

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des Sciences Agronomiques**



## **Mémoire de fin de cycle**

En vue de l'obtention de diplôme de Master en Sciences Agronomiques  
**Option : Management de la Qualité Totale et Sécurité des Aliments**

### **Thème**

**Essai de valorisation de la farine de blé dur par son  
incorporation dans la fabrication des pâtes alimentaires**

Réalisée par : **M<sup>elle</sup> OUHADDA HAYET**

Soutenu le 10 .07. 2016 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	Mr AMROUCHE T.	Maitre de conférences à l'U.M.M.T.O.
<b>Examineurs :</b>	M <sup>me</sup> HELLAL Z.	Maitre assistante à l'U.M.M.T.O.
	Mr SADOUDI R.	Maitre de conférences à l'U.M.M.T.O.
<b>Invité d'honneur:</b>	M <sup>elle</sup> MAHMOUDI R.	Ingénieure au laboratoire de la SARL MIS.
<b>Promotrice :</b>	M <sup>elle</sup> LAMMI S.	Maitre assistante à l'U.M.M.T.O.

Promotion 2015-2016

## **Remerciements**

*Présenter mes remerciements est pour moi un plaisir et un devoir d'exprimer mon haute gratitude à toute personne ayant contribué chacune à sa manière à la réalisation de ce travail ;*

*En premier lieu je remercie le bon Dieu qui m'a donnée le courage, la patience et la force jusqu'à pouvoir mener la graine au fruit.*

*A ma promotrice M<sup>elle</sup> LAMMI S., maitre assistante au département d'agronomie à l'UMMTO d'avoir acceptée de m'encadrer, ainsi pour sa confiance et ses précieux conseils, sa disponibilité constante, et ses orientations vers les bonnes voies de recherche.*

*A Mr AMROUCHE T., maitre de conférences à l'UMMTO pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant le jury.*

*Je remercie infiniment les membres de jury qui ont bien voulu examiner ce travail à savoir :*

*M<sup>me</sup> HELLAL Z., maitre assistante à l'UMMTO*

*Mr SADOUDI R., maitre de conférences à l'UMMTO*

*A Mr METNA B., Maitre-assistant à l'UMMTO pour son aide précieuse et aussi pour sa gentillesse.*

*A M<sup>elle</sup> AKLI H., pour toute l'aide qu'elle m'a apportée.*

*A Mr ZEGGANE T., gérant de la SARL MIS, ainsi le co-gérant. A tout le personnel de cette unité surtout Lamia, Nacera, Tarek.*

*A M<sup>elle</sup> MAHMOUDI R., ingénieur au laboratoire de la SARL MIS, de m'avoir aidée, guidée et conseillée.*

*A M<sup>me</sup> ZAIDI, la directrice du CEM HADDAD de DBK.*

*A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.*

*A toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

*HAYET* 

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A l'être le plus cher à mon cœur, à celle qui ma guidée pour faire mes premiers pas, et qui m'a appris le premier mot, à celle qui fut toujours à mes côtés, qui a illuminé mes nuits sombres et a ensoleillé mes jours avec son inépuisable affection, à ma chère mère, source de tendresse et d'amour, qui m'a tout donnée et pour les sacrifices qu'elle a consenti pour mon instruction. J'espère qu'un jour je serais capable de lui donner au moins le minimum car quoiqu'on fasse on arrivera jamais à lui rendre tout, que dieu te garde et te protège, et t'accorde une longue vie pleine de santé et bonheur.*

*A mon père pour ses soutiens moraux et matériels tout au long de mes études.*

*A mes chers frères et sœurs, neveux et nièces.*

*A ma chère amie, sœur, copine de cœur, ma confidente, ma conseillère, la personne la plus compréhensive et la plus merveilleuse au monde "Sarah".*

*A mes amis(es) et tous ce qui m'aiment, et ceux que j'aime.*

**HAYET**

## Liste des abréviations

$\alpha$  : alpha

$\beta$  : beta

$\gamma$  : gamma

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

°C : degré Celsius

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**DA** : Dinars Algériens

**ECHAU** : Echaudage

**FAO** : *Food Agriculture Organisation*

**J-C** : Jésus-Christ

**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne

**ha** : hectares

**h** : heures

**INRA** : Institut Nationale de Recherche Agronomique

**g** : grammes

**G** : Gonflement

**GH**: Gluten Humide

**GS**: Gluten Sec

**Kcal** : kilocalories

**kg** : kilogrammes

**kg/hl** : kilogrammes à hectolitres

**L** : litre

**ms** : matière sèche

**m<sup>2</sup>** : mètre en carré

**min** : minutes

**ml** : millilitres

**mm** : millimètres

**Mha** : millions hectares

**MQ** : Millions Quintaux

**MT** : Millions Tonnes

**MIS** : Moulin Industrielles de Sebaou

**MIT** : mitadinage

**MOU** : moucheture

**NACL** : chlorure de sodium

**PC** : perte à la cuisson

**PHL** : Poids à l'Hectolitre

**PMG** : Poids de Mille Grains

**PS** : Poids Spécifique

**SARL** : Société à Responsabilités limitées

**SDS** : SodiumDiodecyl Sulfate

**SF**: Semoule Fine

**SSSF (3SF)** : Semoule Sassée Super Fine

**T** : Temps de cuisson

**TA** : Taux d'affleurement

**TC** : Taux de cendres

**Tr** : Tours

**UN. AFPA** : Associations de Fabrication des pâtes alimentaires de l'Union Européen

**µm** : micromètre

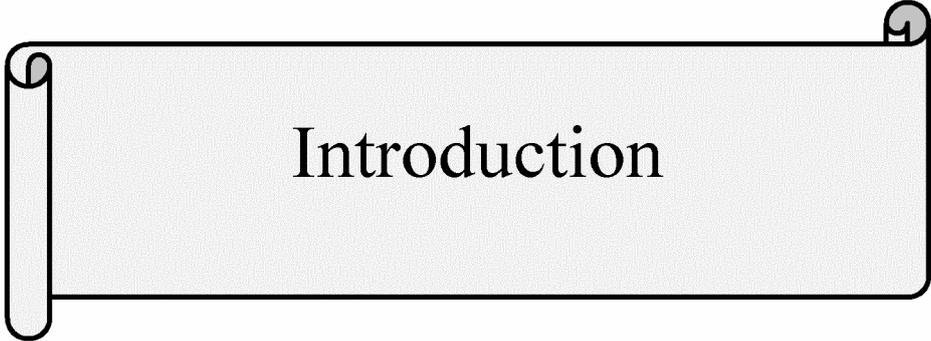
**%** : pourcentage

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Structure du grain de blé.....	5
<b>Figure 02</b> : Unité semoulerie/minoterie.....	36
<b>Figure 03</b> : Unité des pâtes alimentaires et couscous.....	36
<b>Figure 04</b> : Le pétrissage.....	45
<b>Figure 05</b> : Extraction de la pâte .....	46
<b>Figure 06</b> : Laminage de la pâte.....	46
<b>Figure 07</b> : Dépôt de la pâte sur tamis.....	47
<b>Figure 08</b> : Histogramme de la granulométrie de la 3SF.....	55
<b>Figure 09</b> : Histogramme de la granulométrie de la SF.....	56
<b>Figure 10</b> : Histogramme de la granulométrie des coupages (SF et 3SF).....	57
<b>Figure 11</b> : Histogramme de la teneur moyenne en eau de la SF et 3SF.....	58
<b>Figure 12</b> : Histogramme de la teneur moyenne en eau des coupages.....	59
<b>Figure 13</b> : Histogramme de taux moyen des cendres de la SF et 3SF.....	60
<b>Figure 14</b> : Histogramme de taux des cendres des coupages.....	61
<b>Figure 15</b> : Histogramme de taux moyen de GH et GS de la SF et 3SF.....	62
<b>Figure 16</b> : Histogramme de taux moyen de GH et GS des coupages (SF et 3SF).....	64
<b>Figure 17</b> : Histogramme de la moyenne du volume SDS de la SF et 3SF.....	65
<b>Figure 18</b> : Histogramme de test SDS des coupages (SF et 3SF).....	66
<b>Figure 19</b> : Photo illustrant la différence de couleur des pâtes issues des différents coupages de semoule et farine de blé dur .....	69
<b>Figure 20</b> : Photo illustrant l'état de surface des pâtes cuites.....	74

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Distribution des principaux constituants du grain de blé .....	6
<b>Tableau 02</b> : Production de blé dans le monde par grandes zones et principaux pays.....	10
<b>Tableau 03</b> : Les principales wilayas d'Algérie productrices de blé dur.....	11
<b>Tableau 04</b> : Principales machines de nettoyage des blés avant broyage.....	14
<b>Tableau 05</b> : Composition biochimique de la semoule.....	17
<b>Tableau 06</b> : Classification des semoules en fonction de sa granulométrie.....	19
<b>Tableau 07</b> : Spécifications techniques de la semoule de blé dur .....	19
<b>Tableau 08</b> : Récapitulatif de la composition physico-chimique de la 3SF.....	23
<b>Tableau 09</b> : Production des pâtes alimentaires en tonnes/an.....	31
<b>Tableau 10</b> : Consommation des pâtes alimentaires dans le monde.....	32
<b>Tableau 11</b> : Différentes analyses effectuées sur le grain du blé.....	50
<b>Tableau 12</b> : Normes de poids de mille grains.....	51
<b>Tableau 13</b> : Classement des blés en fonction de degré de mitadinage.....	52
<b>Tableau 14</b> : Récapitulation des analyses effectuées sur les pâtes préparées.....	67
<b>Tableau 15</b> : Analyse de la variance de l'humidité.....	75
<b>Tableau 16</b> : Analyse de la variance pour le taux de cendres.....	75
<b>Tableau 17</b> : Analyse de la variance pour le temps de cuisson.....	76
<b>Tableau 18</b> : Analyse de la variance pour le gonflement des pâtes.....	77
<b>Tableau 19</b> : Analyses de la variance pour les pertes lors de la cuisson.....	78

A horizontal scroll with a light gray textured background and a black outline. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges showing a slight curve. The word "Introduction" is written in a black serif font in the center of the scroll.

Introduction

La nature offre plus de 300 000 espèces végétales et pourtant, trois céréales (blé, riz et maïs) représentent à elles seules 75 % de la consommation céréalière mondiale. Ces dernières ont toujours été la base de l'alimentation humaine depuis des temps lointains où, de grandes civilisations se sont développées autour de ces denrées (DJELTI, 2013).

Le blé constitue l'une des cultures clés de l'agriculture mondiale ; qu'il soit tendre ou dur, il occupe une partie importante dans la ration alimentaire pour une large population dans le monde, notamment algérienne ; ce qui explique sa place au sommet de la pyramide des transactions commerciales des graminées dans le marché mondial (DJELTI, 2013).

Cependant, l'évolution de certains nombres de facteurs tels que : l'accroissement démographique, l'indisponibilité ou l'insuffisance des produits céréaliers, ont poussé l'Algérie à l'importation ; pour pouvoir répondre aux besoins de la population et donc assurer la sécurité alimentaire.

Contrairement au blé tendre qui est utilisé en panification ; le froment dur : grâce à la taille de son grain, de son albumen vitreux et sa couleur jaune, est apte à donner des semoules pendant la mouture, utilisées dans la fabrication de pâtes alimentaires et couscous.

La transformation de blé dur en semoule (produit noble), engendre une production inévitable d'un sous-produit dénommé « 3SF » ou « farine de blé dur », à des pourcentages variant entre 8 et 9%.

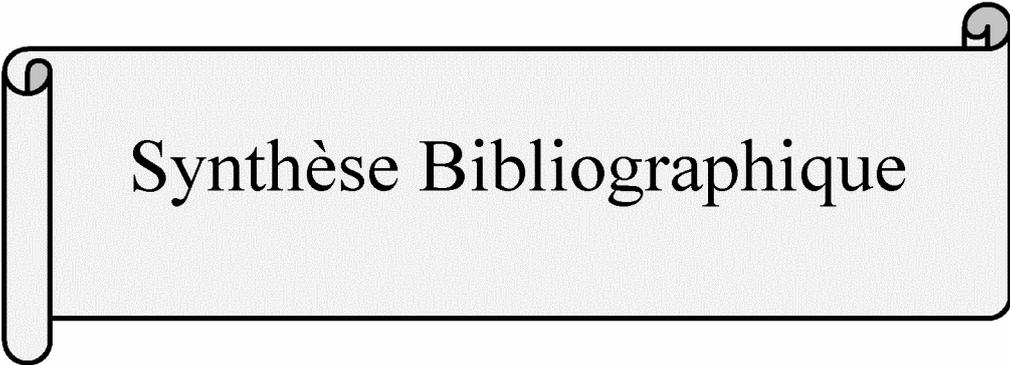
De plus, la connaissance des constituants de cette farine, révèle sa richesse en amidon et en protéines. Ces dernières, sont certainement les plus importantes sur le plan fonctionnel et nutritionnel. Leurs propriétés permettent d'obtenir un vaste choix d'aliments. Par ailleurs, le gluten présent permet l'élaboration de produits de type pâteux, plus ou moins élastiques et la production de différentes sortes de pains, de biscuits ou de pâtes alimentaires (FRANCONIE *et al.*, 2010).

Actuellement, cette farine est utilisée comme base dans l'alimentation du bétail ; puisqu'elle présente un intérêt économique et nutritionnel non négligeable. Par conséquent, une orientation de ce sous-produit en pastification, serait idéale afin de trouver d'une part, une débouchée et d'autre part, son faible coût permet de commercialiser une pâte alimentaire à un prix plus réduit que celui de la semoule ordinaire, d'où la réduction de la facture de blé dur à l'importation.

L'évolution de la consommation des pâtes alimentaires en Algérie au cours de ces dernières années, a été estimée par le ministère de l'agriculture à 53000 tonnes, soit 4kg/an/habitant et celle-ci, est en constante augmentation du fait de la diversification de leurs formes, leurs couleurs et leur facilité de préparation ; mais aussi et surtout, du fait de leur coût très raisonnable. Cette augmentation montre en effet, l'intérêt de produire des variétés alliant à la fois une bonne qualité organoleptique et technologique (PETITOT *et al.*, 2009).

L'Algérie qui comptait diminuer coûte que coûte sa forte dépendance du marché mondial, en adoptant un certain nombre de mesures pour développer la céréaliculture et encourager les agriculteurs de la filière, a certes fait des progrès sur le plan de la quantité mais en a-t-elle fait sur le plan de la qualité ?

C'est à cet axe que s'est intéressée notre étude, par sa contribution d'une part, à la valorisation d'un sous-produit de la première transformation du grain de blé dur « la farine de blé dur » en optimisant son utilisation en industrie pastière, par coupage avec une semoule fine ; et d'autre part, évaluer la qualité des produits de deuxième transformation « les pâtes alimentaires » préparées, à travers différentes analyses.



Synthèse Bibliographique

## **1. Généralités sur le blé dur**



## **1. Le blé dur**

### **1.1. Généralités sur le blé dur**

Le blé fait partie des trois grandes céréales avec le maïs et le riz, c'est une plante alimentaire dont la culture est très répandue à travers le monde. Du point de vue botanique, le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des poacées ou graminées, dont le grain est un fruit sec indéhiscence appelé caryopse, constitué d'une graine et des téguments (FEILLET, 2000).

A la semoulerie, les graines de blé dur sont broyées en semoules grâce à son amande dur, celles-ci servent à la fabrication des pâtes alimentaires et couscous (CLARKE *et al.*, 2005).

### **1.2. Historique du blé**

La culture de céréales a permis l'essor des grandes civilisations, car elle a constitué l'une des premières activités agricoles. En effet, il y a plus de trois millions d'années, l'homme préhistorique était nomade, pratiquait la chasse et la cueillette des fruits pour assurer sa nourriture. Le nomadisme a progressivement laissé la place à la sédentarité qui permit la culture des céréales. Le blé est l'une des céréales connue depuis l'Antiquité. Sa culture remontée au mésolithique vers 7000 avant Jésus-Christ (RUEL, 2006). Le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (FELDMAN, 2001).

C'est en l'an 300 avant J-C, que les premiers procédés de panification ont été élaborés par les Egyptiens, qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. L'homme sait alors produire sa propre nourriture ; en même temps, celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et c'est ainsi, qu'apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce aux Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandant l'usage à travers l'Europe. A la fin de XVIII siècle, le blé est exporté en Amérique du Nord par les Anglais et est rapidement adopté par les civilisations présentes, comme matière première de base pour la fabrication du pain, en raison de sa composition en gluten supérieure aux autres céréales. À travers les siècles et les générations, le grain de blé a conservé toutes ses valeurs et reste un élément essentiel à notre alimentation. Aujourd'hui, le blé fait partie de notre quotidien, présent dans de nombreuses compositions (YVES et BUYER, 2000).

### **1.3. Importance du blé dur**

#### **1.3.1. Importance alimentaire**

Les blés constituent la première ressource alimentaire de l'humanité et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. La presque totalité de la nutrition des populations mondiales est fournie par les aliments en grain, dont 95 % sont produits par les principales cultures céréalières (BONJEAN et PICARD, 1991).

#### **1.3.2. Importance économique**

Le blé dur représente environ 8 % des superficies cultivées en blés dans le monde, dont 70% sont localisées dans les pays du bassin méditerranéen. La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord ; sont en effet, parmi les principaux producteurs (MONNEVEUX, 2002).

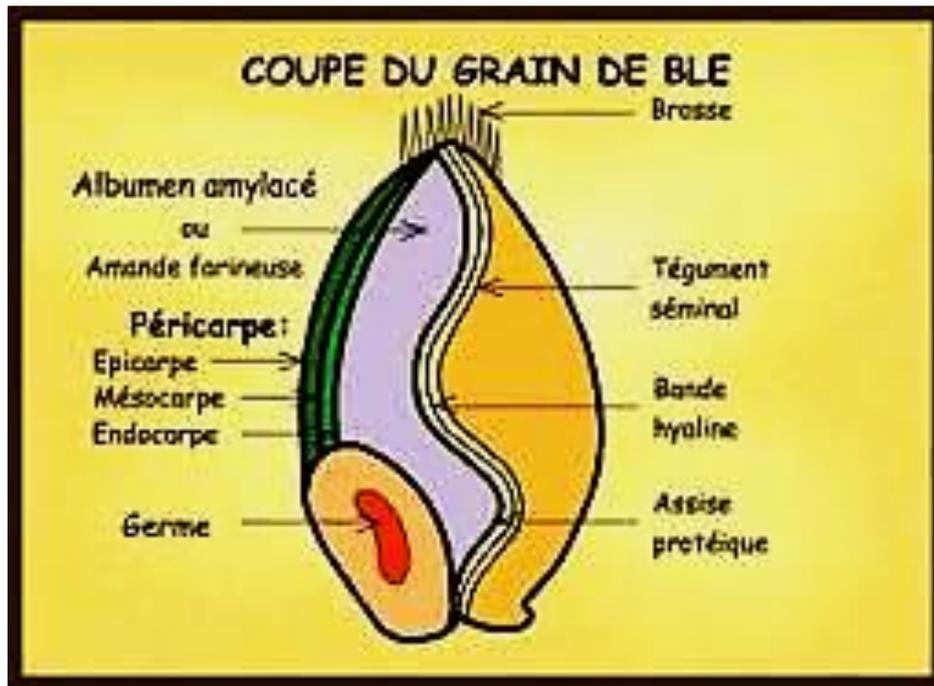
Par ailleurs, le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne ; en 2012, la production a atteint un taux de 51,2 MQ contre une production mondiale de 690 MT sur une superficie de 1785000 ha destinée à la culture de blé, d'un total de 3 Mha réservée à la céréaliculture (CIC, 2008).

