

## Partie I : Technologie des céréales

### I. Introduction

#### I.1. Classification des céréales

Les céréales sont des graines alimentaires appartenant à 10 espèces végétales, les 3 les plus employés actuellement : blé, riz et maïs ; à cela s'ajoute l'orge, le seigle, avoine, le sorgho, le méteil (mélange de blé et de seigle), triticales (hybride de blé et de seigle). Les blés sont présent partout dans le monde où 2 espèces sont particulièrement cultivées : le blé dur (*Triticum durum*) c'est le blé de semoulerie par excellence ; le blé tendre (*Triticum aestivum*).

La plupart des céréales appartiennent à la famille des **Graminées** (ou **Poacées**). Ce sont : Blé tendre, Blé dur, Orge, Avoine, Seigle, Maïs, Riz, Sorgho, Millet. Les unes appartiennent à la sous-famille des **Festucoïdées** : Blé, Orge, Avoine, Seigle; les autres à la sous-famille des **Panicoïdées** : Maïs, Riz, Sorgho, Millet. Une céréale, le Sarrasin (ou blé noir), appartient à une autre famille, celle des **Polygonacées**.

#### I.2. Filière céréales et utilisation dans le monde

La production mondiale de céréales est estimée à 2 milliards de tonnes, en augmentation d'environ 800 millions de tonnes par rapport à 1970 ce qui correspond à une croissance d'environ 1,7% par an, ordre de grandeur comparable à celui de la croissance démographique mondiale. Le maïs (605 millions de tonnes), le blé (600 millions de tonnes) et le riz (600 millions de tonnes) viennent très largement en tête, représentant à eux trois 90% de ce total. La production de l'orge est de l'ordre de 150 millions de tonnes, celle du sorgho de 60 millions et celle de l'ensemble des autres céréales d'environ 100 millions. La part de certaines d'entre elles telles que l'avoine ou le seigle devient progressivement marginale. La culture du mil se maintenant cependant en Afrique. La Chine et l'ALENA (Canada, Mexique, USA) avec chacune une production de l'ordre de 450 millions de tonnes assurent plus de 40% de la production mondiale. Viennent ensuite avec 220-230 millions de tonnes chacune l'Inde et l'Union européenne. L'ANASE (pays de l'Asie du Sud-Est), l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'ex-URSS ont un niveau de production voisin compris entre 100 et 130 millions de tonnes.

La France avec une production de 65 millions de tonnes de céréales est le plus important producteur de l'Union Européenne. Ses suivants sont l'Allemagne et le Royaume-Uni.

La superficie mondiale consacrée aux céréales se situe autour de 700 millions d'hectares soit la moitié environ des superficies des terres consacrées aux cultures (classification « Arable lands » de la FAO) dans le monde. Le blé est, avec 220 millions d'hectares, la céréale la plus cultivée dans le monde. Le maïs et surtout le riz sont plus concentrés géographiquement par suite de leurs exigences climatiques. La superficie consacrée au maïs est d'environ 135 millions d'hectares et celle consacrée au riz de 140 millions. Le rendement moyen, toutes céréales confondues, s'établit autour de 2,8 tonnes par hectare avec une assez large dispersion autour de cette moyenne : environ 2 tonnes/ha pour l'orge, 2,5 tonnes/ha pour le blé, entre 3,5 et 4 tonnes/ha pour le maïs et le riz.

La progression de la production au cours des trente dernières années résulte de l'augmentation des superficies cultivées mais surtout de celle des rendements par suite des progrès techniques réalisés au cours des dernières décennies : amélioration variétale, utilisation croissante des engrais, méthodes de lutte contre les ennemis des cultures, mécanisation, irrigation, etc. La comparaison entre le rendement moyen mondial et ceux des pays les plus avancés (6 à 7 tonnes/ha) montre qu'il reste encore une large marge de progrès.

Le blé (avec plus de 100 Millions de tonnes échangées) et le maïs (environ 70 millions de tonnes échangées) font l'objet de l'essentiel du commerce international des céréales. Le riz, largement consommé dans ses aires de production, compte quant à lui pour un peu moins de 10% de ces échanges (25 millions de tonnes), au même niveau que l'orge (20 Millions de tonnes).

En Algérie du fait des habitudes alimentaires, les céréales d'hivers constituent la base de l'alimentation quotidienne. La productivité nationale est assez faible puisqu'elle ne tourne qu'autour de 08 à 10 qx/ha (unité de rendement : quantité de produit récolté/la surface cultivée) et ceci se répercute sur l'écart qui s'est creusé entre l'offre et la demande qui est énorme. La majeure partie de ces cultures se fait

dans les régions de Sidi Bel Abbés, Tiaret, Sétif et El Eulma. Ces grandes régions céréalières sont situées dans leur majorité sur les hauts plateaux. Ceux-ci sont caractérisés par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, et des gelées printanières, des vents chauds et desséchants. Malgré les efforts consentis, les rendements restent très bas. Leur faible niveau est souvent expliqué par l'influence des mauvaises conditions pédoclimatiques ; cependant, à ces conditions, nous pouvons associer entre autres, une faible maîtrise des techniques culturales.

