage, carbonatation et filtration dans les filtres presses ou dans des filtres continus, on obtient un sirop limpide.

XIII.3 Filtration

Les sirops de refonte sont limpides, mais légèrement colorés, car ils contiennent encore des impuretés organiques et minérales et des matières colorantes qui ont échappé à l'épuration. Ce sirop passe à une température de 70°C dans les cylindres contenant du charbon actif qui fixe tous les corps même les plus microscopiques. Le sirop sort des filtres limpide et incolore, on appelle « **clairce** ».

XIII.4 Cristallisation et turbinage

Pour obtenir le sucre raffiné blanc, les clairces sont d'abord évaporées sous vide partiel, pour éviter toute cristallisation, à une température voisine à 80°C. Le sirop est introduit à une petite quantité de sucre glace afin d'améliorer et de régulariser la cristallisation qui se produit en abaissant la température et en travaillant sous vide. Après séparation de l'eau mère par turbinage, les cristaux de sucre obtenus sont parfaitement blancs et subissent différentes opérations de façonnage et de conditionnement selon le mode de présentation désiré.

Les eaux mères obtenues peuvent être passées à nouveau sur le charbon actif ou sur des résines décolorantes et donner lieu à une ou plusieurs cristallisations. L'eau mère issue de la dernière cristallisation est un produit visqueux, la mélasse, qui ne peut plus être cristallisé.

XIII.5 Façonnage et conditionnement

Afin de fournir aux consommateurs, les industries utilisent du sucre sous la forme commerciale la plus appropriée à leurs besoins. La raffinerie donne au sucre raffiné différentes présentations : morceaux, grains, granulés, poudre.....

Le conditionnement des sucres en morceaux est assuré automatiquement du montage de la boîte à l'emballage final. Le sucre humidifié est moulé dans les alvéoles d'un tambour. Éjectés les morceaux passent dans une étuve où ils perdent suffisamment d'humidité pour acquérir la solidité voulue. Ils traversent ensuite une zone de refroidissement d'où ils sortent secs et durs. Ils sont mis alors en boîtes de 1kg par des mains pneumatiques ; les boîtes sont ensuite automatiquement fermées

Toutes les opérations de conditionnement et de manutention étant automatiques, le sucre parviendra aux consommateurs bien emballés.

CHAPITRE X IV : SUCRE LIQUIDE/ SUCRE INVERTI.

Le marché du sucre liquide et de sucre inverti représente actuellement environ 15% des utilisations industrielles de sucre. Pour certains secteurs de l'industrie alimentaire, les sucres liquides présentent l'avantage du « prêt à l'emploi », ne nécessitant pas d'atelier de dissolution et pouvant être directement intégrés aux circuits de fabrication

X IV.1 Les méthodes de fabrication

X IV.1.1 le sucre liquide

XIV.1.1.1 La refonte du sucre sec

La première étape est la refonte du sucre sec avec de l'eau déminéralisée. La température dans le fondoir est d'environ 90 à 95°C et le temps de séjour de quelques minutes, ce qui permet de réaliser une pasteurisation tout en évitant le développement de coloration indésirable. On dissout jusqu'à une concentration d'environ 65%. Cette solution peut être soumise à une étape, de décoloration par adsorption (adhésion ou pénétration superficielle de chaleur) sur charbon actif ou sur résine (matière inflammable qui découle de certains arbres tel que le pin, le sapin...) puis à une filtration stérilisante ou à un « flash pasteurisation » permet d'éviter les risques de développement microbiens durant le stockage en cuve à 20-25°C.