### **1.4. Composition histologique du grain de blé**

Un grain de blé est formé de trois compartiments (**Figure 1**).

- **Enveloppes** : représentent 14 à 15 % du poids total du grain ; formées de couches histologiques superposées de l'extérieur vers l'intérieur. Son rôle est la protection de la graine au cours de sa formation dans l'épi et limite aussi l'entrée des moisissures et des bactéries ; par contre, elles permettent le passage de l'air et l'eau, elles sont formées de six tissus (épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa, des cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe) (CALVEL, 1984).
- **L'albumen (endosperme ou amande)** : 80-85 %, constitue presque tout l'intérieur du grain. Se compose principalement d'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersées au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses sont peu visibles), et de la couche à aleurone (FEILLET, 2000).

- **Germe (embryon) :** Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2,5 à 3 % du grain de blé. Le germe comprend deux parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destiné à la plantule), qui contient l'essentiel de matières grasses. Enfin, le germe est riche en vitamine B1, B6 (BARRON et SURGET, 2005).



**Figure 1 :** Structure du grain de blé (BARRON et SURGET, 2005).

### 1.5. Composition biochimique du grain de blé

La connaissance de la composition du grain de blé donne une idée sur sa valeur nutritionnelle et technologique (**Tableau 1**). Ce dernier est constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15 %) et de pentosanes (8 à 10 %). Les autres constituants pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont : les lipides, les sucres libres, les minéraux et les vitamines. Tous ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain (FEILLET, 2000).

**Tableau 1** : Distribution des principaux constituants du grain de blé (FEILLET, 2000).

Constituants % de la masse du grain	Protéines (%)	Matières minérales (%)	Lipides (%)	Matières cellulosique (%)	Pentosanes (%)	Amidon (%)
<b>Péricarpe (4 %)</b>	7-8	3-5	1	25-30	35-43	0
<b>Tégument (1 %)</b>	15-20	10-15	3-5	30-35	25-30	0
<b>Reste de nucelle</b>	30-35	6-15	7-8	6	30-35	10
<b>Assise protéique</b>	30-35	6-15	7-8	6	30-35	10
<b>Germe</b>	35-40	5-6	1-5	1	20	20
<b>Albumen (82-85%)</b>	0	8-13	0,35-0,60	1	0,53	70-85

**1.5.1. Amidon:** l'amidon est la forme de réserve énergétique spécifique au règne végétal, où il est le constituant majeur des grains de céréales, les légumes secs, des racines et des tubercules (GODON, 1991). C'est le principal constituant du grain de blé et de l'albumen amylicé, il est formé d'un mélange de deux polysaccharides, l'amylose (20 à 30 %) et l'amylopectine (70 à 80 %), ainsi que de composés lipidiques (0,1 à 0,6 %) (SASAKI *et al.*, 2000).

**1.5.2. Protéines :** deuxième constituant du blé (8 à 18 %), ont un rôle fonctionnel et nutritionnel très importants dans les produits céréaliers. Elles sont représentées par deux grandes familles : les protéines globulaires (albumines et globulines) qui représentent 25 % de protéines totales du grain et se concentrent essentiellement dans les enveloppes, la couche à aleurone, et le germe ; ce dernier (gliadines et glutenines) qui représente 75 % des protéines totales et se localise surtout dans l'endosperme amylicé (HOSNEY, 1986). La composition en protéines du grain est dépendante des facteurs environnementaux et l'interaction des facteurs génétiques avec ceux-ci (ZHU et KHAN, 2001).

**1.5.2.1. Les protéines solubles (albumines et globulines) :** également appelées protéines cytoplasmiques ou métaboliques. Les albumines et globulines représentent 15-20 % des protéines totales. Elles participent à la formation des grains et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (VANDEL *et al.*, 2005). Elles sont présentes dans l'embryon et dans l'endosperme (MACRITICHE, 1984).

### **1.5.2.2. Les protéines de réserves (gliadines et glutenines)**

**Gluten** : le gluten est un élément de qualité du blé. C'est l'ensemble des glutenines et gliadines associées à d'autres constituants (glucides, lipides, matières minérales), il rassemble 75-80 % de protéines de réserve.

Il est responsable de l'élasticité, la cohésion, l'extensibilité et la ténacité des pâtes sous ses propriétés rhéologiques. Le gluten est un facteur primordial pour la détermination de la qualité fonctionnelle de la semoule (FEILLET, 2000). Il contribue à la force de la pâte et à l'élaboration des réticulations par le biais de ses fractions glutenines (MESSABIHI, 2008).

Depuis les travaux d'OSBORNE en 1907, les protéines du blé sont classiquement réparties en quatre classes en fonction de leur solubilité :

- Les albumines, solubles dans l'eau ;
- Les globulines, solubles dans les solutions salines neutres ;
- Les gliadines, solubles dans les alcools dilués (éthanol, 70 %) ;
- Les gluténines, protéines résiduelles insolubles dans les solvants précédents, partiellement solubles dans les solutions acides diluées et dans l'urée et solubilisées en présence de détergents et de réducteurs.

**1.5.3. Lipides** : ils se retrouvent principalement dans le germe. Les acides gras sont essentiellement des acides gras insaturés (75-80%) : acide linoléique (55-60%), acide oléique (16-18 %) et acide linoléique (4-5 %) ; la teneur en acides gras saturés est comprise entre 20 et 25 %. Les deux tiers de ces lipides sont libres, alors que les autres sont liés aux différents constituants de la farine (glucides, protides) (FEILLET, 2000).

Les lipides sont des constituants mineurs du blé, ils représentent 2 à 3 % du grain sec (ADRIAN, 1987). Pour cela, le germe est éliminé de la semoule afin d'éviter le vieillissement qui sera accéléré à cause de l'évolution des lipides riches en acides gras insaturés (GRANDVOINNET et PRATY, 1994).

**1.5.4. Les pentosanes** : sont des polysaccharides non amylacés. Ce sont aussi les constituants des parois cellulaires associés généralement à la cellulose. Les pentosanes sont formés par l'union des deux pentoses, D-xylose et L- arabinose par l'élimination d'une molécule d'eau, ils représentent 6 à 8 % du poids des glucides du grain (FEILLET, 2000).

**1.5.5. Eau** : le pourcentage en eau du blé varie selon la variété du blé et le temps de récolte. Il est d'environ 13,5 %, ce pourcentage à deux effets différents ; il permet d'une part, une aptitude de stockage à long terme et inhibe d'autre part le développement de microorganismes notamment les moisissures (FREDOT, 2005).

**1.5.6. Minéraux** : la teneur en matière minérale du grain est d'environ 1,8 % ; ces matières se distribuent à l'intérieur du grain de la manière suivante (ABECASSIS, 1987) :

- 5 à 8 % dans les enveloppes ;
- 10 % dans la couche à aleurone ;
- 0,5 % à 1 % dans l'albumen amylicé ;

Le grain de blé est riche en phosphate, potassium, magnésium et oligoéléments (fer, manganèse, zinc) et pauvre en calcium, chlore et sodium (COLAS, 1997). Selon GODON et WILM (1991), ces teneurs sont relativement fixes, quelles que soient les conditions externes dans lesquelles la céréale a été cultivée.

**1.5.7. Les vitamines** : le blé contient essentiellement la vitamine PP (niacine) et E (tocophérols). Les vitamines B1 (thiamine), B2 (riboflavine) et B6 (pyridoxine) sont présentes, mais en plus faible proportion (GODON et WILM, 1991).

**1.5.8. Enzymes** : elles sont présentes en petites quantités dans le grain et la semoule (BOUDREAU et MENARD, 1992). Selon FEILLET (2000), les enzymes se répartissent dans les différentes régions histologiques du grain. On distingue deux familles :

- La famille des hydrolases (enzymes amylolytiques, les protéases et les lipases) ;
- La famille des oxydoréductases (les catalases, les polyphénol-oxydases et les peroxydases).

**1.5.9. Les pigments** : les pigments présents dans le grain de blé sont principalement des caroténoïdes, essentiellement des xanthophylles et des carotènes ( $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  carotène) ; ce sont des pigments liposolubles. Selon FRANCONIE *et al.*, (2010), ils sont responsables de la couleur jaune recherchée dans les semoules et les pâtes alimentaires.

**1.5.10. Fibres** : selon JEANTEL *et al.*, (2007), ce sont des polysaccharides non amylicés indigestibles par l'homme. Ces les principaux constituants des parois de l'albumen (70 à 80%), elles représentent 6 à 8 % du grain et 2 à 3 % de la semoule. Elles se divisent en deux

grandes familles selon leur solubilité : les fibres à structure cristalline, insolubles dans l'eau, et les fibres non cristallines, solubles dans l'eau (la cellulose, les  $\beta$ -glucanes, les pentosanes).

### **1.6. Valeur technologique (semoulière et pastière) du blé dur**

Le terme valeur technologique regroupe l'ensemble des caractéristiques des blés durs, qui peuvent être subdivisées en valeur semoulière et valeur pastière (ABECASSIS *et al.*, 1997).

- La valeur semoulière : est l'aptitude d'un blé dur à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée.
- Valeur pastière : l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires, dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs.

### **1.7. Accidents de blé dur**

#### **➤ La germination**

Se rencontre dans les lots provenant de récoltes ayant reçu des pluies abondantes au moment de leur stade de végétation, au cours de la moisson ou au cours de leur conservation en meules mal abritées. Ils se caractérisent par une boursouffure du germe ou un développement plus ou moins accru de l'embryon, et par une augmentation de l'activité amylasique qui dégrade l'amidon en sucre simple, une forte activité amylasique peut rendre un lot de blé inutilisable pour les panifications, pâte collante difficile à travailler et le pain prend trop de coloration à la cuisson (DJELTI, 2013).

#### **➤ L'échaudage**

Est un accident climatique de végétation auquel sont exposées les céréales et la vigne (BOURGEOIS, 2003).

Selon SOLTNER (2005), l'augmentation de poids du grain de blé durant la période de remplissage « période critique », provient uniquement de l'augmentation de la matière sèche, car la teneur en eau à ce stade reste stable. Cette matière sèche vient surtout de la migration des réserves de feuilles et des tiges et cela nécessite une circulation d'eau dans la plante, si faible soit elle. Du coup, les températures trop fortes au cours des stades physiologiques dessèchent la plante, rendant impossible cette migration vers le grain. Celui-ci sera échaudé et apparaîtra alors ridé et de faible poids spécifique.

Les grains échaudés sont rabougris, rides, déformés par la perte de substances. Ils ont une incidence négative sur le rendement en mouture, du fait de leur élimination lors de nettoyage (FEILLET, 2000).

➤ **Le mitadinage**

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent sur les grains de blé dur, qui survient lorsque la plante souffre d'une carence en nitrates pendant le développement du grain. Il provoque un changement de texture de l'albumen qui est normalement translucide et vitreuse devient, en partie ou en totalité, opaque et farineux (DEXTER et EDWARDS, 1998).

Sur le plan technologique, les blés durs mitadinés entraînent une baisse du rendement semoulier. En effet, leur amande étant plus friable que celle des blés vitreux, ils ont tendance à se désagréger en farine au lieu d'éclater en semoules (DEXTER et EDWARDS, 1998).

**1.8. Production et consommation de blé dur dans le monde et en Algérie**

D'après les dernières prévisions de la FAO (2015), la production céréalière mondiale serait de 2540 millions de tonnes en 2015; soit 13,8 millions de tonnes de plus que prévu en juillet, mais toujours 21 millions de tonnes (soit 0,8 %) en deçà des chiffres records enregistrés en 2014. La production mondiale de blé en 2015 s'élève à 719 millions de tonnes, soit 10 millions de tonnes (1,2 %) de moins que le record de 2014 (**Tableau 2**).

**Tableau 2** : Production de blé dans le monde par grandes zones et principaux pays  
(En millions de tonnes) (FAO, 2015).

	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Europe	136,0	146,4	154,8
Union européen	131,6	142,2	149,8
Nord et centre Amérique	92,2	98,9	91,7
Sud Amérique	17,1	19,9	26,9
Proche orient	38,6	41,2	39,6
Extrême orient	247,5	247,6	252,3
Afrique	23,4	26,1	26,0
Océanie	22,9	27,3	26,8

Pour ce qui est de la consommation alimentaire de céréales, celle-ci devrait se monter à 1117 millions de tonnes, soit une augmentation de 1,3 % par rapport à 2014-2015, en phase avec le rythme de la croissance démographique mondiale. La quantité de blé destinée à la consommation humaine serait de 492 millions de tonnes en 2015-2016, soit une hausse de près de 1 % par rapport à 2014-2015.

Les prévisions de la FAO concernant les stocks mondiaux de blé pour 2016 devraient atteindre 202 millions de tonnes, soit 4 millions de plus que ce qui avait été prévu en juillet, pour un total légèrement plus important que celui de la campagne passée. De ce fait, le rapport stock-utilisation pour le blé au niveau mondial devrait lui aussi connaître une augmentation, passant de 27,9 % en 2014-2015 à 28,3 % en 2015-2016, qui correspond à son niveau le plus haut des quatre dernières années.

Selon l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (2015), l'Algérie a produit 40 millions de quintaux de céréales durant la campagne moissons-battages 2014-2015 ; contre 35 millions lors de la saison précédente, soit une hausse de 14,3 %. La récolte de blé dur a atteint 1,8 millions de tonnes en 2014, et a reculé de 21 % en raison des précipitations insuffisantes en certains endroits du pays. Sa consommation en l'an 2015 a même été estimée à 178kg/an/habitant.

**Tableau 3** : Les principales wilayas d'Algérie productrices de blé dur pendant la campagne céréalière 2014/2015 (Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et de la Pêche, 2015).

Wilaya	Production (Quintaux)
TIARET	1.770 600
GUELMA	1 376 199
AIN TEMOUCHENT	1 083 557
AIN DEFLA	1 000 981
BOUIRA	999 798
MILA	990 842
SOUK AHRAS	941 684
MEDEA	641 655
RELIZANE	887 079
CONSTANTINE	824 179
CHLEF	753 100
TLEMCEN	713 500
SETIF	682 730
B.B ARRERIDJ	602 000

## **1.9. Contraintes à la production de blé dur**

Sous les conditions de production des principales zones céréalières algériennes, notamment celles des hauts plateaux ; les performances de rendement de la culture de blé dur sont essentiellement limitées par l'action des stress aussi bien de nature biotiques qu'abiotiques. La variation des rendements, d'une année à une autre, et d'un lieu à l'autre, a pour origine la sensibilité du matériel végétal aux effets combinés des basses températures hivernales, de gel printanier, du stress hydrique et des hautes températures de fin de cycle de la culture (MEKHLOUF *et al.*, 2006 ; CHENAFFI *et al.*, 2006 ; BENMAHAMMED *et al.*, 2010).

Le manque d'eau ou déficit hydrique, représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture de blé dur fait face dans les conditions de production des zones arides et semi-arides (CHENAFFI *et al.*, 2006). Ce stress se traduit par une série de modifications qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (MEFTI *et al.*, 2000). Ceci se répercute sur le rendement économique de la culture, qui peut baisser de plus de 80% (CHENNAFI *et al.*, 2006). En effet, le déficit hydrique au stade montaison se traduit par la chute du nombre d'épis produit par m<sup>2</sup>, suite à la régression intense des talles et la baisse du nombre de grains par épi. Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et la durée de remplissage (ABBASSENNE *et al.*, 1998 ; BOUTHIBA *et al.*, 2010).

La baisse de fertilité des épis est due aux dégâts de gel au cours des stades végétatifs allant de la montaison à l'épiaison, surtout chez les variétés précoces (MAZOUZ, 2006). GATE (1995), mentionne qu'une seule journée, à une température minimale inférieure à -4°C entre les stades épi-1cm et un nœud, pénalise le nombre de grains par épi. Pour minimiser la baisse du rendement en grains liée aux effets du gel tardif, la tolérance aux basses températures est recherchée (MAKHLOUF *et al.*, 2006). Les hautes températures sont parmi les facteurs importants intervenants dans la limitation des rendements (BAHLOULI *et al.*, 2005). Les températures supérieures à 30°C, réduisent le poids final du grain, elles affectent aussi les organes floraux, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (MAZOUZ, 2006).

## **2. Les produits de la première transformation de blé dur**

A l'issue de la mouture du grain de blé dur, trois principaux produits sont obtenus : semoule, semoule super sassée fine « SSSF ou 3SF », les sons (FEILLET, 2000).

### **2.1. La semoule**

#### **2.1.1. Définition**

La semoule est définie comme étant le produit obtenu à partir des grains de blé dur (*Triticum durum*), par un procédé de mouture au cours duquel, le son et le germe sont essentiellement éliminés et le reste est broyé à un degré de finesse adéquat (AFNOR, 1991).

La semoule est un produit noble de l'industrie du grain de blé dur, dont la taille granulométrique est comprise entre 150 à 500µm (ABECASSIS *et al.*, 1997).

D'après le Journal Officiel Algérien (JORA, 2007), les semoules de blé dur sont les produits obtenus à partir des grains de blé dur nettoyés et industriellement purs.

#### **2.1.2. La technologie de transformation de blé dur en semoule**

L'art de la meunerie est d'isoler l'albumen amylicé du grain exempt des parties périphériques (enveloppes et couche à aleurone) et du germe, avec les meilleurs rendements possible et à moindre coût, tout en maîtrisant les propriétés d'utilisation des produits obtenus (FEILLET, 2000).

Quelques soit le type du blé considéré, le procédé de mouture implique les mêmes opérations unitaires : après nettoyage et préparation des grains, l'albumen amylicé est récupéré par broyage, tamisage et sassage (ABECASSIS, 1991).

**2.1.2.1. Nettoyage** : les lots de blé réceptionnés doivent être nettoyés et préparés avant de passer en mouture. L'élimination des principales impuretés est basée sur leurs caractéristiques physiques (JEANTET *et al.*, 2007); les principales machines de nettoyage sont énumérées dans le (**Tableau 4**) .

Cette opération a comme principaux objectifs (MULTON, 1992) :

- Enlever les grains noirs et colorés pour limiter le nombre de piqures ;
- Enlever toutes les pierres de manière à éviter la présence de débris minéraux dans les semoules ;

- Eliminer les graines toxiques et nuisibles ;
- Réduire le nombre de contaminations microbiennes ;
- Enlever les insectes et les fragments d'insectes.

**Tableau 4** : Principales machines de nettoyage des blés avant broyage (FEILLET, 2000)

Type de machine	Principe physique	Impuretés éliminées
Aimant	Champ magnétique	Métaux
Aspirateur	Densité et résistance à l'air	Pailles, glumes
Nettoyeur-aspirateur, trieur	Forme et dimension	Grosses et petites impuretés
Epierreur	Densité	Pierres
Brosse, lavage	Nettoyage en surface	Poussières adhérentes
Table densimétrique	Densité	Pierres, blés ergotés
Toboggan	Force centrifuge	Petits grains
Trieur de couleur	Couleur	Grains avariés

### 2.1.2.2. Préparation du blé à la mouture

Cette opération répond à un double objectif :

- En premier lieu, elle va assouplir l'écorce du grain et faire en sorte que son humidité soit légèrement supérieure à celle de l'amande. De ce fait, la séparation de l'écorce du grain de l'amande sera facilitée.
- En deuxième lieu, il s'agit d'amener l'amande farineuse dans un état physique tel que sa transformation sera obtenue de la manière la plus rapidement possible. Cette préparation du blé à la mouture se compose de plusieurs étapes :

**a. Le mouillage « humidification du grain »** : au départ, le grain de blé possède une teneur en eau égale à 11 ou 12 %. Le grain est humidifié jusqu'à 16 ou 17 %. Cette action se fait simplement par addition d'une certaine quantité d'eau au blé (DOMANDJI *et al.*, 2000).