### **I.3. Utilisation des céréales**

- **Alimentation humaine**

Le riz c'est la culture céréalière la plus importante dans le monde en développement, il constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population du globe. Parmi les céréales, la production du riz est celle qui utilise la plus forte proportion de terre. Le maïs fournit des éléments nutritifs aux humains et aux animaux et sert de matière première à l'industrie pour la fabrication de l'amidon. Les farines de céréales contiennent à côté de l'amidon des protéines de réserve insolubles dans l'eau, les prolamines et les glutenines que l'on ne trouve pas ailleurs, lorsqu'elles sont présentes en bonnes proportions, elles permettent l'obtention d'une pâte extensible (propriétés des prolamines) et élastique (propriétés des glutenines).

Seules deux céréales se prêtent à la panification : le blé et le seigle, les autres céréales ont des emplois alimentaires variés, le plus commun c'est la préparation de boissons alcoolisées, mais les usages les plus courants des céréales concernent la cuisine soit directement en grain, soit en farine, soit en amidon ou en semoule.

- **Alimentation animale**

Une grande partie de la production mondiale est destinée à l'alimentation des animaux d'élevage : pour les pays développés, 56 % de la consommation de céréales sont destinés à nourrir le bétail, 23 % dans les pays en voie de développement. Mondialement, 37 % de la production de céréales est destinée à nourrir les animaux d'élevages.

En alimentation animale, pratiquement toutes les céréales sont utilisées, même le blé traditionnellement réservé à l'homme, sous diverses formes :

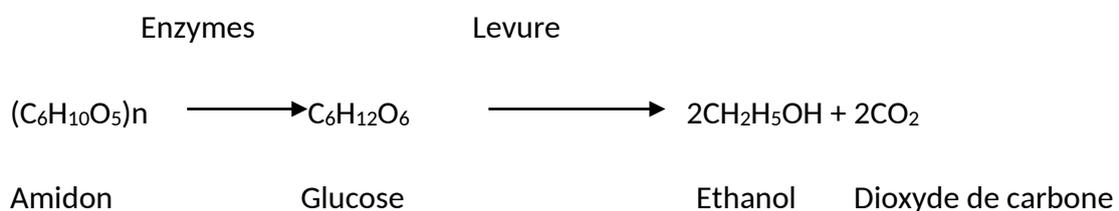
- Graines entières ;
- Plantes entières récoltées avant maturité, sous forme d'ensilage (méthode de conservation du fourrage par voie humide passant par la fermentation lactique : on obtient un fourrage acide dont l'humidité varie de 50 à 85 %) : maïs et sorgho.

- **Usages industriels**

Si le débouché principal reste l'alimentation humaine et animale, on note un développement de l'utilisation industrielle de certaines espèces (blé, maïs) : l'amidon issu de leurs grains sert de matière première (renouvelable) pour la fabrication de différents composés non-alimentaires :

- production d'alcool éthylique et de boissons alcoolisées par fermentation et distillation ;
- dérivés de l'amidon, sirops, dextrose, dextrine, polyols... issus principalement du maïs, et utilisés dans l'agro-alimentaire, la papeterie, la pharmacie et divers autres secteurs industriels ;
- les rafles de maïs (la rafle est le rachis (axe) des épis de maïs) peuvent être traités pour produire de l'éthanol, utilisable comme biocarburant.

**Exemple : production d'éthanol**



## II. Grains de céréales

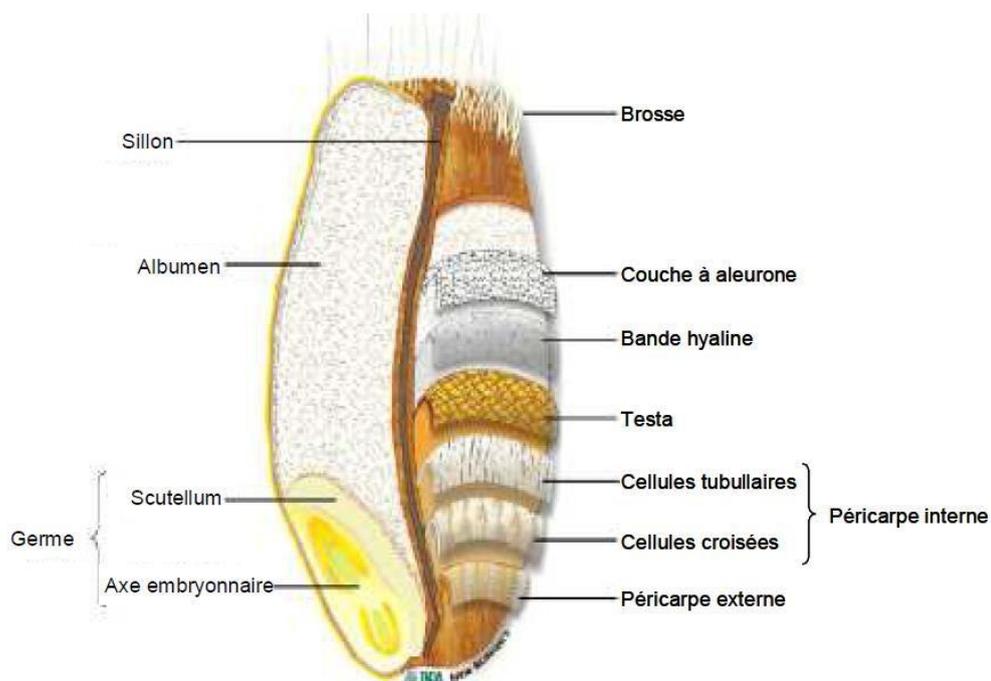
### II.1. Structure

Le grain de céréale est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (Fig.1) :