XIV.1.1.2 L'échange d'ions

C'est une autre méthode de production, développée plus récemment et consiste à utiliser le sirop sortant des ateliers d'évaporation qui contient environ 70% des matières sèches solubles, dont près de 65 % de sucre. Le sucre est déjà en solution mais il reste à éliminer les « non sucres » qui, à ce stade, sont constitués de minéraux et d'autres composés électriquement actifs. On peut donc réaliser la déminéralisation sur des résines échangeuses d'ions (principe de l'adoucisseur d'eau), l'une de **type cationique** qui va fixer les cations ou ions positifs (potassium, calcium...), et la seconde **type anionique**, qui retient les anions chargés négativement (chlore, sulfate, carbonate...). Afin de limiter les pertes de charge liées à la viscosité, on travaille sur des solutions diluées à 35 % de matières sèches et à une température d'environ 10°C. Le sirop dilué et purifié est ensuite concentré jusqu'à une teneur en saccharose généralement voisine à 67 %.

X IV.1.2 le sucre inverti

L'origine du terme inverti vient du fait que toute solution de sucre (s) est optiquement active c.à.d. qu'elle dévie d'un certain angle et selon un sens précis, une lumière polarisée qui la traverse.

Cette propriété, le pouvoir rotatoire, est évaluée à l'aide d'un polarimètre et permet d'estimer la nature et / ou la proportion des sucres en solution.

Il est produit à partir d'une solution aqueuse de saccharose. Il est composé d'une proportion variable, selon le degré d'inversion, de glucose, fructose et saccharose, mais le fructose et le glucose étant toujours à part égales.

Le saccharose et glucose dévient la lumière polarisée vers la droite, le fructose provoque une forte déviation vers la gauche. Ainsi, lorsque le saccharose est pour une large part, dissocié en glucose et en fructose ;il ya inversion du sens de déviation de la lumière par la solution, d'où le terme de sucre inverti. La réaction d'inversion est influencée par l'acidité du milieu et la température, et peut être aussi accélérée ou catalysée en présence d'enzyme.

Il existe trois (3) procédés de fabrication du sucre inverti :

- l'hydrolyse acide ;
- l'hydrolyse sur résine échangeuse d'ion ;
- l'hydrolyse enzymatique.

- 1- L'hydrolyse acide : c'est le procédé le plus ancien et le plus répandu. Le pourcentage de saccharose dissocié en glucose et fructose ; ou degré d'inversion).dépend de la concentration et de la nature de l'acide, de la température du milieu (70-80°C ou plus), et du temps. Le phénomène d'inversion est arrêté par refroidissement et neutralisation.
- 2- L'hydrolyse sur résine échangeuse d'ion : on utilise dans ce cas des résines cationiques, chargés en cations fortement acides. La solution de saccharose percole à travers cette résine et le degré d'inversion varie avec le temps de séjour et la température (généralement la température basse pour éviter des colorations indésirables de sirop).
- 3- L'hydrolyse enzymatique : elle fait appel à des enzymes comme invertases, catalyseurs biologiques qui provoquent la réaction d'inversion. Elles possèdent une activité optimale à des températures situées entre 30 à 50°C et par une acidité moyenne (PH 4 à 6).

Il existe deux (2) modes d'utilisation des enzymes :

- mise en œuvre sous forme libre, qui consiste à les introduire dans le sirop de sucre et à les inactiver par chauffage, une fois le degré d'inversion atteint ;
- fixation sur un support poreux et insoluble au travers duquel percole le sirop de sucre à invertir. Le taux d'inversion est alors réglé par la vitesse de passage, déterminant le temps de contact.

Après l'étape d'inversion, la solution peut subir des étapes de purification (décoloration principalement) et de filtration. Le plus souvent, on procède également à une concentration par évaporation pour répondre aux divers besoins (70 à 80 % de matière sèches).

X IV.1.3 Importance du sucre liquide et sucre inverti en Industrie Agroalimentaire

Les principales utilisations de sucre liquide concernant actuellement l'industrie des boissons alcoolisées ou non, et le secteur des produits laitiers, en particulier les crèmes glacées. Le sucre inverti, composé d'un mélange de saccharose, glucose et fructose, possède des propriétés différentes du sucre liquide. Il présente des propriétés humectantes ou humidifiantes (humecter = rendre humide) et anticristallisantes, mises à profit en confiserie (pâtes à mâcher, pates d'amandes....). Dans les industries de biscuiterie, pâtisserie.....