La quantité d'eau à ajouter (E ml) est en fonction de l'humidité initiale du blé (Hi en %), de l'humidité finale (Hf) et de la masse de blé à mouiller (M), selon la formule suivante (GODON, 1991) :

$$E \text{ (ml)} = \frac{M}{1000} + \frac{Hf - Hi}{100 - Hf}$$

Différentes machines sont proposées pour mouiller les grains : les laveuses-essoreuses, mouilleurs à godets, les pulvérisateurs (FEILLET, 2000).

**b. Le conditionnement** ou « **temps de repos** » : cette opération a pour but de permettre à l'eau de pénétrer dans le grain et de bien se répartir dans l'amande farineuse. Cette opération peut avoir lieu dans « les boisseaux de repos » ou dans « des conditionneurs sécheurs ». Le temps de séjour du blé dans ces boisseaux est de 18 à 36 heures. A la sortie du conditionnement, le blé doit subir un repos de l'ordre de 4 à 8 heures (DOMANDJI *et al.*, 2000).

**c. Mouture** : elle se résume à des opérations de réduction et séparation du blé et ses fractions. L'objectif, étant aussi de séparer au mieux l'albumen amylicé (amande) sans contamination par les parties périphériques des grains (enveloppes et couche à aleurone) et par le germe (JEANTET *et al.*, 2007).

La mouture est une opération centrale de la transformation des blés en semoules. Elle repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires : une opération de fragmentation ou dissociation des grains et une opération de séparation des constituants. La première permet de dissocier l'amande et les enveloppes (broyage), de fractionner les semoules vêtues (désagrégation), la seconde assure la séparation de sons et des enveloppes sur la base de leur granulométrie (division par tamisage) et de leur propriétés aérodynamique (épuration des semoules par sassage) (FEILLET, 2000).

- **Broyage** : est une opération qui permet d'ouvrir mécaniquement le grain, par cisaillement, choc ou compression et de détacher plus en moins complètement l'amande qui se brise alors que les enveloppes, plus élastiques, résistants (FEILLET, 2000). La réduction du blé se fait par compression entre deux cylindres métalliques cannelés tournant en sens inverse et à des vitesses différentes (DOMANDJI *et al.*, 2000) ; plus on descend dans la ligne du broyage, plus les cannelures des cylindres deviennent fines et rapprochées (BEROT et GODON, 1991).
- **Tamisage** : après les opérations précédentes, toutes les parties des grains restent en mélange. Il convient donc de les séparer par tamisage suivant leur nature ou leur granulométrie. Mais les traitements seront différents dans l'un ou l'autre cas.

**d. Blutage** : c'est la séparation selon la granulométrie (BEROT et GODON, 1991). Elle permet de séparer les produits en provenance des cylindres lisses et cannelés en fonction de leur granulométrie. L'opération est réalisée dans des planchisters, appareils formés d'un assemblage de tamis superposés et soumis à un mouvement rotatif et de vas et vient permanent sous l'action d'un moteur excentrique (FEILLET, 2000).

**e. Sassage** : c'est la séparation selon la nature, dans ce cas des caractéristiques physiques autre que la granulométrie vont être utilisées, conjointement ou non avec elle, pour séparer les particules de nature différentes. La caractéristique la plus utilisée est la densité, en général reliée à la composition des particules. Les sasseurs sont constitués d'un tamis horizontal oscillant dans son plan et traversé par un courant d'air ascendant. En le parcourant, les particules les plus légères sont entraînées vers la partie haute de l'appareil ou elles sont recueillies. Les particules les plus lourdes restent sur le tamis : selon leur granulométrie, elles le traversent ou non. Le tamis peut aussi être constitué de zones possédant des grosseurs de mailles différentes. Toutes les fractions ainsi séparées sont recueillies à part (BEROT et GODON, 1991).

**f. Stockage et conditionnement** : la semoule et la farine de blé dur doivent être emballées dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit. Les récipients, y compris les matériaux d'emballage, doivent être fabriqués avec des matériaux sans danger et convenant à l'usage auquel ils sont destinés. Ils ne doivent transmettre au produit aucune substance toxique, ni aucune odeur ou saveur indésirable. Lorsque le produit est emballé dans des sacs, ceux-ci doivent être propres, robustes et solidement cousus ou scellés et doivent être emmagasinés à l'abri de la chaleur et de l'humidité, qui inhibent le développement de moisissures pouvant altérer la qualité de ces produits (MULTON, 1992).

### **2.1.3. Composition biochimique de la semoule**

Les semoules issues de l'endosperme amylicé (albumen), jouent un rôle déterminant dans la fabrication des produits à base de blé dur. Elles contiennent en ordre d'importance : l'amidon, quatre classes de protéines, des lipides, des sels minéraux et des enzymes (**Tableau 5**). La composition biochimique de la semoule dépend du taux d'extraction et revêt une grande importance pour les pastiers qui préfèrent la semoule issue de blé dur sain et vitreux, de granulométrie homogène (200 à 400  $\mu\text{m}$ ), de couleur uniforme, un gluten court et résistant et un minimum de piqures (BOUDREAU et MATSUA, 1992).

**Tableau 5** : Composition biochimique de la semoule (BOUDREAU et MATSUA, 1992).

<b>Composantes</b>	<b>Taux en %</b>
<u>Amidon</u>	60-80
✓ Amylose	20-30
✓ Amylopectine	70-80
Pentosanes	7-8
<u>Protéines</u>	8-16
✓ Solubles (albumine et globuline)	15-20
✓ insolubles (protéines de gluten)	80 – 85
<u>Lipides</u>	1-2
✓ Lipides libres	60
✓ Lipides liées	40
<u>Matières minérales</u>	0,87-1,20
✓ Potassium	0,45
✓ Phosphore	0,3
✓ Magnésium	0,14
<u>Vitamines</u>	8,64
✓ B <sub>1</sub>	0,52
✓ B <sub>2</sub>	0,12
✓ Pp	6
✓ E	2

#### **2.1.4. Caractéristiques des semoules**

La qualité technologique des semoules, pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. Ces deux caractéristiques sont influencées par la composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, elles même liées à l'origine histologique des produits (GODON et WILLM, 1991).

La coloration jaune reste une caractéristique essentiellement variétale. Elle est peu influencée par les conditions de mouture car la répartition des pigments caroténoïdes et lipoxygénases responsables de la couleur est la même dans tout le grain (LAIGNELET *et al.*, 1972). Les pâtes alimentaires issues de semoule très pure, provenant du centre de l'albumen, possèdent de bonnes propriétés rhéologiques (en particulier l'élasticité) mais ont tendance à se déliter si la cuisson se prolonge. Inversement les produits les plus périphériques (grau D) fournissent des produits qui manquent d'élasticité mais qui peuvent conserver un remarquable état de surface même après cuisson prolongée et en dépit d'importantes pertes à la cuisson.

DEXTER et MATSUA (1980), constatent que la taille des particules de semoule ne semble pas exercer d'influence ni sur la couleur ni sur la qualité culinaire des pâtes alimentaires. Par contre, MANSER (1980), a montré que des semoules ayant une granulométrie inférieure à 350µm sont plus faciles à transformer en pâtes alimentaires. Elles donnent des produits finis homogènes, translucides de « première qualité ».

Les semoules de blés durs doivent être emballées dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques, et organoleptiques de produit. Celles ne répondant pas à ces spécifications sont, soit déclassées dans l'une des catégories inférieures, soit réorientées vers une autre destination (JORA, 2007).

### **2.1.5. Classification et usage des semoules**

Il existe plusieurs sortes de semoules commercialisées qui se distinguent suivant leurs granulométries (**Tableau 6**), et leur pureté (BOUKHAMIA, 2003) :

- Les semoules « potage » : ce sont les plus grosses, elles sont destinées à servir d'adjuvant pour les potages, d'où leurs noms, mais elles servent également comme semoule de couscous.
- Les semoules de « fabrication » : si les semoules proviennent de la partie de l'amande périphérique, leurs taux de cendre sera plus élevé (1,5 %), elles seront donc moins pures et seront appelées semoules de qualité courantes, si elles sont extraites de l'amande assez loin de la périphérie (taux de cendre de 0,8 %), elles seront de qualité supérieure.

En Algérie, les différentes catégories de semoule sont classées en fonction de leurs grosseurs :

- **Semoule Grosse (SG)** : la dimension des particules est comprise entre 900µm à 1100µm, destinées à des usages domestiques.
- **Semoule Grosse Moyenne (SGM)** : sa dimension est comprise entre 550µm et 900µm, destinée à la fabrication des galettes et couscous.
- **Semoules Sassées Super-Extra (SSSE)** : sa dimension est comprise entre 190µm à 550µm, destinées à la fabrication des pâtes alimentaires.
- **Semoules Sassées Super Fines (SSSF)** : de 140µm à 190µm, ces semoules proviennent des couches périphériques du grain.

**Tableau 6** : Classification des semoules en fonction de la granulométrie  
(JEANTET *et al.*, 2007).

Classes	Ouverture du tamis (µm)
Semoules grosses	> 530
Semoules moyennes	250 à 530
Semoules fines	140 à 250
Farines	< 140

D’après JORA (2007), les semoules de blé dur mises à la consommation sont classées comme suit :

- Semoule courante de blé dur.
- Semoule extra de blé dur.

Les spécifications techniques sont rapportées dans le (**Tableau 7**).

**Tableau 7** : Spécifications techniques de semoules de blé dur mises à la consommation  
(JORA, 2007).

Désignation des produits	Taux de cendres (%)	Taux d’acidité (G /100g H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Taux d’humidité maximum (%)
Semoule courante	1,3 maximum	0,08 ms maximum	14,5
Semoule extra	1 maximum	0,065 ms maximum	14,5

## **2.2. Farine de blé dur**

### **2.2.1. Définition**

Selon le *Codex alimentarius* (1995), la farine de blé dur (*Triticum durum*), est un produit amylicé et glutineux, issu de la mouture industrielle fine des grains de blé dur industriellement purs et nettoyés.

Selon ABECASSIS (1991), La farine de blé dur, appelée aussi « gruau D » est considéré d'un point de vue règlementaire, un sous-produit de la mouture de froment dur, qui est caractérisé par une granulométrie inférieure à 180 µm.

### **2.2.2. Origine**

Dans une semoulerie, la transformation de blé dur a pour objectif de produire de la semoule. Néanmoins, une faible quantité de la farine de blé dur, est extraite et qui est considérée comme un sous-produit de mouture (ABECASSIS, 1987).

Selon MIRAD (1985), la production de la farine de blé dur est d'autant plus importante en cas :

- D'un blé fortement mitadiné ;
- Une mauvaise conduite de la mouture (serrage excessif des appareils à cylindres, dépassement de durée optimale de conditionnement de blé).
- Mauvais réglage des appareils à cylindres ;
- Diagramme très court.

Sa provenance est irrégulière, elle peut provenir de l'amande (action de broyeurs) ou d'enveloppes (action brutale des désagrégeurs) (MIRAD, 1985).

### **2.2.3. Composition biochimique**

**a. L'eau :** la teneur en eau de la farine de blé dur est d'importance capitale sur le plan conservation (et donc le plan économique). Une 3SF de 15,5 % d'humidité est considérée humide et ne peut pas être stockée, car elle est facilement altérable (BOUGHAZI, 1990).

La norme *Codex alimentarius* exige des teneurs en eau de farine de blé dur qui ne dépassent pas 14,5 %.

**b. Les matières minérales :** la répartition des matières minérales entre les constituants des différentes parties du grain est sensiblement différente (WILLM et FOURRE, 1998). En effet, l'albumen de blé dur contient environ 50 % de la totalité des matières minérales du grain contre 25 % pour le blé tendre (COLAS, 1997), par conséquent les produits de mouture issues de blé dur sont plus riches en cendres (ABECASSIS et FEILLET, 1985).

BOYACIOGLU et DAPPOLONIA (1994), montrent que le taux de cendres est remarquablement élevé dans les farines de blé dur (supérieur à 1,4 %).

### **c. Les glucides**

- **l'amidon :** est la principale substance glucidique de réserve (BULEON *et al.*, 1990). La farine de blé dur représente environ 70 à 80 % d'amidon. C'est le polymère le plus important des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosité, et fixateur d'eau (FEILLET, 2000).

D'après BOYACIOGLU et DAPPOLONIA (1994), la 3SF contient plus d'amidon endommagé, cette teneur élevée est due à la dureté et à la structure vitreuse du blé dur, qui requiert plus d'énergie pour être écrasé.

Selon HOLM (1985), les farines de blé dur contiennent d'avantage de sucre (2,8 à 3 %) que les farines de blé tendre, qui ne renferment qu'à peu près de 1,5 à 2 %.

Cette richesse en sucres des farines de blé dur est attribuée aux taux élevés d'amidon endommagé qu'elles renferment (BOYACIOGLU et DAPPOLONIA, 1994).

- **L'amidon endommagé :** ce sont des granules d'amidon ayant perdu leur intégrité au cours des différentes étapes de la mouture (FEILLET, 2000).

D'après WILM (1995), l'endommagement au cours de la mouture est lié à la dureté de grain.

Les facteurs qui influent l'endommagement de l'amidon sont :

- La teneur en eau des blés à la mouture ;
- Le type et la sévérité du broyage ;
- Le type de blé.

BOYACIOGLU et DAPPOLONIA (1994), ont montré que le taux d'amidon endommagé des farines est variable (7 à 15 %). Les farines de blé dur contiennent un taux d'amidon

endommagé plus élevé que celui des farines de blé tendre, tandis que les semoules en contiennent très peu (5 à 6 %).

Selon POMERANZ (1983), le rôle de l'amidon endommagé est très important en panification et pastification, puisque l'absorption d'eau de la pâte est influencé par le pourcentage d'amidon endommagé et évoque l'importance de celui-ci dans la production de sucre utilisable par la levure en fermentation, qui soit moins élevée en cas d'amidon intact.

En effet, un taux normal lui confère une consistance et détermine ses capacités d'hydratation, mais un taux très élevé entrainerait une surhydratation de par conséquent une détérioration de la qualité (FERRAND, 1972).

- **Sucres simples** : selon TOEPFEREW *et al.*, (1972), le taux de sucres de la farine de blé dur est plus élevé (2,8 à 3 %) que celle de la farine de blé tendre (1,5 à 2 %), ce qui a été confirmé par la suite par BOYACUIGLU et DAPPOLONIA (1994), qui estiment le taux à 3 % pour la farine de blé dur et à 2,5% pour celle de blé tendre.

**d. Les protéines** : les protéines sont les seconds constituants pondéraux des farines après l'amidon, présentent une teneur qui varie entre 9 et 15 % pour les farines de blé dur et sont dépendantes des conditions agro-climatiques et variétales (FEILLET, 2000). La teneur en protéines est un critère important dans l'appréciation de la qualité des farines (ITCF, 2001).

**e. Les lipides** : la quantité de lipides présente est influencée par l'origine génétique et le taux d'extraction. Selon ABECASSIS (1987), pour un même niveau d'extraction, les farines de blé dur sont plus riches en lipides que les semoules.

Selon OUKMOUM (2001), les farines de blé dur contiennent 1,5 à 2 % des lipides dont 60% sont liés et 40 % sont des lipides libres.

**f. Les enzymes** : la teneur en enzymes dans la farine de blé dur varie en fonction de sa provenance ; elle est plus élevée lorsque la farine provient des couches externes où elle contient des particules de germe. Les principales enzymes sont : amylase, lipases, lipoxygénases (OUKEMOUM, 2001).

GUAGLIA (1988) a constaté que les farines de blé dur se caractérisent par des activités amylasiques faibles, cela est lié directement aux conditions de récoltes, à la température et à l'humidité de la saison.

**Tableau 8** : Récapitulatif de la composition physico-chimique d'une farine de blé dur (BOYACIAGLU et DAPPOLONIA, 1994).

<b>Composition chimique de la farine de blé dur</b>	
Cendres (% ms)	0,86
Pentosanes (% ms)	1,70
Gluten sec (% ms)	14,50
Gluten humide (% ms)	42,90
Amidon total (% ms)	72,40
Sucres total (% ms)	3,00
Amidon endommagé (% ms)	14,57
Protéine (% ms)	15,00

#### 2.2.4. Caractéristiques de la farine de blé dur

##### a). La granulométrie

Selon QUAGLIA (1988), la farine de blé dur se caractérise par une granulométrie variée entre 120 et 190µm, ses particules sont plus rondes que celles du blé tendre (MIRAD, 1985).

LINDHAL et ELIASSON (1992), dans une étude effectuée sur des échantillons de farine de blé dur et une farine de blé tendre ayant subies le même procédé de moulin, ont montré que la distribution granulométrique révèle une répartition de taille des particules très différentes entre les farines et cela est la conséquence de la friabilité de l'amande de blé tendre, qui donne une granulométrie plus fine que celle des farines de blé dur.

##### b). La pureté

C'est le taux de contamination de l'albumen par les issues des enveloppes et de la couche à aleurone (ABECASSIS, 1996).

D'après LIU *et al.*, (1996), la provenance irrégulière de la farine de blé dur (germe, amande et enveloppes) engendre une présence importante des particules de son, dégradant ainsi sa pureté. La teneur en cendres est remarquablement élevée dans les farines de blé dur (1,5 %).

La richesse en cendres des farines de blé dur par rapport aux farines de blé tendre est attribuée à la composition minérale de l'albumen (FEILLET et ABECASSIS, 1985).

### **c). La couleur**

La présence d'une concentration considérable de pigments jaunes (xanthophylles) dans le blé dur confère aux farines une coloration allant de jaune ambré à foncé (BOYACIOGLU et DAPPOLONIA, 1994).

Selon LAIGNELET *et al.*, (1972), cette couleur dépend de plusieurs facteurs :

- La composition chimique ;
- les conditions de culture ;
- le taux d'extraction qui conduit à l'apparition d'une couleur sombre suite à une contamination par les parties périphériques ;
- l'élimination plus au moins complète des germes très riches en lipoxygénases susceptibles de détruire les pigments jaunes.

### **d). Les caractéristiques plastiques**

Comparée à la farine de blé tendre, la farine de blé dur présente une teneur plus élevée en gluten mais de caractéristiques rhéologiques inférieures (LIU *et al.*, 1996). Cela est dû à la différence de distribution des fractions de gluten (PERSSINI *et al.*, 1999).

Selon KITISSOU (1995), la ténacité élevée de la farine de blé dur peut être due à :

- La granulométrie des particules de farine ;
- La teneur élevée en amidon endommagé et en pentosanes ;
- La richesse en particules de son.

#### **2.2.5. Utilisation de la farine de blé dur**

Antérieurement, plusieurs auteurs qui ont étudié l'utilisation de blé dur en panification, ont souligné que ce dernier était inconvenable, à cause généralement des volumes faibles des pâtes obtenues.

L'utilisation de blé dur en panification est récemment revue par plusieurs chercheurs. QUAGLIA (1988), considère les blés durs comme facilement panifiables quant leur taux de protéines dépasse 13%. BOYACIOGLU et DAPPOLONIA (1994), ont souligné qu'un mélange de 25 % de farine de blé tendre de qualité supérieure en combinaison avec des améliorants, produit un pain de caractéristiques acceptables.