- **Les enveloppes** sont constituées de quatre tissus : le péricarpe externe, le péricarpe interne, la testa et la couche nucellaire ou bande hyaline. Ces enveloppes et la couche à aleurone sont composées principalement de polysaccharides (arabinoxylanes, xyloglucanes et cellulose) :
  - Le **péricarpe externe** d'une épaisseur de 15-30 $\mu$ m correspond à l'épiderme et est constitué de deux tissus composés de cellules mortes : l'épiderme et l'hypoderme. L'épiderme est constitué de cellules allongées mesurant 80 à 300 $\mu$ m et disposées selon l'axe embryonnaire. L'hypoderme possède la même structure que l'épiderme et lui est fortement adhérent.
  - Le **péricarpe interne** correspond à l'endocarpe et au mésocarpe, respectivement constitués de cellules tubulaires et de cellules croisées. Les cellules croisées sont perpendiculaires à l'axe longitudinal du grain tandis que les cellules tubulaires lui sont parallèles. Les cellules croisées sont de tailles variables mesurant en moyenne 150 $\mu$ m de longueur sur 20 $\mu$ m de largeur.

Le péricarpe permet d'éviter les pertes d'eau durant le développement du grain mais n'empêche pas sa pénétration. Les cellules mortes du péricarpe sont capables de retenir l'eau et d'augmenter le poids du grain de 4-5% après seulement quelques minutes d'imbibition
  - **La testa** correspond au spermodermes (enveloppe protectrice de la graine et de l'embryon). Sa face interne repose sur la cuticule (couche externe qui recouvre l'organe aérien) de la couche hyaline. Elle est constituée de deux cuticules compressées riches en lipides et composées de cellules allongées mesurant entre 120 et 190 $\mu$ m de longueur et 20 $\mu$ m de largeur qui fusionnent avec un film pigmentaire. Les axes des cellules de ces deux couches sont perpendiculaires ; l'un parallèle au sillon, l'autre perpendiculaire à celui-ci. La testa est décrite comme très hydrophobe.

- **La couche nucellaire ou bande hyaline** correspond au péricarpe (tissu issu du nucelle (l'intérieur de l'ovule) et qui fournit à l'embryon les substances nécessaires à son développement). Son épaisseur est d'environ  $20\mu\text{m}$ . Elle est constituée d'une assise cellulaire tassée due au remplissage de l'albumen amylicé et au développement de l'embryon (Fulcher et Wong, 1980). Elle est composée de cellules de taille comprise entre  $30$  et  $200\mu\text{m}$  de longueur et  $15$  à  $40\mu\text{m}$  de largeur. Cette couche est tapissée d'une fine cuticule qui la relie à la couche à aleurone aussi appelée couche du lysat nucellaire. Cette bande hyaline est très hydrophobe et semble avoir un rôle important dans la circulation de l'eau entre l'intérieur et l'extérieur de la graine. Une seule couche à aleurone entoure l'albumen amylicé chez le blé. Elle est, avec le germe, la seule partie du grain constituée de cellules vivantes. Les cellules de la couche à aleurone sont de forme polygonale et mesurent approximativement  $65\mu\text{m}$ . Elles possèdent de gros noyaux, des parois épaisses (jusqu'à  $8\mu\text{m}$ ) et sont riches en vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E) et en minéraux (P, K, Mg, Mn et Fe) La couche à aleurone par sa richesse en métabolites a un rôle nourricier et par sa structure un rôle de protection.



**Figure 1 :** Coupe histologique du grain de blé.

- **Le germe** : Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il est constitué d'une part, de l'axe embryonnaire qui donnera la tigelle, le mésocotyle (qui donne la tige au cours de la germination) et la radicule (la forme embryonnaire de la racine) et d'autre part du scutellum qui donnera le cotylédon (les feuilles primordiales). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes. Les protéines dans le germe sont des albumines et globulines et représentent environ 35% de la matière sèche.
- **L'albumen** constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids. Il correspond au tissu de réserve. L'albumen amylicé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique. Les cellules de l'albumen amylicé possèdent des parois fines et peuvent être classées en trois grands groupes :
  - Les cellules périphériques situées sous la couche à aleurone et mesurant 60µm
  - Les cellules prismatiques (les plus superficielles) situées sous les cellules périphériques qui mesurent entre 128-200µm de long et 40-60µm de large
  - Les cellules situées dans la partie centrale de l'albumen qui sont de forme arrondie ou polygonale mesurant entre 72-144µm de long et 69-120µm de large.

## II.2. Composition moyenne des grains

En considérant le grain entier de diverses céréales, on constate une grande analogie dans leur composition chimique mais aussi quelques différences :

- **L'eau** : Les grains de céréales sont des organes végétaux particulièrement déshydratés, leur teneur en eau est en moyenne de 14%, il est un facteur déterminant au cours du stockage. Il est difficile de conserver des grains ayant une humidité supérieure à 17-18%; et il est quasiment impossible au-delà de 23%. La teneur en eau des céréales la plus favorable pour l'entreposage est de 10-15%, une humidité inférieure à 9% peut être nécessaire pour un entreposage

prolongé à 20°C. L'eau conditionne la vitesse et l'intensité des réactions chimiques, enzymatiques et le développement microbien.