Selon l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) (2015), la farine de blé dur peut être utilisée en panification du moment qu'elle apporte plusieurs avantages nutritionnelles (micronutriments et fibres solubles), un subtil goût qui permet la réduction des quantités de sel, diminution des améliorants. Elle peut aussi servir pour autres usages (INRA, 2015):

➤ **La pâte à pizza :**

- Diminution du temps de pétrissage.
- Amélioration de la tenue dans le temps de pâte.
- Couleur jaune.

➤ **La viennoiserie :**

- Diminution de 8 à 12 % du beurre de tourrage.
- Amélioration de laminage.
- Feuilletage jaune prononcé, permet de supprimer les colorants beurre et autre additifs.

➤ **La brioche :**

- Mie jaune très prononcée permettant de supprimer les colorants beurre et le jaune d'œufs (pour la couleur).

➤ **Les biscuits :**

- Améliore la tenue et supprime le rétreint au four.

La farine de blé dur : une matière première à part entière, adaptée à l'ensemble des usages du métier, elle laisse libre cours à l'imagination des artisans.

Selon ABECASSIS (1991), la farine de blé dur sert également de liant pour épaissir une sauce, et permet de paner les aliments. Un complément dans l'alimentation des ménages démunis, elle rentre même dans la formulation d'aliments pour bétails, et dans la fabrication des emballages biodégradables.

La farine de blé dur est utilisée en France dans la fabrication de pâtes alimentaires de qualité courantes (ABECASSIS, 1993).

### **3. Les produits de la deuxième transformation de blé dur**

Le blé dur est exclusivement destiné à la consommation humaine après sa transformation. Il se transforme en semoule puis en pâtes alimentaires ou couscous (MORANCHO, 2000).

#### **3.1. Le couscous**

##### **3.1.1. Définition de couscous**

Le couscous est un produit composé de semoule de blé dur, à laquelle est ajoutée pour l'agglomérer, de l'eau potable et soumise à des traitements physiques (malaxage et roulage) et à des traitements thermiques (pré-cuisson et séchage). Aucun autre ingrédient ne doit être ajouté, sauf le sel, éventuellement présent dans l'eau d'hydratation (AFNOR, 1997).

##### **3.1.2. La fabrication industrielle du couscous**

La fabrication de couscous mis en œuvre les six étapes suivantes :

Mélange de la semoule de blé dur (100 kg), d'eau (30 L) et parfois de sel (0,3-0,5 kg). Cette opération dure environ 15 à 25 minutes (FEILLET, 2000), elle est réalisée dans une presse comportant : un agitateur doseur semoule, une centrifugeuse horizontale, une mélangeuse double et une centrifugeuse verticale.

La presse permet le brassage du mélange semoule/eau, grâce à une turbine à palettes ayant une grande vitesse (250 Tr/min dans la centrifugeuse horizontale et 750 Tr/min dans la centrifugeuse verticale). Elle assure l'homogénéité de l'humidification et l'agglomération en petites boulettes (BAKECHE, 1994).

- Roulage des particules pour les agglomérer en grains de dimensions variable, habituellement comprise entre 500 et 800µm, parfois plus. Cette opération est réalisée dans des cylindres alvéolés rotatifs (rouleurs) ou de simples planschisters (FEILLET, 2000).

Les cylindres alvéolés sont des tambours rotatifs dans lesquels la semoule est roulée par frottement des palettes sur une toile en sens inverse de tambour. Le module a pour fonction de rouler et de tamiser en même temps le produit (YOUSFI, 2002). Alors que, le planschister est composé de deux tamis munis d'un mouvement circulaire. Il assure le roulage et le calibrage simultané du produit (BAKECHE, 1994).

- Cuisson à la vapeur pendant une dizaine de minutes (YOUSFI, 1984).
- Séchage à 50-70°C pendant quelques heures pour atteindre une humidité finale de 12 à 14 % ms, suivi d'un refroidissement (FEILLET, 2000).
- Refroidissement : à la sortie de séchoir, le produit est reparti en fine couche sur un châssis perforé pour le refroidir par un courant d'air froid activé par un ventilateur (FEILLET, 2000).
- Calibrage sur des tamis ; on obtient deux catégories de couscous, gros dont la grosseur est comprise entre 1,25 mm et 2,24 mm et moyen dont la grosseur est comprise entre 0,65 mm et 1,25 mm (BAKECHE, 1994).
- Conditionnement : le produit est conditionné à 12,5 % d'humidité, emballé soit en sac cellophane ou dans des sacs kraft (BAKECHE, 1994).

Le débit horaire des installations se situe autour de 500kg /h (FEILLET, 2000).

## **3.2. Les Pâtes alimentaires**

### **3.2.1. Définition**

Selon une définition généralement admise, les pâtes alimentaires peuvent être décrites comme des produits près à l'emploi culinaire, préparées par pétrissage sans fermentation de semoule de blé dur, additionnée d'eau potable et éventuellement d'œufs (140 à 350 g d'œufs frais par kg de semoule), et soumise à des traitements physiques appropriés tel que le tréfilage, laminage et séchage, ce qui leurs donnent l'aspect souhaités par les usagers. L'ajout de gluten, des légumes et des aromates est également autorisées (FEILLET, 2000).

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

### **3.2.2. Classification**

Selon TREMOLIERE *et al.*, (1984), les pâtes alimentaires sont classées en deux groupes selon les machines utilisées pour leur fabrication :

➤ **Pâtes pressées ou tréfilées**

C'est une pâte comprimée par une presse à travers une filière, qui sert de moule dont on obtient les formes classiques ; telles que les spaghettis, macaroni, coquillettes ou coupées à volonté de manière à obtenir des pâtes longues ou courtes.

➤ **Pâtes laminées**

Ce type de produit est abaissé par laminage entre deux cylindres et est réduit en feuilles larges et minces. Celles-ci sont soit divisées en ruban, soit amenées sur des machines munies d'emporte pièces ce qui donne la forme désirée.

### **3.2.3. Constituants de la pâte**

- **Semoule** : elle est reconnue comme substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires, en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (pâtes alimentaires, couscous,...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, de sa dureté, sa couleur unique, sa flaveur et sa qualité de cuisson (GODON, 1991 ; FEILLET *et al.*, 1996 ; PETITOT *et al.*, 2009).
- **L'eau** : selon de nombreuses observations faites par les industriels, il ressort que la qualité d'eau utilisée au cours de l'embâtage, peut exercer une influence non négligeable sur l'aspect et le comportement des produits finis au cours de la cuisson. Des eaux de faible dureté hydrotimétrique sont généralement recommandées (FEILLET, 2000).

### **3.2.4. La technologie pastière**

Selon SMITH et HUI (2004), la semoule est d'abord travaillée, mélangée de manière à ce qu'elle soit homogène et qu'elle garde le moins d'air possible (assure homogénéité de la pâte), en suite viendront les différentes étapes successives citées ci-dessous, permettant la formation des pâtes alimentaires.

#### **a. Hydratation**

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

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

#### **b. Malaxage**

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

#### **c. Extrusion**

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

#### **d. Séchage**

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

D'après JEANTET *et al.*, (2007), ce séchage s'effectue généralement en deux étapes :

- **Le pré-séchage** : le pré-séchage est une phase très importante dans le séchage des pâtes, il permet d'éliminer 30 à 40 % de l'eau contenue dans la pâte en un minimum de temps (30 % pour les pâtes courtes et 40 % pour les pâtes longues). Dans cette phase l'évaporation est irrégulière, les parties périphériques étant plus sèches que l'intérieur, ce qui assure une texture de carton, évite le collage et permet d'améliorer la stabilité de la forme.

- **Le séchage définitif** : c'est un séchage qui se fait de manière progressive avec une alternance de phase de séchage et de rééquilibrage d'humidité, ce qui réduit les tensions à l'intérieur du produit et prévient l'apparition des gerçures, fêlures ou rupture de la pâte.

#### **e. Emballage**

Les pâtes alimentaires sont souvent emballées dans des sacs en polyéthylène ou en cellophane, ou encore dans des boîtes en carton. Ces emballages ont pour but de protéger le produit fini contre toutes atteintes microbiennes ou réactions enzymatiques et oxydatives, ainsi que les dommages pouvant subvenir lors de la livraison ou stockage (KAREL *et al.*, 2000).

#### **3.2.5. Types et formes de pâtes alimentaires**

En Algérie, la consommation de pâtes alimentaires est de l'ordre de 3 kg/habitant/an ; cette quantité est relativement faible en comparaison à celle de la Tunisie (15,26 kg) (KHELLOU, 2008).

Les principales variétés produites par l'industrie sont :

- Les pâtes pleines : préparées par extrusion (vermicelles, spaghetti, nouilles, tagliatelles) ;
- Les pâtes creuses extrudées (coudes, coquilles, coquillettes) ;
- Les pâtes roulées ou découpées (langue de oiseau, lettres, caractères...).

Ces variétés de pâtes sont classées en 3 familles qui sont :

- Les pâtes longues, courtes et pâtes potages, avec une production de 20%, 45%, 35% respectivement (KHELLOU, 2008).

Certains fabricants de pâtes alimentaires, mélangent les grains ou semoules de différentes variétés de blés dur pour maintenir une force de gluten et des produits finis à des coûts de productions moindres (DEXTER, 2008).

#### **3.2.6. Valeur nutritionnelle**

Suspectées d'être très caloriques et de faire grossir, les pâtes alimentaires ont souvent été bannies de nos assiettes, pourtant pauvre en graisses et très riches en glucides complexes du

type amidon et en protéines végétales, elles s'intègrent parfaitement dans une alimentation équilibrée.

Selon FEILLET (2000), l'appréciation de la valeur nutritionnelle des pâtes alimentaires doit tenir de plusieurs paramètres :

- Du fait de leur richesse en sucres lents et de leur faible index glycémique (40 %). Les pâtes alimentaires s'avèrent efficace sur la satiété, et sont d'un grand intérêt pour toute activité physique ou intellectuelle.
- Au niveau des calories, 100g de pâtes crues correspondent à 300g de pâtes cuites (350 kcal), une différence qui tient au fait qu'au cours de la cuisson les pâtes absorbent deux fois leurs poids d'eau et perdent 6 % à 10 % de matière sèche dans l'eau de cuisson.
- L'apport protéique est loin d'être négligeable, mais comme pour tous les produits céréaliers, les pâtes alimentaires sont déficientes en acides aminés indispensables.

### **3.2.7. Production et consommation des pâtes alimentaires en Algérie et dans le monde**

Selon les Associations de Fabrication de Pâtes Alimentaires de l'Union Européen (2013), la production mondiale des pâtes alimentaires est de l'ordre de 13,6 millions de tonnes, avec une moyenne estimée de 37 000 tonnes par jour, l'union européenne supporterait à 36,6 % de la production mondiale, juste devant l'Amérique centrale et du sud avec 23,4 % de la production, et les états unies (21,1 %) et les autres pays européen (11,8 %).

Les principaux pays producteurs des pâtes alimentaires dans le monde sont cités dans le (Tableau 9).

**Tableau 9** : Production des pâtes alimentaires en tonnes/an (UN.AFPA, 2013).

<b>Pays</b>	<b>Tonnes /an</b>
Italie	3 100 000
Etats unis	1 165 000
Brésil	1 000 000
Turquie	427 000
Egypte	400 000
Venezuela	325 000
France	252 000
Allemagne	243 000
Algérie	205 000
Grèce	132 000
Tunisie	110 000
Suisse	72 000

L'Algérie est le seul pays arabe à posséder une très grande variété de pâtes alimentaires ; cependant, la plus grande consommation de pâtes dans le monde arabe revient à la Tunisie classée 3<sup>ème</sup> au niveau mondial. La demande des consommateurs est assez rigide en ce qui concerne les pâtes alimentaires, les principaux pays consommateurs des pâtes alimentaires sont cités dans le (**Tableau 10**).

**Tableau 10** : Consommation des pâtes alimentaires dans le monde (UN.AFFPA, 2013)

Pays	Kg/tête
Italie	25,3
Venezuela	13,2
Tunisie	11,9
Grèce	11,5
Suisse	9,2
Suède	9
Etats unis	8,8
France	8,1
Allemagne	8,0
Algérie	8,0
Turquie	6,8
Brésil	6,2
Espagne	6,0
Maroc	3,5
Libye	2,0
Egypte	1,2

### 3.2.8. Problèmes liés à la qualité des pâtes alimentaires

Selon FEILLET (2000), les pâtes alimentaires sont suspectées d'avoir des problèmes au cours de leur processus de fabrication, qui peuvent être dues au mauvais malaxage ou à un séchage incomplet ; parmi ces facteurs on cite : indice de brun (brunissement des pâtes), les piqures, les gerçures.

- **L'indice de brun** : le brunissement des pâtes alimentaires est un caractère indésirable multifactoriel. Il serait fortement influencé par : la variété du blé dur mis en œuvre, par l'activité polyphénoloxidasique et peroxydasique des semoules (qui augmentent lors d'une contamination par les parties périphériques), ainsi que par des températures de séchage élevées lors de la pastification, qui intensifient les réactions de Maillard (FEILLET, 1986).

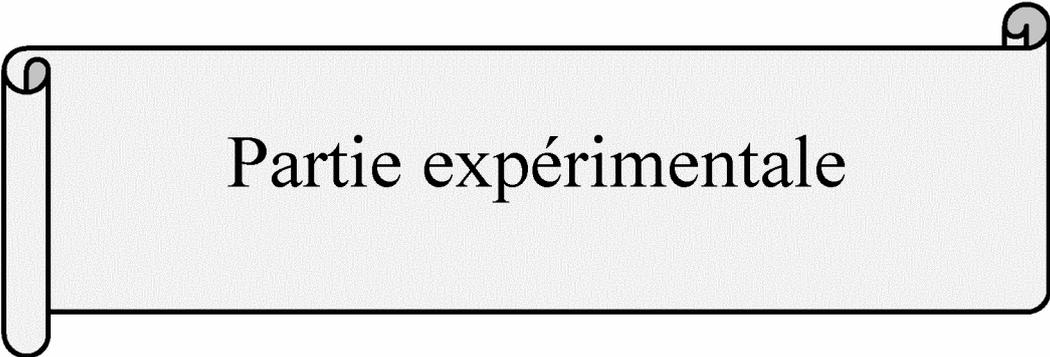
- **Les gerçures** : ce sont des brisures (fêlures) qui apparaissent dans les pâtes sèches suite à un mauvais séchage. Elles se produisent sous l'effet de tensions internes, et il en résulte un aspect déplaisant et une faible résistance à l'emballage (ABECCASIS *et al.*, 1996).
  
- **Les piqures** : il existe trois sortes de piqures : les blanches qui sont le résultat d'une hydratation insuffisante lors de la pastification ; les brunes, qui témoignent d'une contamination des semoules par les particules de son ; et les noires, qui provient généralement des blés ergotés ou mouchetés non éliminés lors de la mouture (FEILLET, 2000).

## **2. Les produits de la 1<sup>ère</sup> transformation de blé dur**



### 3. Les produits de la 2<sup>ème</sup> transformation de blé dur





Partie expérimentale



## Matériels et méthodes

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire d'autocontrôle de la SARL MIS Tizi-Ouzou, pendant une durée d'un mois.

❖ **Présentation de l'entreprise**

SARL MIS : Moulins Industriels de Sebaou ; est une entreprise privée, sous la forme juridique d'une société à responsabilités limitées (SARL), au capital social de 228.881.000.00 DA ; crée par un ancien industriel spécialisé dans l'agroalimentaire, Mr ZEGGANE TAHAR. Elle est composée de deux sous unités :

- Semoulerie / minoterie.
- Unité des pâtes alimentaires et couscous.

Cette entreprise est dotée d'un équipement de dernière génération (hautes performances), permettant d'assurer un déploiement optimal de son activité. Ces appareils sont répartis dans quatre étages (unité semoulerie/minoterie) selon l'ordre chronologique (du dernier étage au premier étage) suivant leurs principes, et suivant une ligne directe dans l'unité des pâtes alimentaires et couscous.

Les diagrammes généraux de mouture et de fabrication sont inscrits dans un ordinateur, ce qui facilite le suivi de déroulement du procès, de contrôler les entrées, les sorties et le débit horaire de chaque appareil et d'effectuer le contrôle automatique du circuit.

Siege sociale	Zone d'activités FERRAOUN, BP 70, DRAA BEN KHEDDA, 15200 willaya de Tizi-Ouzou.
Téléphone	026-27-41-41 026-27-48-24 026-27-49-08
Fax	026-27-34-34
Email	contact@misebaou-dz.com mis.sebaou@yahoo.fr
Raison sociale	SARL MIS
Création	Semoulerie : 1999 Minoterie : 2010 Unité des pâtes alimentaires : 2012

Début d'activités	Semoulerie : Juillet 2002 Minoterie : 2012 Unité des pâtes alimentaires : 2014
Propriétaires	Famille ZEGGANE : Gérant : Mr. ZEGGANE TAHAR. Co-Gérant : Mr. ZEGGANE FERHAT.
Nombre d'employeurs	120 dont une dizaine de cadres assurant les différents services.
Surface	Semoulerie/minoterie : 1700 m <sup>2</sup> Unité des pâtes alimentaires : 1500 m <sup>2</sup>
Jours de travail	Toute la semaine sauf vendredi et samedi
Produits	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Semoule :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Extra : (25 kg, 10 kg).</li> <li>✓ Fine : (25 kg, 10 kg).</li> <li>✓ Grosse-moyenne : (25kg, 10kg).</li> </ul> </li> <li>• <b>Farine :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Panifiable :( 50kg, 25kg, 5kg, 1kg).</li> </ul> </li> <li>• <b>pâtes alimentaires :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ longues : (spaghetti avec un diamètre : 1,4 mm ou 1,7 mm).</li> <li>✓ courtes : (coude 4, coude 6, torsades, penne, <i>Mezze penne</i>, <i>Tlitli</i> (ongle d'oiseau), plomb, cheveux d'ange (vermicelles), <i>Trida</i>, <i>Annelini</i>, <i>Ditali</i>).</li> <li>✓ spéciaux : papillon.</li> </ul> </li> <li>• <b>couscous :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ gros (1kg).</li> <li>✓ moyen (1kg).</li> <li>✓ fin (1kg).</li> </ul> </li> </ul>
Production	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semoule : 200 tonnes /24heures.</li> <li>• Farine : 100 tonnes /24heures.</li> <li>• Pâtes alimentaires : 500 kg /heure.</li> <li>• Couscous : 500 kg/heure.</li> </ul>



**Figure 2** : Unité semoulerie/minoterie



**Figure 3** : Unité des pâtes alimentaires et couscous

## **1. Matériel et méthodes**

### **1.1. Objectif du travail**

Le consommateur d'aujourd'hui est de plus en plus exigeant et méfiant, concernant son alimentation. Il demande des produits de meilleure qualité surtout, lorsqu'il s'agit des denrées alimentaires de large consommation : lait, huile, pâtes alimentaires, etc.

L'objectif de ce travail, consiste en un essai de valorisation d'un sous-produit issu de la mouture de blé dur : c'est « la farine de blé dur », appelée aussi « farine sassée super fine » ou 3SF ; en l'incorporant dans la fabrication des pâtes alimentaires, qui sont préparées communément à partir de la semoule fine de blé dur.

A cet effet, quatre recettes à base de semoule fine et de farine de blé dur, ont été préparées selon les proportions suivantes :

- 100% semoule fine ;
- Mélange 75% semoule fine, 25% 3SF ;
- Mélange 50% semoule fine, 50% 3SF ;
- Mélange 25% semoule fine, 75% 3SF.