- Dans toutes les espèces, le grain est essentiellement **glucidique** avec 60 à 75% de glucides digestibles (amidon principalement). Les céréales apparaissent ainsi comme des aliments essentiellement énergétiques : 330 à 385 kc/ 100 g.
- Le taux de **fibres** diététiques est variable (2 à plus de 30 %). Il dépend notamment de la taille du grain, les grains de faibles dimensions (petits mils) ayant une plus grande proportion d'enveloppes.
- La teneur en **protéines** va de 6 à 18% dans les cas extrêmes mais se situe le plus souvent entre 8 et 13%. Qualitativement, ces protéines sont médiocres : l'acide aminé limitant est la lysine; dans le cas du maïs, le tryptophane présente également un grave déficit et constitue l'acide aminé limitant secondaire. La concentration des acides aminés soufrés est plus légumineuses qui se supplémentent ainsi mutuellement.
- Les **lipides** sont relativement peu abondants mais ils sont extrêmement intéressants par la forte proportion des acides gras polyinsaturés.
- Les céréales sont peu minéralisées : la teneur en phosphore est élevée, celle du calcium est faible (sauf pour l'éleusine), et ne suffit pas à neutraliser tout l'acide phytique. L'acide phytique insolubilise également Mg, Zn, Fe.
- À l'exception du maïs jaune qui contiennent des caroténoïdes actifs, les céréales n'ont pas d'activité vitaminique **A**. La vitamine **C** fait défaut également. Les germes sont riches en vitamine **E**. Les vitamines du groupe **B** sont présentes (à l'exception de la vitamine **B12**).

### II.3. Composition des différents organes

- **Les couches externes (péricarpe et tégument=testa)** sont caractérisées essentiellement par leur teneur :
  - Non négligeable en protéines (7%), lipides (2%), minéraux et vitamines du groupe B (à l'exception de la vitamine B12 absente du règne végétal) ;
  - Très élevée en fibre, rappelons que la fibre joue un rôle physiologique important en permettant la progression normale du bol alimentaire dans le

tube digestif et en favorisant certains métabolismes (cholestérol, triglycérides).

Mais elle joue aussi un autre rôle très important en diminuant la digestibilité des autres constituants de la ration, notamment les protéines.

- **La couche à aleurone** est extrêmement riche du point de vue nutritionnel. Ainsi, dans le cas du blé, bien que constituant seulement 6% du poids du grain, elle contient à elle seule :
  - 16 à 20% des protéines du grain entier
  - 31% des lipides - 58% des minéraux
  - 32% de la thiamine (vitamine B1)
  - 37-82 % des autres vitamines du groupe B.

En raison de sa concentration élevée en nutriments nobles, la couche d'aleurone est parfois appelée couche merveilleuse. Mais il faut savoir qu'elle contient aussi une quantité notable d'acide phytique (insolubilisant des protéines et des minéraux tels que Ca, Mg, Fe, Zn) et des fibres qui diminuent la digestibilité des constituants de la ration. D'un point de vue histologique, la couche d'aleurone appartient à l'albumen mais, comme elle adhère fortement aux enveloppes extérieures, elle suit ces dernières lors du décorticage pour constituer le son.

- **Le germe** est riche en minéraux, protéines, lipides et vitamines. Selon les céréales, il contient à lui seul une grande partie, parfois la plus grande partie des lipides et de la vitamine E liposoluble. Le scutellum est très riche en thiamine.
- **L'albumen** contient principalement de l'amidon enchâssé dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines. Ces deux familles protéiques, gluténines et gliadines, sont hydrolysées lors de la germination par les enzymes produites dans l'embryon et la couche à aleurone.

Elles constituent la source d'acides aminés nécessaires à la germination de la graine; ses teneurs en protéines, lipides, minéraux et vitamines sont plus faibles que celles du germe et des enveloppes. De plus, la qualité nutritionnelle de ses protéines est inférieure à celle des protéines des parties périphériques du grain.

### III. Blé

#### III.1. Classification

**Embranchement** : Spermaphytes.

**S/Embranchement** : Angiospermes.

**Classe** : Monocotylédones.

**Super ordre** : Commeliniflorales.

**Ordre** : Poales.

**Tribu** : *Triticeae*

**Famille** : *Poaceae*

**Genre** : *Triticum*

Trois groupes de blés sont connus en fonction du nombre de chromosome :

- Le groupe diploïde ( $2 \times 7$  chromosomes) (les plus anciennement cultivés)
- Le groupe tétraploïde ( $4 \times 7$  chromosomes) entre autre le blé dur
- Le groupe hexaploïde ( $6 \times 7$  chromosomes) entre autre le blé tendre

#### III.2. Protéines du grain de blé

Osborne, en 1907, a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. En 1924, il définit quatre groupes de protéines caractérisés par leur solubilité dans différents milieux:

- les albumines qui sont solubles dans l'eau ;
- les globulines qui sont solubles dans les tampons salins ;
- les gliadines qui sont solubles dans une solution d'alcool à 70% ;
- les gluténines qui sont solubles dans une base ou un acide ou des détergents en présence d'un réducteur.