Plusieurs analyses physicochimiques ont été réalisées sur les matières premières (blé dur, semoule, 3SF), ainsi que sur les produits finis, au niveau du laboratoire des moulins industriels de Sebaou (MIS).

### **1.2. Déroulement de l'étude**

Afin d'atteindre notre objectif, nous avons respecté la démarche expérimentale suivante :

- Prélèvement des matières premières :

Une quantité de blé dur issu d'un coupage de blé dur algérien et de blé dur français (20% - 80%) respectivement, a été prélevée au niveau de la cellule de mélange.

Ensuite, on a suivi la mouture du restant du même blé qui s'est faite à l'échelle industrielle, selon le processus de mouture propre à l'unité (**annexe I**), afin de récupérer une quantité de la semoule fine et la 3SF.

Les échantillons de blé dur, de semoule fine et de 3SF prélevés, ont été conservés à température ambiante au niveau du laboratoire tout au long de l'étude, dans des sacs en papier kraft et en plastique.

- Des analyses physico-chimiques ont été faites sur le blé dur et ses deux produits de mouture (semoule fine et 3SF).

- Préparation des trois mélanges à base de semoule fine et de 3SF, selon les proportions citées plus haut.
- Des analyses physicochimiques et technologiques sont ensuite réalisées sur les différents coupages, afin d'apprécier leur qualité et d'évaluer la possibilité de leur utilisation en industrie pastière.
- Des essais de pastification à l'échelle de laboratoire sont réalisés, avec les mélanges déjà préparés.
- Enfin, évaluer différents paramètres des pâtes obtenues :

L'aspect des pâtes est évalué visuellement, d'abord à l'état cru puis, après cuisson.

D'autres paramètres sont également évalués après des tests de cuisson, comme la résistance des pâtes, leurs pertes à la cuisson, couleur, aspect et fermeté ; afin de choisir le coupage le plus intéressant du point de vue qualitatif, tout en optimisant l'utilisation de la 3SF dans l'industrie pastière.

### **1.2.1. Analyses physico-chimiques sur le grain de blé dur**

#### **a. Poids à l'hectolitre (PHL) (NF V03-719:1988)**

La masse à l'hectolitre, dite masse volumique appelée communément « poids spécifique » (PS), correspondant à la masse du blé sale contenue dans un hectolitre.

Cette analyse a été effectuée à l'aide d'un « NILEMA-LITRE »; on remplit la trémie de ce dernier d'1/4 de litre, on rase à l'aide d'un raseur pour éliminer l'excès, on ouvre le clapet et puis on pèse le contenu.

La conversion de la masse en kg/hl se fait à l'aide d'une table correspondante (**annexe II**).

#### **b. Poids de milles grains (PMG) (NF V03-702 : 1981)**

Cette mesure permet de déterminer le poids moyen des grains en pesant 1000 grains, elle s'effectue par un comptage manuel ou à l'aide d'un appareil automatique NUMIGRAL.

On compte manuellement 1000 grains entiers, puis on pèse leur masse à l'aide d'une balance de précision. Le poids de mille grains est exprimé en gramme (g).

#### **c. Taux de mitadinage : (AFNOR NF V03-705)**

On entend par grain de froment dur mitadiné, les grains dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse. Le mitadinage est directement lié à la quantité de protéines

contenues dans le grain, et dépend des conditions de culture et de récolte, il déprécie la qualité des semoules et des produit dérivés.

➤ **Principe**

Un échantillon de 100 g est prélevé, après avoir mélangé le contenu du sac qui contient le blé dur débarrassé de l'ensemble des impuretés. Les grains mitadinés sont appréciés d'une manière visuelle sur 100 g de blé propre.

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en pourcentage de grains mitadinés suivant cette formule :

$$\text{MIT (\%)} = \frac{M1}{M2} \times 100$$

M1 : masse en gramme de grains mitadinés présents dans 100 g de l'échantillon.

M2 : masse en gramme de l'échantillon prélevé.

MIT : Taux de mitadinage.

**d. Taux de moucheture**

Les grains mouchetés sont des grains qui présentent, à d'autres endroits que sur le germe même, des colorations situées entre le brun et le noir brunâtre (SCOTTI et MONT, 1997).

➤ **Principe**

Après avoir mélangé le contenu d'un sac qui contient le blé dur propre, un échantillon de 100 g est prélevé. Les grains mouchetés sont appréciés visuellement sur la prise d'essai de 100 g.

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en gramme de grain mouchetés pour 100g de l'espèce considérée, selon cette formule :

$$\text{MOU (\%)} = \frac{M1}{M2} \times 100$$

M1 : masse en gramme de grains entiers mouchetés présent dans 100g d'échantillon.

M2 : masse en gramme du prélèvement (100g).

MOU : Taux de moucheture.

**e. Taux d'échaudage**

Sont considérés comme grains échaudés, les grains qui, après élimination de tous les autres éléments de l'échantillon, passent par des tamis à fentes de dimension de 1,9µm pour le blé dur (SCOTTI et MONT, 1997).

➤ **Principe**

Après avoir mélangé le contenu d'un sac qui contient le blé dur sale, un échantillon de 100g est prélevé, puis passé par un jeu de tamis de diamètre décroissant : 3,5 µm, 1,9 µm et 1 µm. Après un tamisage manuel par des mouvements de va et vient pendant 1 minutes, le retenu du tamis 1µm est pesé par une balance de précision et qui représente le taux de grains échaudés pour les 100g de la prise.

➤ **Expression des résultats**

$$\text{Taux d'échaudage (g)} = \text{poids de blé retenu du tamis 1}\mu\text{m}$$

**f. Détermination de la teneur en eau (NF VO3 -707 : 1989)**

On entend conventionnellement par teneur en eau, la perte de masse, subie par le produit dans les conditions fixées par la présente norme.

Après broyage d'un blé sale, on réalise un séchage dans une étuve de type BUHLER, d'une prise d'essai de (10 g) à une température entre 130°C et 133°C durant 12 minutes.

Le résultat de l'analyse est obtenu par une lecture directe sur l'appareil ; il est exprimé en pourcentage de masse.

**1.2.2. Analyses physico-chimiques des produits de mouture**

Les mêmes analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les deux produits de mouture de blé dur, ainsi que les mélanges semoule/3SF aux différentes proportions.

**a. Granulométrie (taux d'affleurement) (NFV 03-721 : 1994)**

Elle est définie comme la quantité de semoule extraite ou refusée par un tamis, dont l'ouverture de maille est choisie en fonction de la finesse du produit (DUBOIS, 1996).

La granulométrie est l'étude de la distribution de la taille des particules. C'est une caractéristique fondamentale en relation directe avec toutes les opérations unitaires de broyage, de séparation, de mélange et de transfert ; mais aussi avec les phénomènes

d'échange et de réactivité, qu'ils soient physiques (migration d'eau, séchage, solubilisation), chimiques (oxydation) ou enzymatique (digestion des aliments) (MELCION, 2000).

➤ **Principe**

Elle est déterminée par tamisage d'un échantillon de 100g de semoule par un appareil ROTACHOC, muni d'une succession de tamis mobiles dont les ouvertures des mailles sont décroissantes.

Pour cette analyse, les tamis utilisés pour la semoule sont des tamis avec des ouvertures de mailles de : 450µm, 300µm, 180µm, 150µm.

Les tamis utilisés pour la 3SF sont avec des ouvertures des mailles de : 200µm, 180µm, 150µm, 132µm.

Par contre, les tamis utilisés pour les mélanges sont des tamis avec des ouvertures de mailles de : 300µm, 180µm, 150µm.

Les tamis sont entraînés par un mouvement circulaire et uniforme pendant 5 minutes ; enfin, on pèse le refus de chaque tamis à l'aide d'une balance analytique. Les masses des refus sont exprimées en pourcentage.

➤ **Expression des résultats**

Les refus obtenus sont pesés et les résultats sont exprimés en pourcentage.

$$\text{TA (\%)} = \frac{M_0}{M_1} \times 100$$

M<sub>0</sub> : masse de refus (g).

M<sub>1</sub> : masse de l'échantillon (g).

TA : taux d'affleurement.

**b. Taux d'humidité (AFNOR NF V03-701)**

La teneur en eau des céréales et des produits céréaliers présente une importance capitale, tant sur le plan analytique que sur le plan technologique. En effet, elle permet d'une part d'estimer la teneur des différents constituants par rapport à la matière sèche et d'autre part, d'entrevoir le conditionnement et la transformation de la matière première.

Ce dosage consiste en un séchage, dans une étuve de type BUHLER (humidimètre) entre 130°C et 133°C pendant 12 minutes d'une prise d'essai de 10g de semoule.

Le résultat de l'analyse est obtenu par une lecture directe sur l'appareil, il est exprimé en pourcentage de masse.

**c. Taux de cendre (NF-V03-720 : 1981)**

Les cendres sont des résidus obtenus après incinération d'un échantillon de semoule à 900 °C. Les cendres des semoules sont déterminées par incinération dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C ± 25°C jusqu'à une combustion complète de la matière organique; le résidu obtenu est ensuite pesé.

➤ **Principe**

On chauffe les nacelles durant 15 minutes dans le four à moufle réglé à 900 °C ; on les laisse refroidir dans un dessiccateur pendant 10 à 15 minutes ; on pèse les nacelles (creusets) vide puis, on introduit 5g de semoules dans ces nacelles, on met quelques gouttes d'éthanol et on procède à la pré-incinération. Une fois le flambage des creusets est terminé, on ferme bien le four et on laisse pendant 1h et demi. On retire ensuite les nacelles, on les laisse refroidir puis, on les pèse avec le résidu inclus, à l'aide d'une balance de précision.

➤ **Expression des résultats**

Le taux de cendres est exprimé en pourcentage de masse rapportée à la matière sèche, il est calculé selon la formule suivante :

$$TC (\%) = \frac{M1 \times 100 \times 100}{M0 \times (100 - H)}$$

M0 : Masse, en gramme de la prise d'essai.

M1 : Masse en gramme du résidu.

H : Teneur en eau, exprimée en pourcentage de masse de l'échantillon analysé.

TC : Taux de cendres.

**1.2.3. Analyses technologiques des produits de mouture**

**a. Teneur en Gluten (NA-730 : 1990)**

Le gluten est la fraction des protéines insolubles dans une solution saline ; il est le responsable majeur de la qualité rhéologique des pâtes. L'extraction est réalisée le plus couramment, par la méthode manuelle.

➤ **Principe**

Une pâte est préparée à partir de 10 g de semoule mélangée à 4,5 ml d'eau salée à 2,5 % NaCl, suivie d'un malaxage ; le pâton préparé est laissé au repos. Après 10 minutes, la pâte est déposée sur la paume de la main ; elle subit une lixiviation sous un filet d'eau ; lorsque le gluten forme une masse bien adhérente et que l'eau de lavage n'est plus blanche, on arrête le lavage. On réalise ensuite un essorage manuel ; on s'arrête lorsque le gluten adhère aux mains ; un pesage permet de déterminer le gluten humide. Après un séchage dans une étuve pendant 6 heures à température 130°C, on obtient le poids de gluten sec.

➤ **Expression des résultats**

Le gluten humide et le gluten sec sont exprimés en pourcentage selon les formules suivantes :

$$\text{Gluten humide (\%)} : \text{GH} = \frac{\text{quantité de gluten pesé apres essorage}}{10} \times 100$$

$$\text{Gluten sec (\%)} : \text{GS} = \frac{\text{quantité de gluten pesé après dessiccation}}{10} \times 100$$

**b. Le test de sédimentation en milieu SDS (AFNOR NF V03-704, ISO 5529)**

Il est basé sur le gonflement de la fraction protéique d'une quantité de semoule ou de farine, en présence de SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) et d'acide lactique, la fraction protéique se sédimente, après un temps d'agitation et de repos définis.

➤ **Principe**

6g du produit à analyser sont mis en suspension avec 50 ml d'eau distillée dans une éprouvette graduée de 100 ml. Immédiatement après la dernière agitation, on ajoute 50 ml d'une solution composée de 30 g/l de SDS et 20 ml d'acide lactique dilué 8 fois (1/8). A partir de cet ajout, on effectue 4 retournements successifs de l'éprouvette aux temps 0- 2- 4 et 6 minutes.

L'éprouvette est ensuite laissée au repos 20 minutes. Et enfin, on lit le volume (en millilitre) de sédimentation.

➤ **Expression des résultats**

Le volume de dépôt se lit directement sur l'éprouvette graduée en millilitre, ce volume représente l'indice de sédimentation. La semoule est de bonne qualité lorsque les valeurs obtenues sont d'autant plus élevées.

#### **1.2.4. Préparation des pâtes alimentaires**

Les pâtes alimentaires sont fabriquées à l'échelle industrielle, en mélangeant 450 L d'eau avec 1000 kg de la semoule fine. Après avoir hydraté le mélange, il est ensuite malaxé à l'aide d'un malaxeur pendant 13 minutes, afin de bien incorporer l'eau dans la semoule. Le produit obtenu après le malaxage suit son itinéraire technique (découpage, séchage, emballage).

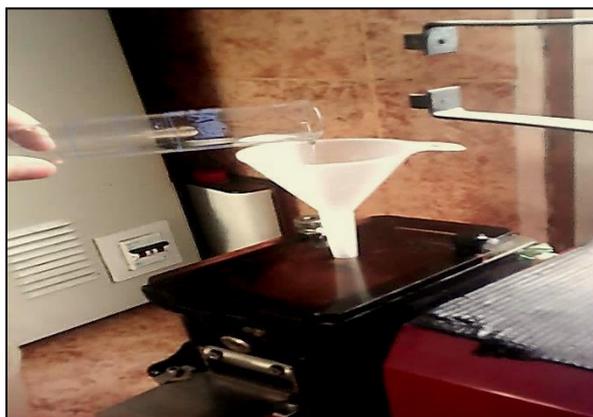
Dans le cas de notre étude, les pâtes alimentaires sont fabriquées à petite échelle (échelle de laboratoire) ; ce qui nécessite de réduire les quantités de semoule et de l'eau selon la capacité du pétrin employé, mais ces quantités restent toujours proportionnelles à celles utilisées à grande échelle.

Pour les différentes préparations de pâtes alimentaires, nous avons mélangé 250 g de semoule (ou mélange de coupage semoule/3SF) et 112,5 ml d'eau (**annexe III**). Les autres paramètres (température, la durée de séchage et humidité) restent identiques à ceux utilisés à grande échelle.

##### **a. Préparation de la pâte alimentaire 100% SF (pâte de référence) :**

La pâte alimentaire de référence composée de 100 % de semoule fine (SF) est préparée comme suit :

- Dans un pétrin, on introduit 250 g de semoule fine et 112,5 ml d'eau ; après cette hydratation, le mélange subit un pétrissage pendant 13 minutes (**figure 4**).



**Figure 4** : Le pétrissage

- La pâte formée est extraite, en appuyant sur le bouton « extraction » du pétrin (**figure 5**).



**Figure 5** : Extraction de la pâte

- A l'aide d'une machine à pain (un laminoir), faire passer chaque morceau de pâte d'abords entre les rouleaux les plus serrés N°1, puis une deuxième fois entre les rouleaux N°3, N°5 et enfin N°7 successivement, pour obtenir une bande de pâte de fine épaisseur (**figure 6**).



**Figure 6** : Laminage de la pâte.

- La pâte fine est ensuite passée dans la même machine, mais cette fois-ci, entre les rouleaux découpeurs ; dans notre cas, la pâte est découpée à des petites tagliatelles.

- Récupérer les rubans de pâtes à la main et les déposer sur un tamis avec les plus grandes ouvertures de mailles (**figure 7**).



**Figure 7** : Dépôt de la pâte sur le tamis.

- Les pâtes sont ensuite transportées dans une chambre de séchage réglée à une température qui varie entre 20-35 °C. Le séchage dure entre 6 à 8 heures.
- Une fois le séchage est achevé, le produit fini est prêt ; on le récupère pour continuer le reste de notre travail.

La même démarche de préparation des pâtes alimentaires est appliquée pour les autres coupages de semoule et 3SF.

### **1.2.5. Analyses sur les produits finis (pâtes alimentaires)**

#### **1.2.5.1. Analyses physiques : (évaluation de l'aspect des pâtes)**

##### **a. Indice de coloration (indice de jaune et indice de brun)**

L'analyse est réalisée par la même méthode et dans les mêmes conditions que celles des semoules, elle consiste à une appréciation visuelle de la couleur de la pâte alimentaire.

##### **b. Gerçures et piqures**

Selon ROBERT et MATSUO (1984), la détermination du nombre de piqures par unité de surface du produit à analyser constitue un test permettant de vérifier l'efficacité de la mouture. Les gerçures et les piqures sont estimées visuellement, en notant leur présence ou leur absence dans les pâtes alimentaires issues des différents coupages de semoules et 3SF.

### 1.2.5.2. Analyses chimiques

Les analyses chimiques (dosage de la teneur en eau, taux de cendres) sont déterminées conformément aux mêmes normes effectuées sur les semoules et blé.

- **Teneur en eau** : la teneur en eau des pâtes alimentaires a été déterminée selon la norme (AFNOR V03-707 : 1989), après broyage de ces dernières.
- **Taux de cendres** : le taux de cendres des pâtes alimentaires a été déterminée selon la norme (NF-V03-720 : 1981).

### 1.2.5.3. Analyses technologiques

L'évaluation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires est réalisée dans des conditions décrites dans la norme (NF V03-714).

100 g de pâtes sont cuites dans 2 litres d'eau additionnée de 14 g de sel et portée à ébullition.

Les paramètres évalués sont les suivants :

- **Le temps de cuisson**

Cette analyse consiste en la détermination du temps minimal de cuisson (T) et en le calcul de deux mesures expérimentales : T+6 et T+11 qui correspondent respectivement au temps optimal et au temps maximal de cuisson.

Le temps minimal de cuisson correspond au temps nécessaire pour la gélatinisation de l'amidon, il est déterminé en suivant la disparition de la ligne blanche continue visible au centre d'un brin de pâtes en cours de cuisson, écrasé entre deux plaques de verre. On considère que la ligne blanche a disparue lorsqu'elle n'est plus visible que sous forme de pointillés.

- **La perte à la cuisson (PC)**

Elle est déterminée en pesant le résidu de matière sèche, obtenu après évaporation de 25 ml d'eau de cuisson des pâtes.

La perte à la cuisson est exprimée en g par 100g de matière sèche, est calculée par l'équation suivante :

$$PC (g/100 g ms) = \frac{100 \times ES \times V/25}{100 - H}$$

ES : Le poids d'extrait sec (g)

V : Le volume final de l'eau de cuisson (ml)

H : Teneur en eau des pâtes crues (%)

- **Le gonflement (capacité de fixation d'eau) (C)**

Ce paramètre se mesure en déterminant le poids des pâtes avant et après cuisson ; et il rend compte de l'aptitude de la pâte à absorber l'eau au cours de la cuisson, elle est donnée par la formule suivante :

$$C (\%) = (P - 100) \times \frac{100}{100 - M - PC}$$

C : Capacité de fixation d'eau

P : Poids des pâtes cuites (g)

PC : Perte à la cuisson (g/100g ms)

M : Teneur en eau des pâtes crues (%)

- **L'état de surface des pâtes alimentaires**

Il est apprécié visuellement en notant la délitescence et le degré de collant des brins entre eux au temps optimal de cuisson.