Cette classification a été revue en 1986 par Shewry et collaborateurs qui ont proposé deux grandes catégories :

- les protéines métaboliques : les albumines et globulines, les amphiphiles ;
- les protéines de réserves : les gliadines et les gluténines.

### **III.2.1. Protéines métaboliques (solubles/ cytoplasmique)**

#### **a) Albumines et globulines**

Les albumines et globulines représentent 15 à 20% des protéines présentes dans la farine de blé et sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins. Ce groupe de protéines est très diversifié de par ses propriétés physicochimiques (compositions en acides aminés, poids moléculaires). Ces protéines participent à la formation du grain et à l'accumulation des réserves dans l'albumen.

#### **b) Protéines amphiphiles**

Les protéines amphiphiles représentent entre 5 et 9% des protéines présentes dans la farine de blé. Elles possèdent un pôle hydrophobe et un pôle hydrophile. Ces protéines sont solubles dans le détergent Triton X114 et sont liées aux membranes. Elles jouent un rôle important dans la qualité, notamment les puroindolines (protéine de la texture des farines) qui sont connues pour avoir un effet sur les propriétés technologiques de la pâte.

### **III.2.2. Protéines de réserves**

Les protéines de réserves font partie des prolamines et sont constituées par un mélange complexe de protéines. Ces protéines ont largement été étudiées du fait de leur relation avec la qualité technologique du blé.

Les prolamines regroupent d'une part les protéines monomériques (les gliadines) et d'autre part les protéines polymériques (les gluténines) qui sont elles mêmes constituées de deux sous groupes : les sous unités de gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) et les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM). D'une manière générale, la proportion entre ces différentes prolamines est la suivante : 40% de gliadines, 40% SG-FPM et 20% de SG-HPM.

Ces protéines ont aussi été classées selon leur composition et séquences. On distingue:

- Les prolamines riches en soufre représentent 70% des prolamines et sont constituées des gliadines de type  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et des SG-FPM.
- Les prolamines pauvres en soufre représentent entre 10 et 12% des prolamines totales et sont exclusivement constituées des gliadines de type  $\omega$ .
- Les prolamines de haut poids moléculaire représentent 20% des prolamines. Les SG-HPM peuvent être de deux types différents : x et y. Ces prolamines ont la capacité de former des structures polymériques avec les SG-FPM et certaines gliadines par l'intermédiaire de ponts disulfures. La masse du réseau polymérisé, en fonction des allèles de gluténines et gliadines, va de 600000 Da à plus de 107 Da. (dalton : unité de masse atomique =  $1,661 \cdot 10^{-24}$ g).

### III.3. Traitement préliminaire après réception des grains

- 1 **Le stockage** : Lorsque le grain a été correctement nettoyé, séché et désinfecté, il doit être maintenu dans des conditions d'humidité et de température compatibles avec une bonne conservation. Le problème principal pendant le stockage sera d'évacuer la chaleur et la vapeur résultant du métabolisme normal de l'écosystème, il pourra être nécessaire de refroidir le grain s'il y a eu un échauffement excessif ou de lui administrer un traitement insecticide supplémentaire.

Les techniques de stockage :

- a. **Stockage en atmosphère renouvelée** : l'aération est assurée soit :

- Par des transvasements périodiques de silo en silo (réservoir de stockage) (transilage) ;
  - Par une installation de ventilation disposée à l'intérieure du silo, la répartition de l'air doit être homogène, les silos doivent être bien isolés thermiquement, il faut insuffler des quantités d'air insuffisantes pour refroidir tout le volume.
- b. **Stockage en anaérobiose** : Il permet d'allonger notablement les durées de conservation en bloquant les métabolismes respiratoires des grains, des micro-organismes et des insectes. Il y a deux technologies permettant d'obtenir l'anaérobiose :
- ✓ **Stockage sous atmosphère confinée** : Il s'agit d'une conservation conduite dans un silo étanche dont l'atmosphère s'appauvrit en  $O_2$  et s'enrichit en  $CO_2$  du fait de la respiration de l'écosystème ;
  - ✓ **Stockage en atmosphère modifiée** : L'anaérobiose est immédiatement imposée soit par mise sous vide, soit par saturation de l'atmosphère par  $CO_2$  ou  $N_2$ .

#### À la meunerie :

- 2 **Réception du blé** : Après réception au magasin de blé du moulin, le blé est conservé à des boisseaux (récipient cylindrique) à blé sale, les différents blés arrivant au magasin sont mélangés dans ces boisseaux afin de fabriquer par la suite une farine bien équilibrée et de qualité.
- 3 **La pesée** : A la sortie de ces boisseaux, le blé est pesé au moyen d'une bascule automatique, la benne de cette bascule peut contenir 5 à 100 kg de blé et se remplit et se vide alternativement. Un compteur automatique permet d'enregistrer la quantité de blé sale destinée à la mouture, ce qui nous permet de faire calcul de taux d'extraction et de connaître le taux d'impuretés par différence avec les résultats enregistrés à la deuxième bascule après nettoyage. Le blé pesé est dirigé vers la première machine de nettoyage (séparateur-

aspirateur). Le but principal de cet appareil est d'enlever la poussière à 90% et éliminer les autres impuretés à 70-80%.