### **1.2.6. Analyses statistiques**

Les données expérimentales des pâtes obtenues, sont statistiquement testées par l'analyse de la variance (ANOVA), en utilisant le logiciel STATBOX version 6.0 à un seuil de signification de 0.05, afin de déterminer la présence de différence significative entre les quatre produits analysés.



## Résultats et discussions

## 1. Analyses sur le grain de blé

Les différents résultats des analyses physiques et chimiques effectuées sur le grain de blé sont rapportés dans le tableau suivant :

**Tableau 11** : Tableau récapitulatif des analyses effectuées sur le grain de blé.

<b>Paramètres mesurés</b>	<b>*M±E</b>
Poids à l'hectolitre (PHL) (kg/hl)	<b>82,03 ± 0,75</b>
Poids de mille grains (PMG) (g)	<b>53,59 ± 0,23</b>
Taux de mitadinage (MIT) (%)	<b>4,11 ± 0,88</b>
Taux de moucheture (MOU) (%)	<b>5,42 ± 0,29</b>
Taux d'échaudage (Echau) (%)	<b>0,53 ± 0,03</b>
Teneur en eau (H) (%)	<b>11,7 ± 0,15</b>

\***M**: Moyenne des 3 essais; **E**: Ecart type

### 1.1. Analyses physiques

#### a. Poids à l'Hectolitre PHL (PS)

Il s'agit d'une mesure de la densité du grain ; il indique le rendement possible en semoule d'un grade particulier de blé. Il peut également indiquer la teneur en eau et sert parfois dans la détermination de la quantité d'eau à ajouter au blé durant le processus (BRENNAN, 1984).

Les résultats obtenus (**tableau 11**), montrent que le PHL de blé échantillonné varie entre 81,5 et 82,9 kg/hl avec une moyenne de 82 kg/hl. Ces résultats sont compris dans la fourchette proposée par CALVEL (1984), qui est de 72-82 kg/hl ; ce qui explique que ce blé dur est de

première qualité. Selon la classification de WILLIAMS (1998), ce froment appartient à la catégorie des blés très lourds, donc de bon rendement.

Plusieurs auteurs, entre autres WILLIAMS (1998) et DEXTER (2008), ont trouvé des relations entre le rendement en mouture et la valeur de leur masse à l'hectolitre. Par ailleurs, MAHAUT (1996), suggère que plus le PHL est élevé, plus le rapport amandes/enveloppes est important et par conséquent, le rendement semoulier est élevé.

Selon SOLTNER (2005), le PHL est un élément de qualité qui dépend de plusieurs paramètres:

- l'humidité (plus le grain est sec, plus son PHL augmente).
- la bonne nutrition durant la maturation (les grains échaudés moins présents).
- la propreté de la récolte (les déchets plus légers diminuent la densité).

#### **b. Poids de mille grains (PMG)**

Le PMG ou masse de 1000 grains, est un paramètre physique qui renseigne sur la dimension des grains ; c'est par conséquent un bon indicateur du rendement agronomique et semoulier, ainsi que des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement (MAHAUT, 1996).

En effet, selon LEMPREUR et ses collaborateurs (1997), les variétés à gros grains donnent un meilleur rendement en semoule que les variétés à petits grains.

**Tableau 12** : Normes de poids de 1000 grains (ITGC, 1998).

<b>Poids de 1000 grains (g)</b>	<b>Classification</b>
> 45	Très élevé
35 à 45	Elevé
30 à 35	Moyen
< 30	Faible

En comparant les résultats obtenus (**tableau 11**) aux normes établies par ITGC (1998) (**tableau 12**), on constate que la valeur moyenne 53,59g de PMG de blé analysé (issus d'un coupage de blé dur local et blé dur français) est très élevée; cela veut dire que ce blé contient de gros grains. Sur la base de cette classification, on considère que les blés utilisés par l'unité MIS durant la période de cette étude, peuvent être classés dans la première catégorie.

Les résultats des travaux effectués par BENBELKACEM *et al.*, (1995), indiquent une corrélation positive entre le PMG et le taux d'extraction quand il s'agit de la même variété.

**c. Taux de mitadinage**

Selon le règlement communautaire n°824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est un « grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse ».

Sur le plan technologique, les blés durs mitadinés entraînent une baisse du rendement semoulier (SCOTTI et MONT, 1997).

**Tableau 13:** Classement des blés en fonction de leur degré de mitadinage (MAHAUT, 1996).

Taux de mitadinage (%)	Classification
0 à 20 %	Qualité type
20 à 40 %	Acceptable
> 40 %	Non admis à l'intervention

D'après MAHAUT (1996) (**tableau 13**), le taux moyen de mitadinage des échantillons de blé dur étudiés, varie entre 3,10 et 4,66 % (**tableau 11**). Ces valeurs restent dans la fourchette des blés très faiblement mitadinés (Qualité type), avec un bon rendement.

On constate que les lots issus d'un mélange des deux arrivages présentent un taux faible en mitadinage, ceci peut être attribué à la pauvreté du blé importé par rapport au blé local en grains mitadinés. Ce point peut être également expliqué, par les bonnes conditions de culture et la présence d'une quantité suffisante de fumure azotée.

La déficience en azote ainsi qu'en soufre, empêcherait un déroulement normal de la synthèse protéique chez la plante ; c'est-à-dire au cours du remplissage du grain, si la matière protéique se trouve en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux; en revanche, la carence protéique conduit à la formation de nombreuses vacuoles d'air au sein de l'albumen, qui donnera un blé d'une masse faible et un poids à l'hectolitre restreint ; ce qui exerce une influence défavorable sur le rendement semoulier (MATVEEF, 1963).

**d. Taux de moucheture**

La moucheture de grain correspond à des tâches brunes sur le péricarpe, elle est causée par des champignons (MACHEIX, 1996). Ce phénomène se traduit par la présence des points

noires dans les semoules et diminue leur qualité commerciale, on la souhaite aussi faible que possible.

Les résultats obtenus (**tableau 11**) sur les échantillons montrent des valeurs supérieures à la norme algérienne, qui est 5 % au maximum. MAHAUT (1996) estime en outre, que la moucheture est une caractéristique variétale, qui peut être favorisée par des conditions climatiques particulières au moment de la floraison.

Selon le Comité Technique Français de blé dur (2014), la moucheture est aggravée soit par des facteurs climatiques (cumul de pluies, jours de pluie, température moyenne proche de 17°C, humidité relative de 80 %), le facteur variétal, et les facteurs culturaux (apport d'azote total, apport d'azote tardif). Ainsi, le brunissement enzymatique est à l'origine d'un taux élevé en moucheture.

D'après SAMSON et DESCLAUX (2006), la moucheture est la plus grave des maladies du blé dur, elle entraîne une diminution de la qualité commerciale de froment dur et par conséquent, déprécie la qualité des semoules et l'aspect des pâtes alimentaire (présence des piqures brunes dans les produits finis : pâtes alimentaires et couscous).

#### **e. Taux d'échaudage**

L'échaudage peut être physiologique, il pourrait être dû à la coïncidence d'une brusque élévation de la température et de la période critique de sensibilité du grain, au cours de sa maturation dans le champ. L'échaudage est susceptible d'être causé par des maladies, telles que les rouilles, les piétins, et les septorioses (GODON, 1997).

Le blé analysé présente un taux d'échaudage qui oscille entre 0,51 % et 0,57 % (tableau 11), ces résultats sont conformes à la norme algérienne qui le limite à 5 % au maximum.

L'échaudage entraîne une perte en rendement et peut même provoquer une perte totale de récolte. Il impacte l'ensemble des composantes de la production : le nombre d'épis et poids de mille grains ; il affecte également la qualité de productivité jusqu'au poids spécifique.

## **1.2. Analyse chimique sur le grain de blé**

### **a. La teneur en eau**

La mesure de l'humidité du blé est une opération capitale dans une semoulerie, car elle permet de déterminer d'une part, la quantité d'eau à ajouter lors du conditionnement ; d'autre part, d'évaluer les risques d'altération par les moisissures lors du stockage (MARTIN, 1998).

Ce paramètre a une grande importance économique ; d'abord, parce qu'il peut influencer positivement le rendement en semoule, en facilitant la séparation entre son, amandes, enveloppes du grain. En outre, un blé plus humide, des faibles quantités d'eau lui seront ajoutée lors de l'étape de conditionnement (gains monétaires en minimisant les quantités d'eau à ajouter).

BOUGHAZZI (1990), considère que la détermination de la teneur en eau est importante, puisqu'elle conditionne d'une part, la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche et d'autres par, celle de la mise en œuvre des tests technologiques ; tel l'essai à l'alvéographe et celui de la pastification.

Le résultat de l'humidité obtenue sur le blé utilisé durant notre étude expérimentale (tableau 11), montre que la teneur en eau du blé, ne dépasse pas le seuil maximal fixé par la législation algérienne, qui correspond à 14,5 % (JORA, 2007). Ceci nous amène à dire, que ce dernier répond aux normes de l'aspect étudié.

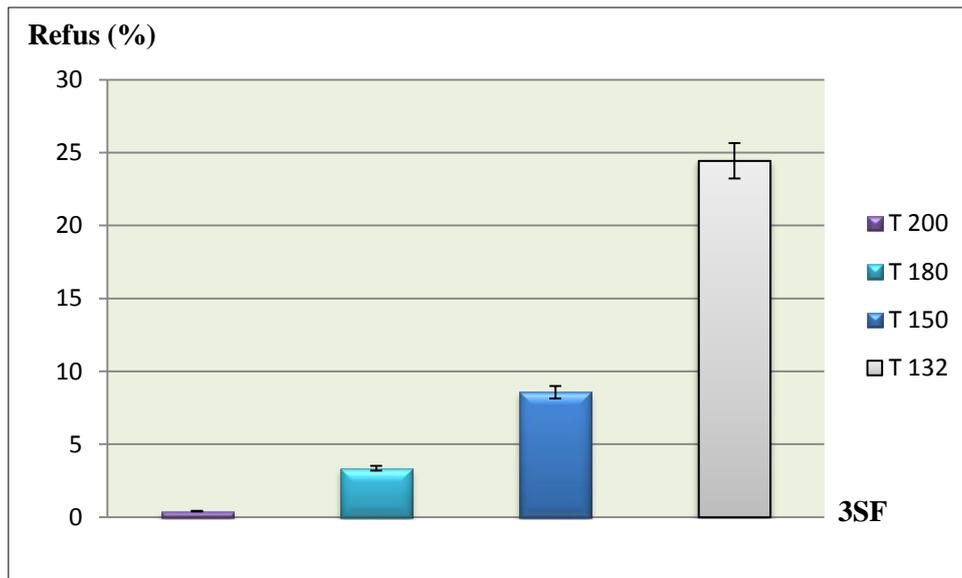
Les variations de l'humidité d'un échantillon à un autre, peuvent être attribuées aux conditions climatiques, à la région de culture, au lieu et aux conditions de stockage plus particulièrement, lorsque l'environnement est chaud entraînent une déshydratation des grains, et l'enceinte de stockage dans laquelle les conditions sont peu maîtrisées (LACENE, 1991).

## **2. Analyses des produits de mouture (SF, 3SF, coupages SF/3SF)**

### **2.1. Analyses physiques**

#### **a. La granulométrie (taux d'affleurement)**

Elle est définie comme la quantité de farine ou de semoule extraite ou refusée par un tamis, dont l'ouverture de maille est choisie en fonction de la finesse du produit (DUBOIS, 1996).

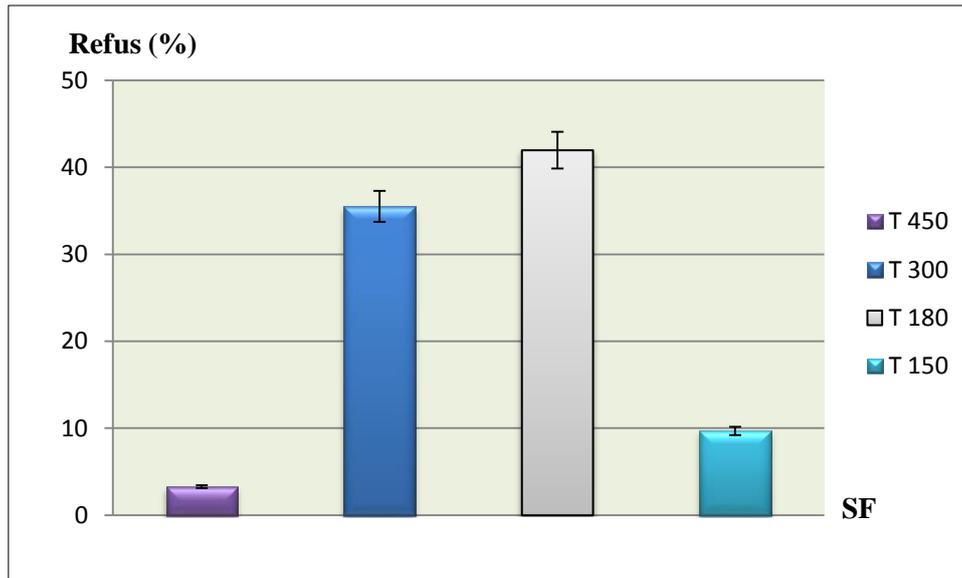


**Figure 8** : Histogramme de la granulométrie de la 3SF.

En ce qui concerne la granulométrie de la 3SF (**figure 8**), notre farine présente une distribution granulométrique inférieure à 180  $\mu\text{m}$ , qui correspond à la granulométrie d'une farine de blé tendre, du fait que le taux de refus est  $< 10\%$ .

Selon LINDHAL et ELIASSON (1992), cette distribution granulométrique est la conséquence de la friabilité de l'amande, de la variété de blé mise en œuvre, et le procédé de mouture suivi (serrage excessif).

L'analyse granulométrique permet de caractériser la répartition en taille et en pourcentage des particules qui composent une semoule. La granulométrie peut influencer la composition biochimique de la semoule et son comportement au cours de la transformation ; la qualité des produits, et leurs caractéristiques analytiques notamment la teneur en eau, l'aspect et la vitesse d'hydratation. En effet, plus une semoule est fine, plus elle est riche en amidon endommagé, ce qui entraîne une absorption élevée en eau. Ainsi, elle nous renseigne sur la finesse de la mouture et sur le réglage des machines.



**Figure 9:** Histogramme de la granulométrie de la SF.

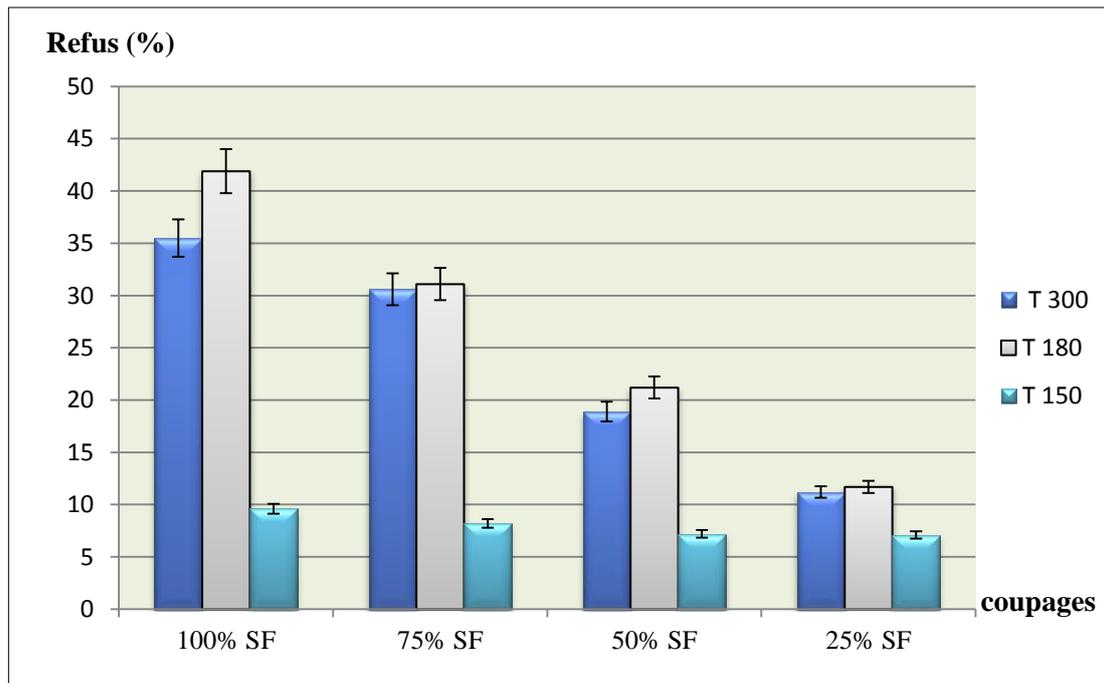
Une granulométrie homogène permet un écoulement uniforme de la semoule dans les dispositifs d'alimentation mécanique ; et une bonne élaboration de la pâte dans les presses continues (ROBERT et MATSUO, 1984).

D'après les résultats de la (figure 9), nous remarquons une distribution hétérogène de la granulométrie qui se situent principalement dans la fourchette (300 $\mu$ m-180 $\mu$ m), ce qui n'est pas conformes aux travaux des deux auteurs ROBERT et MATSUO (1984).

Une granulométrie trop fine influe négativement sur la qualité du produit élaboré, par conséquent, elle n'est pas recherchée en industrie pastière.

Pour la fabrication de pâtes alimentaires de qualité courante, on prend les semoules de granulométrie comprise entre 140 et 250  $\mu$ m, alors que pour les pâtes alimentaires de qualité supérieure, la granulométrie requise va de 180 à 530  $\mu$ m (JEANTET *et al.*, 2007), et c'est le cas de notre semoule.

La différence de répartition des particules des matières premières utilisées (SF et 3SF), pourrait être due à la composition, la texture et l'humidité de ces substrats ainsi qu'à la performance des broyeurs utilisés (MELCION, 2000).



**Figure 10** : Histogramme de la distribution granulométrique des coupages de SF et 3SF.

D'après la (figure 10), il ressort que la proportion la plus importante des coupages étudiés se situe dans l'intervalle (300-180 $\mu$ m) pour les deux premiers coupages, et une distribution granulométrique inférieure à 180  $\mu$ m pour les deux derniers.

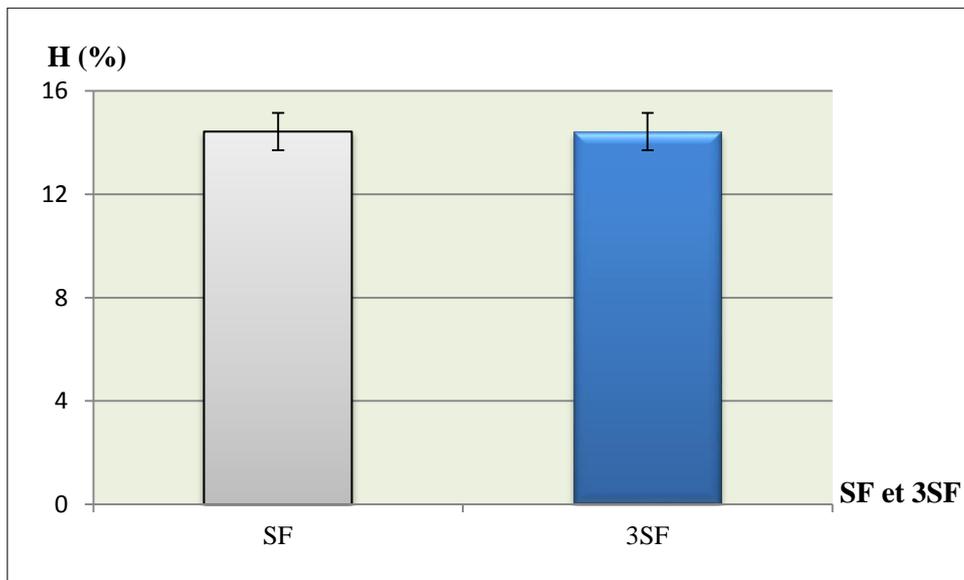
Cette granulométrie qui diffère d'un coupage à un autre, est expliquée par la quantité de semoule ou de farine comprise dans le mélange et la finesse de chacune ; c'est-à-dire, plus la quantité de farine augmente plus la granulométrie diminue, et plus la quantité de semoule augmente la granulométrie augmente.

Les coupages utilisés dans l'essai de pastification, se caractérisent par une granulométrie comprise dans l'intervalle défini par ABECASSIS (1993), recommandé pour la fabrication des pâtes alimentaires dont la taille admise ne doit pas dépasser le seuil 350 $\mu$ m. C'est dans cette proportion que les fabricants souhaitent recevoir leurs produits de plus en plus fin, ce qui permettrait d'augmenter le débit des presses, de réduire la durée de malaxage tout en produisant des produits plus homogènes, plus lisses, sans grosses piqures apparentes, ni points blancs et sans altération pour la couleur ni pour la qualité culinaire (ABECASSIS, 1991).

## 2.2. Analyses chimiques

### a. La teneur en eau

La teneur en eau des produits de mouture est un critère essentiel de leurs conservations. La détermination de cette teneur trouve son importance dans la précision des divers résultats analytiques qui sont rapportés à la matière sèche (MULTON et MARTIN, 1984).



**Figure 11** : Histogramme de la teneur moyenne en eau de la SF et 3SF.

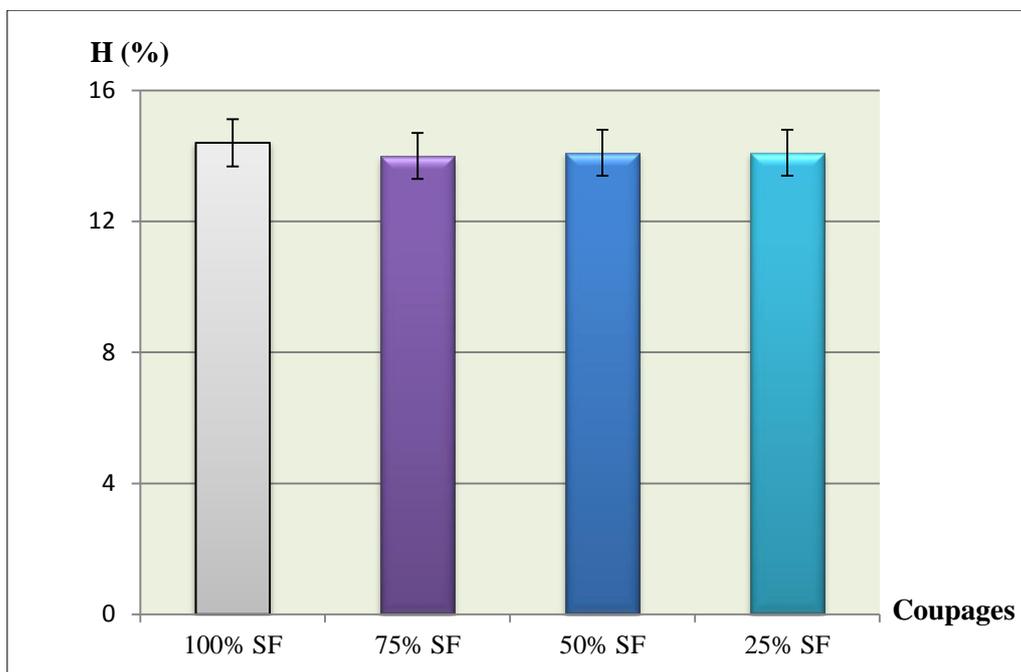
La teneur en eau des échantillons de semoule et 3SF varie entre 14 % et 14,5 %, avec la même moyenne de 14,4 % pour les deux (figure 11).

La teneur en eau est très variable, en fonction d'une part de la saison, d'autre part de la quantité d'eau à ajouter au blé avant mouture.

Toutefois, les conditions d'entreposage doivent aussi être prises en compte ; car un produit tel que la semoule, composé de particules hygroscopiques, entreposé dans des sacs en papier kraft, son humidité est aggravée par les conditions climatiques particulières (atmosphère sèche).

Les résultats de la teneur moyenne en eau des coupages de SF et 3SF (figure 12), montrent que cette dernière varie de 14 à 14,4 %. Ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne qui fixe une limite maximale de 14,5 % pour la semoule et 15,5 % pour la farine de blé dur, et

donc un mélange de ces deux produits de mouture à des proportions différentes, donne aussi un résultat qui répond à la norme déjà citée.



**Figure 12** : Histogramme de la teneur moyenne en eau des différents coupages.

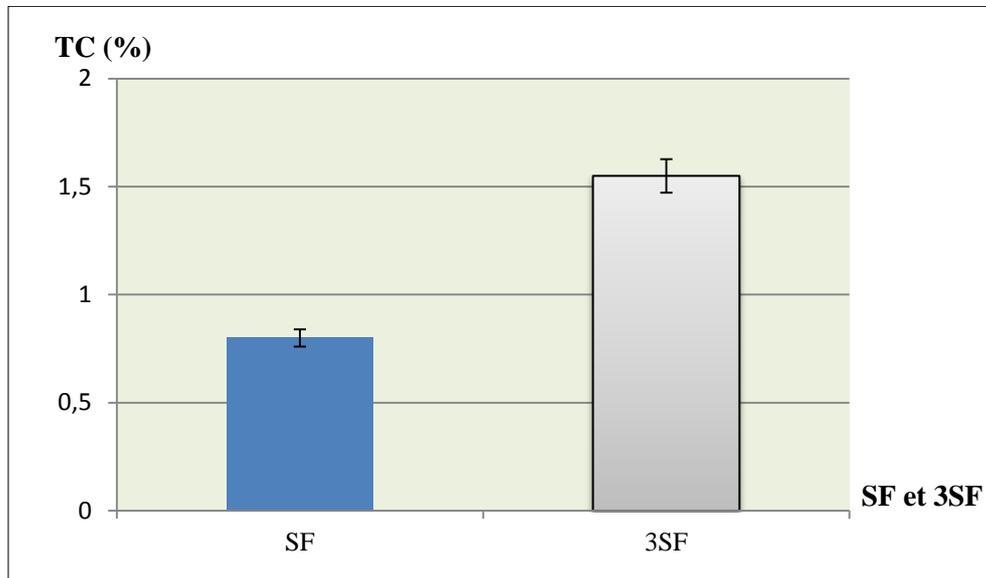
La connaissance de la teneur en eau des coupages, nous renseigne sur plusieurs critères importants ; d'abord les conditions de stockage du blé (milieu humide, moyennement humide, sec). Ainsi l'aptitude de la semoule ou la farine de blé dur à être stocker sans risque d'altération. Sur le plan technologique, la détermination de cette teneur permet d'entrevoir la quantité d'eau à ajouter lors de la pastification.

#### **b. Taux de cendres**

La mesure de la teneur en cendres a un intérêt essentiellement règlementaire. Elle permet de classer les semoules et les farines selon leurs degrés de pureté. Il est utilisé par les meuniers pour déterminer le taux d'extraction et de régler convenablement leurs moulins (FEUILLET, 2000).

Selon ABECASSIS *et al.*, (1997), la teneur en cendres est en fonction du taux d'extraction, mais également de la teneur en matières minérales du grain.

Les résultats obtenus dans notre étude (figure 13), indiquent une teneur moyenne de 0,80 % en cendres des échantillons de semoule analysés, qui est conforme à la norme algérienne de l'année 2007, exigeant une teneur qui ne dépasse pas 1% ms.



**Figure 13** : Histogramme du taux moyen de cendres de la SF et la 3SF.

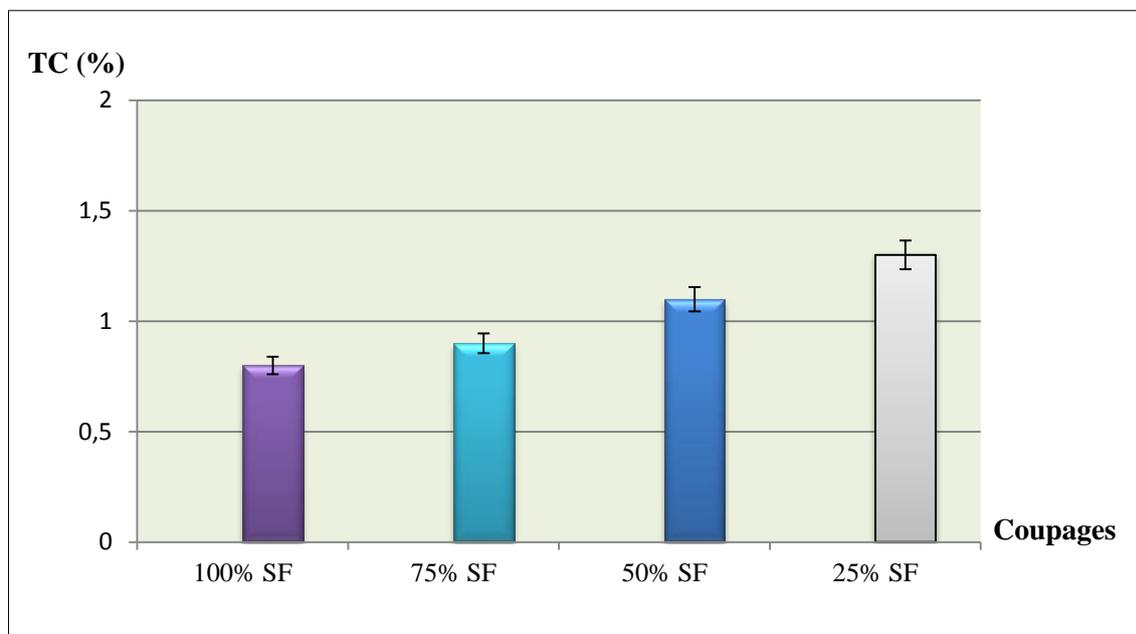
Les résultats de la (figure 13), montrent aussi que les farines de blé dur ont des taux en cendres variant de 1,54 à 1,57 % ms, avec une moyenne de 1,55 % ms. Cette valeur est supérieure aux résultats rapportés par BOYACIOGLU et DAPPOLONIA (1994), qui trouvent des teneurs fluctuantes entre 0,75 et 0,80 %. Cette élévation anormale pourrait s'expliquer soit par un serrage excessif des appareils à cylindres ou par un mauvais conditionnement du blé.

Selon COLAS et PETE (1984), la teneur en cendres serait influencée par plusieurs facteurs tels que :

- Les facteurs génétiques : la dureté, la taille et la teneur en enveloppes des grains.
- Les facteurs pédologiques : la nature du sol, sa richesse en humus et la disponibilité des minéraux du sol.
- Les facteurs climatiques : l'humidité et l'ensoleillement.
- Les facteurs agronomiques : nature de fumure, la densité des semis et les précédents culturaux.

- Les facteurs physiologiques : état de maturité du blé à la récolte, maladies cryptogamiques.
- Les traitements technologiques : type de conditionnement avant mouture et le taux d'extraction.

D'après ABECASSIS (1993), la teneur en cendres de la farine de blé dur, dépend du taux de contamination de l'albumen amylicé par les parties périphériques du grain (enveloppes, couche à aleurone) et par le germe lors de la mouture. On pense qu'un taux de cendres élevé peut aussi être dû à un mauvais nettoyage de blé à la réception ; la présence des pierres moulus avec les grains de blé, favorise l'augmentation des débris minéraux dans les produits de la première transformation.



**Figure 14** : Histogramme de taux de cendres des coupages SF et 3SF.

La (figure 14), révèle une variation de la teneur en cendres des coupages analysés, ces valeurs sont comprises entre 0,8 et 1,37% ms. Les deux premiers coupages qui contiennent un pourcentage élevé en SF (100% SF et 75% SF), présentent un taux de cendres de 0,8 et 0,9 % ms respectivement, ce taux reste inférieur à la limite maximale fixée par la législation algérienne qui est de 1% ms.

Les deux autres coupages (50% SF et 25% SF), montrent un taux de cendres supérieur à 1% ms. On observe aussi que cette teneur augmente avec l'augmentation de la proportion de la 3SF dans le coupage, donc cette élévation est due à cette dernière (3SF), ce qui a été déjà confirmé par l'analyse de son taux de cendres.

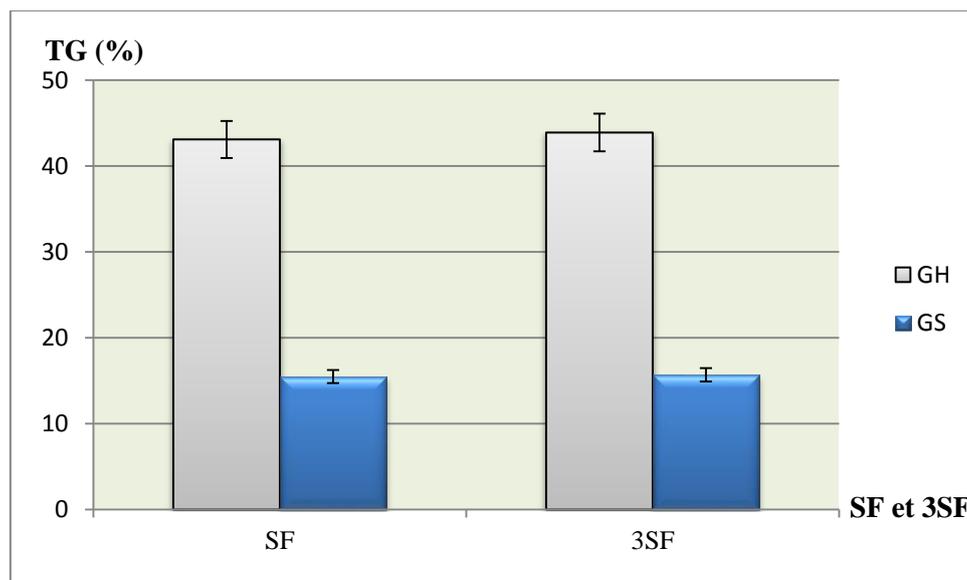
Cette élévation de la matière minérale de la 3SF est due aux facteurs déjà cités.

### 2.3. Analyses technologiques

#### a. Taux de gluten

Le gluten est un complexe composé majoritairement de gliadines et glutenines. D'après POPINEAU (1992), les propriétés viscoélastiques du gluten dépendent principalement d'un ensemble complexe d'interactions entre les protéines de réserves monomériques (gliadines) et polymériques (gluténines). Ainsi, les gliadines et glutenines du blé sont capables en présence d'eau de s'associer, pour former un réseau, lui-même insoluble dans l'eau, appelé réseau glutineux ou gluten. Ce réseau est doué de propriétés rhéologiques et permet de plus à la pâte, de retenir le gaz CO<sub>2</sub> issus de la fermentation (DELFRATE et STEPHAN, 2005).

D'après D'EGIDIO *et al.*, (1979), les caractéristiques rhéologiques et physicochimiques du gluten conditionnent pour une large part, la qualité technologique et commerciale des semoules et des blés et par la même, leur qualité industrielle et leur aptitude à la pastification.



**Figure 15** : Histogramme du taux moyen de gluten humide et sec de la SF et 3SF.

Les résultats de (figure 15), indiquent que les semoules fines renferment des taux de gluten humide variant de 42,3 % à 43,7 % avec une moyenne de 43,1 %.

Ces teneurs en gluten humide sont conformes à celle de GREZEL (1999), qui a rapporté que cette teneur doit être supérieure à 26 %.

La teneur en gluten sec de la semoule fine, est d'une moyenne de 15,2 % (figure 15). Cette dernière est supérieure à 13%. D'après DEGIDIO *et al.*, (1979), pour les teneurs en gluten sec supérieures à 13 % ; les semoules sont considérées de bonne qualité pastiere et donnent un excellent produit finis.

Concernant la 3SF, les résultats révèlent que la teneur en GH se situe entre 43,3% et 44,5% avec une moyenne de 43,9 %. Elle corrobore celle de GREZEL (1999), citée plus haut.

Le taux de gluten sec de la 3SF, présente une valeur moyenne de 15,5% ; ces dernières correspondent à celles rapportées par GEOFEROY (1950), qui note qu'un gluten doit répondre qualitativement et quantitativement aux exigences attendues et qu'une bonne pâte exige un taux de GS supérieure à 8 %.

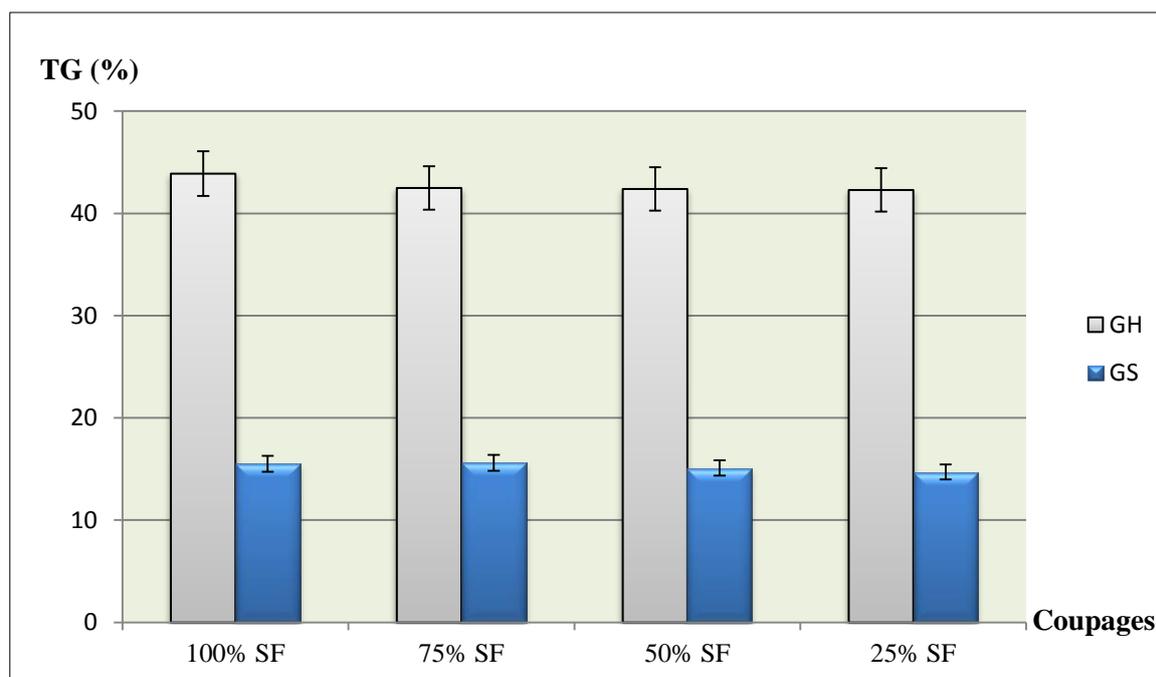
CALVEL (1980), a rapporté que la valeur boulangère d'une farine augmente avec sa teneur en protéine et en gluten sec.