4 **Le nettoyage** : Le nettoyage des grains venant d'être récoltés permet, en éliminant d'une manière générale tous les éléments indésirables, d'améliorer la conservation ultérieure. L'appareil séparateur-aspirateur est constitué de trois types de tamis légèrement inclinés et mise au mouvement de va et vient ou de vibration et de secousse. Le blé est traité par une forte aspiration à l'entrée et à la sortie de la machine.

- Le premier tamis (tamis de réception à grosses perforations) laisse passer très rapidement le blé et retire les déchets les plus gros.
- Le deuxième tamis (tamis principal à perforations plus étroites) laisse traverser le blé mais retire les déchets légèrement plus gros.
- Le troisième tamis (tamis à sable), dont les pores sont inférieurs à la taille du blé, retire celui-ci mais laisse passer les grains de sable et les grains de blé cassés.

Le nettoyage des locaux de stockage est une excellente mesure préventive qui évite la contamination des lots sains. Les parois des silos, les appareils de transport et les locaux annexes devraient être régulièrement nettoyés et désinfectés.

5 **Le magnétique** : À la sortie du séparateur-aspirateur, le blé passe par un dispositif appelé « magnétique », ceci soit un aimant ou un électro-aimant. Il retire du blé les corps métalliques qui seraient passé avec celui-ci à travers les tamis des séparateurs.

6 **Le séchage** : Pratiquement obligatoire avec certains grains récoltés humides. Dans la pratique industrielle moderne, il est effectué dans des séchoirs continus ou discontinus à contre courant.

7 **Le triage** : A pour but d'enlever du blé les impuretés qui ont le même diamètre de celui-ci mais de longueur différente, soit plus courte tel que les grains ronds,

vesces, nielles ; soit plus long tel que les grains d'avoine et d'orge. Il y a deux types de trieurs : à grain long et à grain rond. Le trieur est constitué par un cylindre en tôle portant sa surface intérieure des alvéoles dont la forme et la taille varient avec le genre de triage à effectuer. Il fonctionne légèrement incliné et tourne plus ou moins lentement ce qui permet le déplacement des grains qui restent au fond du cylindre.

8 **Le brossage** : Le but est d'enlever les poussières qui se trouvent dans la brosse du blé et dans le sillon et d'éliminer les couches externes de l'enveloppe. Cette opération est réalisée par des brosses à blé.

9 **Nettoyage humide (lavage)** : Son but est d'éliminer toutes les poussières et les impuretés plus lourdes et plus légères que les grains de blés. Il permet aussi d'enlever la poussière qui se trouve dans le sillon et qui n'a pas été enlevée par l'opération de brossage. Le lavage est effectué grâce à une laveuse-essoreuse qui est composée de deux parties : Un bac de lavage ; Une colonneessoreuse. Le blé est déversé dans le bac de laveuse et brassé dans l'eau par une vis d'Archimède (utilisé pour pomper l'eau = rotor qui transfère l'eau par mouvement hélicoïdale), les pierres et le sable plus lourds tombent au fond du bac, ils sont évacués sous forme de boue. Par contre, les déchets légers flottent en surface, ils sont donc éliminés à la sortie de la laveuse. Le blé passe dans l'essoreuse par un système de batteur, il est remonté au sommet de l'essoreuse, une force centrifuge évacue ainsi une grande partie de l'eau superficielle qui mouille les grains.

10 **Conditionnement** : Cette opération répond à un double objectif :

- Assouplir l'écorce (enveloppe) du grain et faire en sorte que son humidité soit légèrement supérieure à celle de l'amande en vue de faciliter leur séparation ;
- Amener l'amande farineuse dans un état physique tel que sa réduction en farine fine soit obtenue le plus rapidement possible.

Dans le plus simple des cas, on conditionne avec de l'eau normale et pendant une période strictement fixée à 24 à 36 heures avec une humidité de 18% : c'est le

conditionnement froid ou passif. Dans les moulins excipe de conditionneur, le grain est soumis à l'action de la chaleur (condition chaude). En conditionnement optimum, l'enveloppe a une humidité légèrement supérieure à celle de l'amande, elle devient élastique et pendant le broyage, elle se sépare facilement sous forme de lambeaux. L'amande par contre devient plus fragile ce qui permet de diminuer la demande d'énergie pour le broyage et de raccourcir le temps de la mouture. Le conditionnement peut avoir lieu dans des boisseaux de repos ou dans des conditionneurs-sécheurs.

## 11 Mouture du blé

### A. Principes de la mouture

- Broyer progressivement le grain de telle sorte que les enveloppes de celui-ci seront les moins brisés (cassé) possibles.
- Nettoyer la face interne de ces enveloppes en essayant au maximum de garder leur intégrité (telle qu'elle est);
- Assurer progressivement la réduction des semoules plus ou moins vêtues provenant du broyage en évitant au maximum celles des enveloppes présent sur ces produits

Au cours de la mouture, deux sortes de produits granulés sont obtenus : « série blanche » et « série bise ». Le produit de la série blanche contient plus d'éléments de l'amande que des enveloppes ; par contre celui de la série bise contient plus de fragments de l'enveloppe que d'amande.

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

$T.E = \text{Poids de la farine extraite} / 100g \text{ de blé mise en œuvre.}$

### B. Différentes phases de la mouture

- ✓ **Broyage** : C'est la première opération de la mouture et a pour but d'écraser les grains et les fractions contenant plus d'enveloppe que d'amande. Il est réalisé par des cylindres cannelés.

- ✓ **Claquage** (transformation en particules plus petites) **et convertissage** (passage des particules dans différents cylindres lisses pour obtenir des produits fins jusqu'à la farine): Se sont les deux phases de réduction des produits provenant du broyage. Ils sont destinés à réduire les particules de la série blanche. Les claqueurs et les convertisseurs sont des appareils à cylindres lisses.
- ✓ **Sassage**: C'est une opération intermédiaire entre le broyage et la première phase de réduction des produits de claquage. Son but est de purifier et classer les produits allant au claquage.
- ✓ **Curage du son** (le son est le résidu obtenu après séparation de la farine) : C'est une opération qui consiste à réduire au maximum la quantité de l'amande adhérant à la face interne des enveloppes (grâce à des brosses à son).
- ✓ **Blutage** (séparation de la farine du son): C'est une opération qui, après chaque passage dans un appareil à cylindre, classe les produits broyés selon différentes tailles. Ce qui passe à travers le tamis constitue l'extraction et ce qui reste sur le tamis constitue le refus. L'appareil le plus souvent utilisé dans cette opération est le « Plansichter ». Ces derniers sont généralement constitués de deux grandes caisses comprenant chacune sur le plan vertical un, deux ou trois compartiments sur lesquels se trouve 10 à 12 tamis superposés, chaque compartiment représente un dispositif de blutage indépendant de celui-ci de compartiment voisin ce qui permet d'envoyer simultanément des produits différents sur le même appareil.
- ✓ **Séchage** : Terme vocabulaire meunier désignant une partie spéciale du blutage qui consiste à finir de séparer d'un produit la farine qui se trouve mélangé à lui.

### C. différents produits de la mouture

- **La farine** : c'est le principal produit de la mouture de particules très fines de l'amande de grains et résultant de la réduction de celle-ci.

- **Les semoules** : morceaux d'amande plus ou moins vêtus d'enveloppe de grosseur variable, il y a les grosses semoules et fines semoules dites propres ou vêtus.
- **Les finots** : semoules très fines et très pures qui provient des passages de broyage.
- **Les gruaux** : produits analogues aux finots produites lors de la réduction des semoules en tête de claquage et de convertissage.
- **Les issues** : produites finis autres que la farine, on distingue :
  - Les sons** : constitués par les enveloppes du grain et une certaine partie de l'amande adhérente à la phase interne de ces enveloppes, selon leur taille on a les gros sons et les sons fins.
  - Les remoulages** : comprennent un mélange d'enveloppes plus ou moins finement broyé et d'amande farineuse. Il y a : Les remoulages bis qui sont les plus gros, ils constituent sur le diagramme le refus final du claquage. Les remoulages blancs qui sont les plus fins et riches en farine qui représentent l'issu recueilli en fin de convertissage.
- **Les farines basses** : de couleur bise, trop piquées, correspondant aux farines obtenues en faible quantité à la fin du claquage et convertissage. Suivant le taux d'extraction désiré, ces farines peuvent être extraites à part.

#### IV. Industries du Maïs

##### VI.1. Classification et composition

**Famille:** Poaceae

**Sous-famille:** Panicoideae

**Espèce :** *Zea mays* (Les variétés sont des sub-espèces)

La composition chimique du grain de maïs et sa valeur nutritive lui confèrent une bonne position parmi les céréales entrant dans la catégorie « agroalimentaire » (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Composition chimique des principales parties des grains de maïs.

<b>Composant chimique</b>	<b>Péricarpe (%)</b>	<b>Albumen (%)</b>	<b>Germe (%)</b>
<b>Protéines</b>	3,7	8,0	18,4
<b>Extrait à l'éther</b>	1,0	0,8	33,2
<b>Fibres brutes</b>	86,7	2,7	8,8
<b>Cendres</b>	0,8	0,3	10,5
<b>Amidon</b>	7,3	87,6	8,3
<b>Sucre</b>	0,34	0,62	10,8

**Remarque :** Le maïs est exigeant pour le sol, l'eau et la chaleur (En dessous de 10 °C, il n'y a pas de germination des graines). Le maïs aime les sols profonds, frais, assez légers, bien drainés, fertiles et riches en matière organique.

## **VI.2. Transformation**

Le maïs transformé entre dans la constitution de très nombreux produits alimentaires. L'amidonnerie est le processus industriel visant à extraire l'amidon de produits végétaux, dont les grains de maïs.

Les grains de maïs sont transformés en denrées alimentaires et produits industriels de valeur au moyen de deux procédés, la mouture sèche et la mouture humide.

- **La mouture sèche**

Les produits dérivés sont assez nombreux, leur variété dépendant dans une grande mesure de la taille des particules. Ils sont classés en hominy (gros fragments d'amande), grits (fragments moyens), semoules et farines de maïs, obtenus au moyen de tamis de calibre 3,5 à 60. Leur composition chimique a été bien établie et leurs nombreux usages comprennent la brasserie, la fabrication des aliments coupe-faim et des céréales pour le petit-déjeuner, et bien d'autres.

- **La mouture humide**

Dans les pays développés, comme les Etats-Unis, la plus grande partie du maïs est transformée par mouture humide pour fournir l'amidon et autres sous produits de valeur, tels que le gluten de maïs et les farines et aliments pour animaux.

## V. Riz

### VII.1. Généralités

Le riz appartient à la famille des Poacées.

Les espèces qui sont cultivées le plus souvent dans des champs plus ou moins inondés appelés rizières sont:

- *Oryza sativa* (appelé couramment « riz asiatique »)
- *Oryza glaberrima* (appelé couramment « riz ouest-africain »)

Le grain de riz consiste en une enveloppe protectrice appelée la balle (ou glumelle) et en un fruit ou caryopse.

À partir de sa récolte, le riz peut être commercialisé à plusieurs stades de transformation :

- Le riz paddy : qui désigne le riz sur pied dans la rizière) est à l'état brut, c'est un « riz non décortiqué », qui a conservé sa balle après battage.
- Le riz cargo, ou riz complet, ou riz brun, est le « riz décortiqué » dont seule la balle du riz a été enlevée, mais dont le son et le germe sont toujours présents.
- Le riz blanc, ou riz usiné, ou riz blanchi, dont le péricarpe et le germe ont été enlevés.
- Le riz étuvé, souvent appelé riz incollable, est un riz blanc, ou riz cargo, soumis à un traitement thermique avant commercialisation pour éviter que les grains ne collent entre eux.

La classification usuelle du riz, suivant la taille de ses grains est la suivante :

- Le riz long grain, dont les grains doivent mesurer au minimum 7 à 8 mm et sont plutôt fins. À la cuisson, les grains gonflent peu, leur forme est préservée et ils ne s'agglutinent quasiment pas.
- Le riz à grain médium, ou grain moyen, dont les grains sont plus larges que le riz long grain (le rapport entre longueur et largeur oscille entre 2 et 3) et qui atteignent une longueur comprise entre 5 et 6 millimètres. Le plus souvent, ce type de riz est légèrement plus collant que le riz long.
- Le riz à grain court, riz rond, ou riz à grain ovale. Les grains mesurent généralement 4 à 5 mm de long pour 2,5 mm de large. Ils collent souvent entre eux.

## VII.2. Transformation du riz

### VII.2.1. Transformation primaire

- **Le battage** : Il consiste à séparer les graines de la paille. Il doit être réalisé avec précaution afin de ne pas endommager les graines.
- **Le vannage** : permet l'élimination des grains immatures ou détériorés et les impuretés (insectes, grains d'adventices, débris végétaux, pierres...).
- **Le séchage (naturel après battage ou artificiel)**: Après la récolte, le grain de riz est encore humide. Il doit être séché dans le souci d'assurer sa

bonne conservation. Une exposition trop prolongée à une source de chaleur, occasionne le clivage des grains.

### VII.2.2. Transformation secondaire

- **Le décortilage (du riz paddy au riz cargo = complet)** : cette étape commence par un nettoyage puis les grains de paddy passent sur deux rouleaux en caoutchouc tournant en sens inverse l'un par rapport à l'autre afin de retirer la glumelle (enveloppe externe du grain).
- **Le blanchiment (riz blanc)**: Le riz cargo est blanchi par abrasion (l'élimination du son et du germe). L'abrasion se fait à l'aide de machines munies de pierres rotatives, qui tournent et râpent la partie périphérique de la céréale. Au fur et à mesure des trois ou quatre passages, le riz va devenir définitivement blanc.
- **Etuvage (riz étuvé)**: est un procédé hydro-thermique qui dure 24 heures. La couleur du grain devient jaune car la vapeur fait migrer les pigments de l'enveloppe vers l'intérieur du grain. Le produit est ensuite séché pour être décortiqué, usiné et conservé. Cette transformation conduit à la gélatinisation de l'amidon ce qui confère au produit une élasticité et une texture, éventuellement de l'enrichir en minéraux par migration depuis le péricarpe pendant l'étuvage et de le rendre moins attaquant par les parasites car il est plus dur.

### VII.3. Qualité culinaire du riz

- **Le pouvoir gonflant** : une augmentation du volume du riz après la cuisson. En effet, le gonflement du riz est apprécié par son volume après cuisson ; pour une même quantité de riz crû et pour une même préparation, un riz qui occupe plus de volume dans l'assiette est plus apprécié par rapport à un riz occupant un volume moindre.
- **La texture** : Le riz présente différents aspects après cuisson. Mais l'aspect recherché par les consommateurs enquêtés est l'aspect non

collant des grains. La texture du riz après cuisson dépend de la méthode de traitement du paddy (méthode de transformation). La teneur en eau du riz cargo est un des indices qui ont un effet sur la texture, En effet, lorsque le riz cargo n'est pas bien sec à la cuisson il présente un aspect pâteux et le rend non désirer par les consommateurs. L'aspect pâteux du riz résulte aussi de la non gélatinisation complète de l'amidon lors de l'étuvage.

- **Le goût** : C'est un facteur organoleptique d'appréciation de la qualité du riz. Le critère goût est un facteur socio-culturel important qui dépend des habitudes alimentaires du consommateur. Pour être désiré par le consommateur, le riz doit avoir un bon goût.
- **La durée de cuisson** : C'est un critère évoqué par les consommateurs pour faire allusion au temps que met le riz cru avant de cuir complètement. Les consommateurs recherchent un riz qui se cuit vite car l'allongement de la durée de cuisson augmente les dépenses en énergie