Selon ABECASSIS (1987), les semoules les plus fines issues de l'albumen périphérique présentent des teneurs élevées en protéines mais aussi en gluten, sachant que la concentration en protéines augmente du centre de l'albumen vers la périphérie du grain.

D'après la (figure 16), la teneur moyenne en gluten humide des quatre coupages varie entre 42,3 et 43,9 % ; ces dernières sont conformes à celle de GREZEL (1999) déjà citée (> 26%).

On constate suite à ces résultats, que les valeurs de GS des différents coupages qui varient entre 14,7 et 15,6 % sont conformes à celles rapportées par GEOFEROY (1950).

On a aussi enregistré, que le taux des glutens humide et sec augmente avec l'augmentation de la proportion de SF introduite dans les coupages.



**Figure 16** : Histogramme des taux moyens de gluten humide et sec des coupages de SF et 3SF.

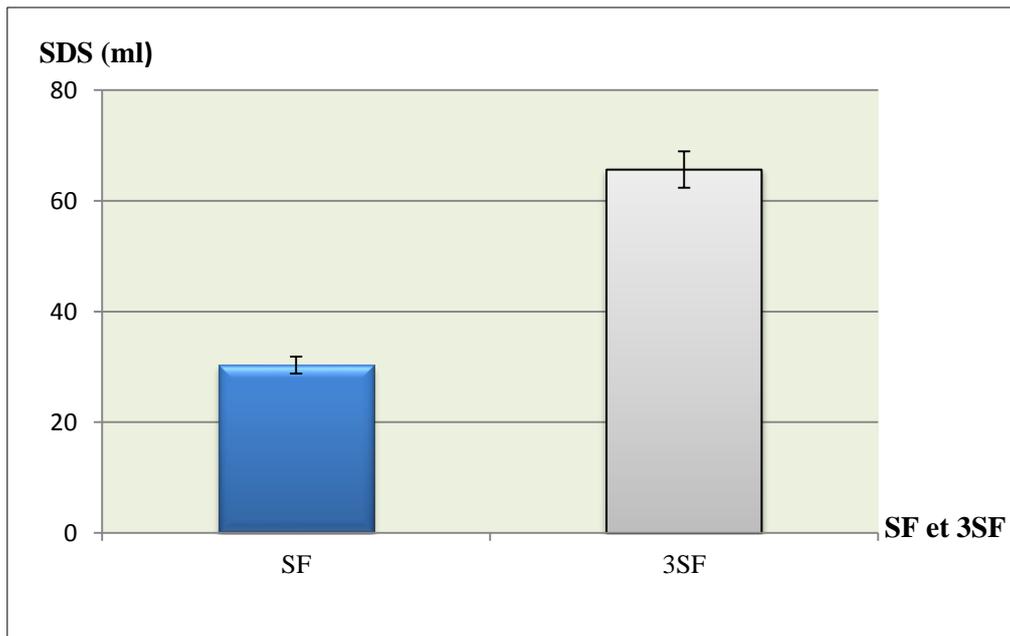
Ce résultat peut être attribué à la richesse de la SF (issue de la périphérie) en gluten par rapport à la 3SF, vu que la périphérie du grain à maturité physiologique est composée d'un grand nombre de protéines gluteniques que le centre de l'albumen.

### b. Test de sédimentation

Il caractérise la qualité et le pouvoir de gonflement des protéines en milieu SDS. Selon GODON et LOISEL (1997), ce test est un moyen indirect qui permet d'apprécier la force du gluten d'un blé.

Les volumes de sédimentations en milieu SDS obtenus pour la semoule (figure 17), ont une moyenne de 30,3 ml. Cette valeur est bien inférieure au niveau minimum (60 ml) fixé par WILLIAMS *et al.*, (1988).

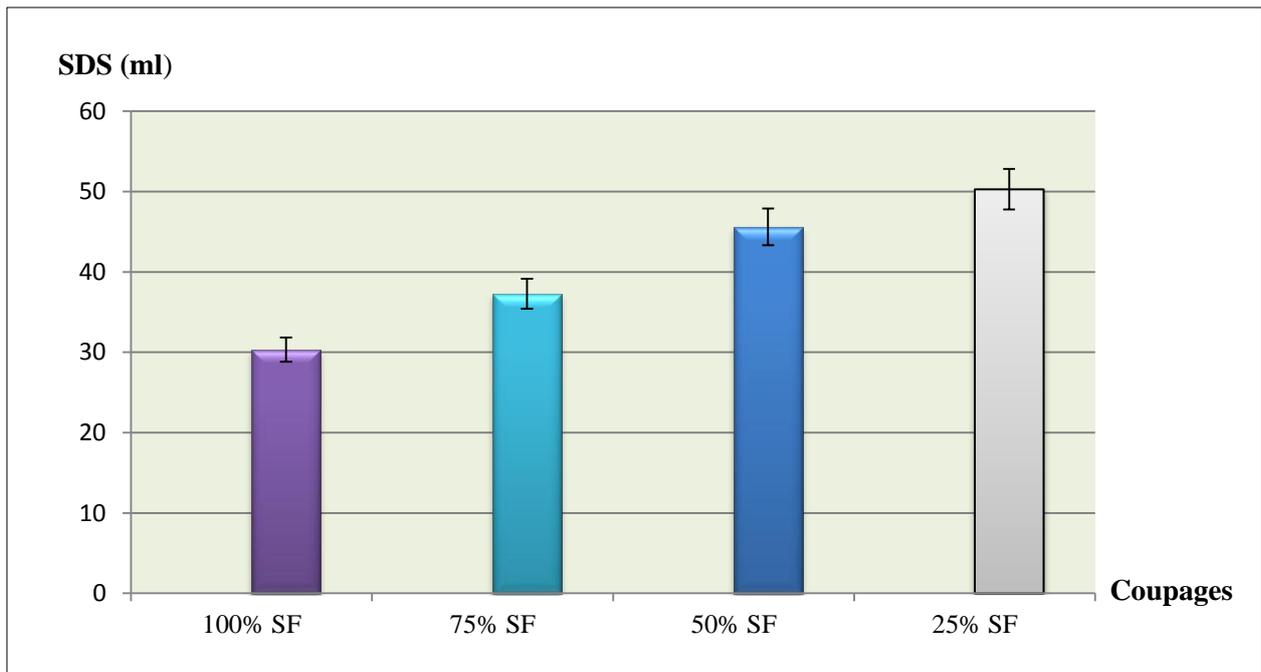
En effet, ABECASSIS et CHAURAND (1997), mentionnent que les valeurs obtenues sont d'autant plus élevées que la qualité pastière des semoules est bonne. De ce fait, on peut considérer que la semoule utilisée durant notre travail n'est pas d'une meilleure qualité pastière.



**Figure 17** : Histogramme de la moyenne du volume de sédimentation de la SF et la 3SF.

HUI (2006), montre que les valeurs du volume de sédimentation inférieures à 30 ml, sont enregistrées pour les semoules à faible teneur en protéines de gluten et dépendent aussi de la qualité de ce dernier (gluten faible).

Le volume moyen de sédimentation en milieu SDS, obtenu pour nos farines est de 65,6 ml (figure 17). D'après PAYNE *et al.*, (1984), les farines dont les volumes inférieures à 60 ml sont de qualité glutenique médiocre, contrairement à celles dont les valeurs sont supérieures à 60 ml qui sont de bonne qualité. Donc on peut considérer que les protéines de nos farines sont de bonne qualité (gluten fort).



**Figure 18** : Histogramme de test de sédimentation des coupages de SF et 3SF.

Les résultats du test SDS de nos coupages oscillent entre 30,3 et 50,3 ml (figure18). La valeur des deux premiers est faibles (30,3 et 37,3 ml) par rapport aux deux derniers (45,6 et 50,3 ml).

On constate aussi que les volumes du test SDS augmentent avec l'augmentation de la quantité de la 3SF dans les coupages (figure 18).

En se référant aux résultats de PAYNE et son équipe (1984) et HUI (2006), et en comparant les volumes SDS des trois derniers coupages au premier (100% SF) qui est le témoin, on peut dire que la force du gluten de ces coupages est bonne.

### 3. Analyse des pâtes alimentaires

Les différents résultats des analyses de nos pâtes, sont rapportés dans le tableau suivant :

**Tableau 14:** Tableau récapitulatif des analyses effectuées sur les pâtes préparées

Pâtes		100% SF	75% SF	50% SF	25% SF
Paramètres					
Couleur		jaune claire	jaune claire	légèrement brune	Brune
Gerçures		absentes	absentes	absentes	absentes
Piqures	blanches	présentes	moyennement présentes	traces	absentes
	brunes	présentes	traces	traces	traces
	noires	absentes	absentes	absentes	absentes
Teneur moyenne en eau (%)		10,83	10,43	11,3	11,3
Taux moyen des cendres (% ms)		0,90	1,03	1,28	1,47
Test de cuisson	T : temps de cuisson moyen (mn)	9	9,03	9,06	9,20
	PC : perte à la cuisson (g/100g ms)	4,91	4,86	4,72	4,82
	G : gonflement (%)	108,36	129,06	127,36	102,73
	Etat de surface	bon	Peu collant	bon	Très collant

### **3.1. Analyses physiques**

#### **3.1.1. Aspect des pâtes crues (état de surface)**

L'aspect d'une pâte alimentaire est déterminé par plusieurs facteurs. Le premier, c'est la coloration qui dépend en grande partie des caractéristiques des blés mis en œuvre. Les autres (gerçures, piqures, texture superficielle) dépendent avant tout, à l'exception des piqures noires, des conditions de travail des semouliers ou pastiers.

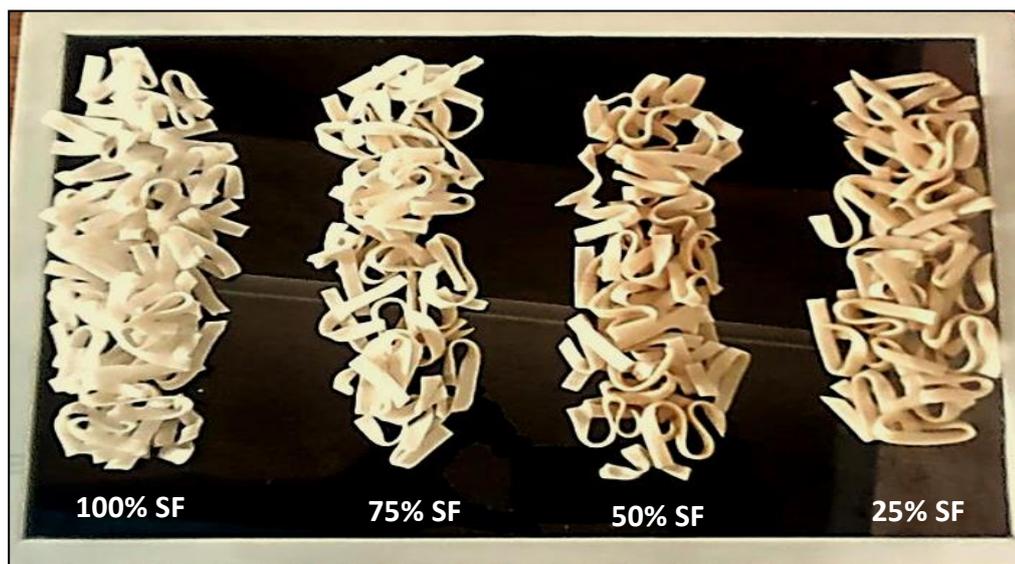
L'évaluation de l'aspect des pâtes alimentaires, permet essentiellement d'apprécier leur couleur ; car comme pour la semoule, la couleur jaunâtre ambrée des pâtes est très recherchée par le consommateur.

En réalité, la coloration est la somme d'une composante jaune que l'on souhaite élevée et d'une composante brune ou grise que l'on souhaite faible. Les constituants de la semoule qui déterminent la coloration des pâtes alimentaires sont bien connus :

- Indice de jaune : dépend de la quantité des pigments caroténoïdes présents dans la semoule et l'activité enzymatique de la lipoxygénase, susceptible de détruire les pigments au cours de la pastification.
- Indice de brun : est en fonction de l'activité d'une autre catégorie d'enzyme (peroxydase).

Dépendant essentiellement de la teneur en pigments caroténoïdes, des semoules et farines mises en œuvre et des conditions de pastification ; la couleur de pâtes issues des différents coupages n'est donc pas uniforme. En effet, l'évaluation visuelle à l'état cru permet d'apprécier la différence entre la pigmentation de pâtes préparées pour les quatre mélanges (figure 19).

Une autre évaluation visuelle a permis d'apprécier l'aspect lisse de nos pâtes, ainsi que la présence de piqures blanches et brunes et l'absence des gerçures.



**Figure 19** : Photo illustrant la différence de couleur des pâtes issues des coupages de semoule fine et farine de blé dur.

(Le pourcentage indique la teneur de la SF dans le mélange)

D'après FREDOT (2005), les piqures blanches proviennent de mauvaises conditions de pastification (hydratation, malaxage) ; les spécialistes ont l'habitude de les appeler « points blancs ». Les piqures brunes, ce sont des particules de son non éliminées au cours de la mouture et qui témoignent d'une contamination des semoules utilisées pour la fabrication des pâtes par ces dernières. Les piqures noires peuvent provenir de blé moucheté non éliminé au cours du nettoyage, que l'on retrouve broyé dans les semoules.

SAMSON et DESCLAUX (2006) et FREDOT (2006), rapportent que l'hydratation de la semoule doit se faire de façon homogène, avec un malaxage sous vide pour éviter l'apparition de piqures blanches et de bulles d'air dans les pâtes extrudées. C'est ce qui explique probablement, la présence de piqures blanches sur nos pâtes, du moment que le malaxage ne s'est pas déroulé sous vide (le pétrin utilisé n'étant pas équipé de dispositifs permettant d'appliquer le sous vide).

### **3.2. Analyses chimiques**

#### **a. Teneur en eau**

Selon DUBOIS (1994), la teneur en eau est d'une importance capitale dans la conservation des pâtes alimentaires. Elle dépend principalement des conditions de déroulement du séchage dont la finalité, est de ramener l'humidité à un taux ne dépassant pas les 12,5 %.

D'après KENT et EVERS (1994), les teneurs en eau des pâtes alimentaires sèches ne doivent effectivement pas excéder les 12,5 %, humidité au-dessous de laquelle elles peuvent être conservées sans risque d'altération par les moisissures ou les microorganismes.

Le taux d'humidité des pâtes de l'ensemble de nos coupages varie, comme on peut le constater dans le (tableau 14), entre 10,43 % et 11,3 %, ces valeurs sont conformes aux normes ; cela signifie que nos pâtes ont bien séché.

Cette humidité confère aux pâtes alimentaires une durée de vie assez importante (1 à 2 ans). Ce prolongement de la conservation consiste en générale à empêcher la dégradation chimique ou microbiologique pendant la durée de stockage; en limitant la disponibilité d'eau pour les réactions de détérioration.

#### **b. Taux de cendres**

D'après les résultats du (tableau 14), nous constatons que le taux de cendres des pâtes alimentaires (produits finis) est plus élevé que celui des coupages (matières premières).

Cet accroissement de la teneur en cendres des pâtes alimentaires provient probablement, de l'eau additionnée lors de la pastification ; vu que cette dernière est dure et n'a subi aucun traitement d'adoucissement destiné à réduire sa dureté.

Du coté nutritionnel, cette élévation du taux de cendres, enrichis les pâtes alimentaires en minéraux essentiels, notamment le calcium et le magnésium, qui sont indispensables pour l'organisme humains ; du fait que ces macronutriments possèdent de nombreuses propriétés médicinales et des rôles très important en physiologie cellulaire.

### **3.3. Analyses technologiques**

#### **3.3.1. Evaluation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires**

La qualité culinaire est une notion difficile à appréhender. Certains l'assimilent à l'aptitude des pâtes à résister à la désintégration et à conserver un degré satisfaisant de fermeté après

une cuisson prolongée. D'autres y intègrent la tendance à coller, la capacité d'absorption d'eau, la faculté de résister à la cuisson et à la sur-cuisson et à donner des produits d'un bon goût et un bel aspect (FEUILLET, 1986).

La cuisson d'une pâte alimentaire vise à gélatiniser l'amidon pour le rendre digestible, à modifier la texture de cette dernière de manière à leurs conférer les caractéristiques souhaitées par le consommateur.

Le test de cuisson constitue l'un des meilleurs moyens pratiques pour apprécier la qualité d'une pâte alimentaire. La qualité culinaire dépend des caractéristiques des blés mis en œuvre (selon les conditions de culture de la variété), de la pureté des semoules et des conditions de fabrication des pâtes (AUTRAN, 1996).

#### **a. Temps de cuisson**

Les temps minimal, optimal et maximal de cuisson, correspondent respectivement au temps à partir duquel l'amidon est gélatinisé, le temps nécessaire pour donner à la pâte cuite la texture recherchée et le temps au-delà duquel, les produits commencent à se désintégrer dans l'eau de cuisson.

Les résultats obtenus (tableau 14), montrent que le temps de cuisson de nos pâtes varie de 9 minutes et 9 min 20 secondes. Les pâtes obtenues de coupage (25% SF) mettent un peu plus de temps pour cuire (quelques secondes par rapport aux autres coupages). On constate que ce temps augmente plus avec les pâtes qui contiennent plus de farine de blé dur, cela montre qu'il y a une corrélation proportionnelle entre la teneur en protéine et le temps de cuisson. Sachant que, d'après KESSAB S et OGAL D (2015), la 3SF est plus riche en protéines que la semoule fine. En effet, plus la teneur en protéines est élevée, plus le temps que met l'eau pour traverser la trame protéique afin de gélatiniser l'amidon est long (LORENZ *et al.*, 1972).

#### **b. Perte à la cuisson**

La perte à la cuisson est le paramètre le plus important dont il faut tenir compte, car il détermine la tenue des pâtes et dépend étroitement, de la richesse de celles-ci en gluten ainsi que la qualité de ce dernier. Grâce à cette analyse, on détermine les pertes de substances dans l'eau de cuisson, cette dernière devant rester aussi limpide que possible.

D'après les travaux d'OKANDZA (2000), la perte à la cuisson renseigne sur le degré de désintégration des pâtes à la sur-cuisson qui s'explique par une dénaturation des protéines

(rupture des liaisons disulfures, hydrogènes, hydrophobes et ioniques sous l'action de la température) qui précède la gélatinisation de l'amidon ; et qui se traduit par un relâchement du réseau protéique laissant diffuser l'amylose solubilisé hors des grains ; ce qui induit une diminution indéniable de la qualité nutritionnelle et culinaire (pâtes collantes).

Nos résultats (tableau 14), montrent que les pâtes issues du coupage 50% SF ont une faible tenue à la cuisson par rapport aux autres.

Nous observant également (tableau 14), une augmentation de la perte à la cuisson à mesure que la proportion de semoule augmente (100% et 75% SF), et qu'en 50% de SF les pâtes présentent une faible tenue à la cuisson même par rapport à 25% SF. Cela peut parfaitement s'expliquer par le fait que, les teneurs en protéines et en gluten des pâtes élaborées à partir de ce coupage (50% SF), soient nettement plus élevées et forment ainsi un réseau insolubles capable d'enserrer dans ses mailles les autres constituants, notamment les granules d'amidon, diminuant de ce fait la perte à la cuisson ; tandis que, pour les pâtes issues des 3 autres coupages, le réseau protéique étant lâche, l'amylose solubilisée tend à diffuser hors du grains d'amidon gélatinisé et passe dans l'eau de cuisson.

### **c. Gonflement (capacité de fixation d'eau)**

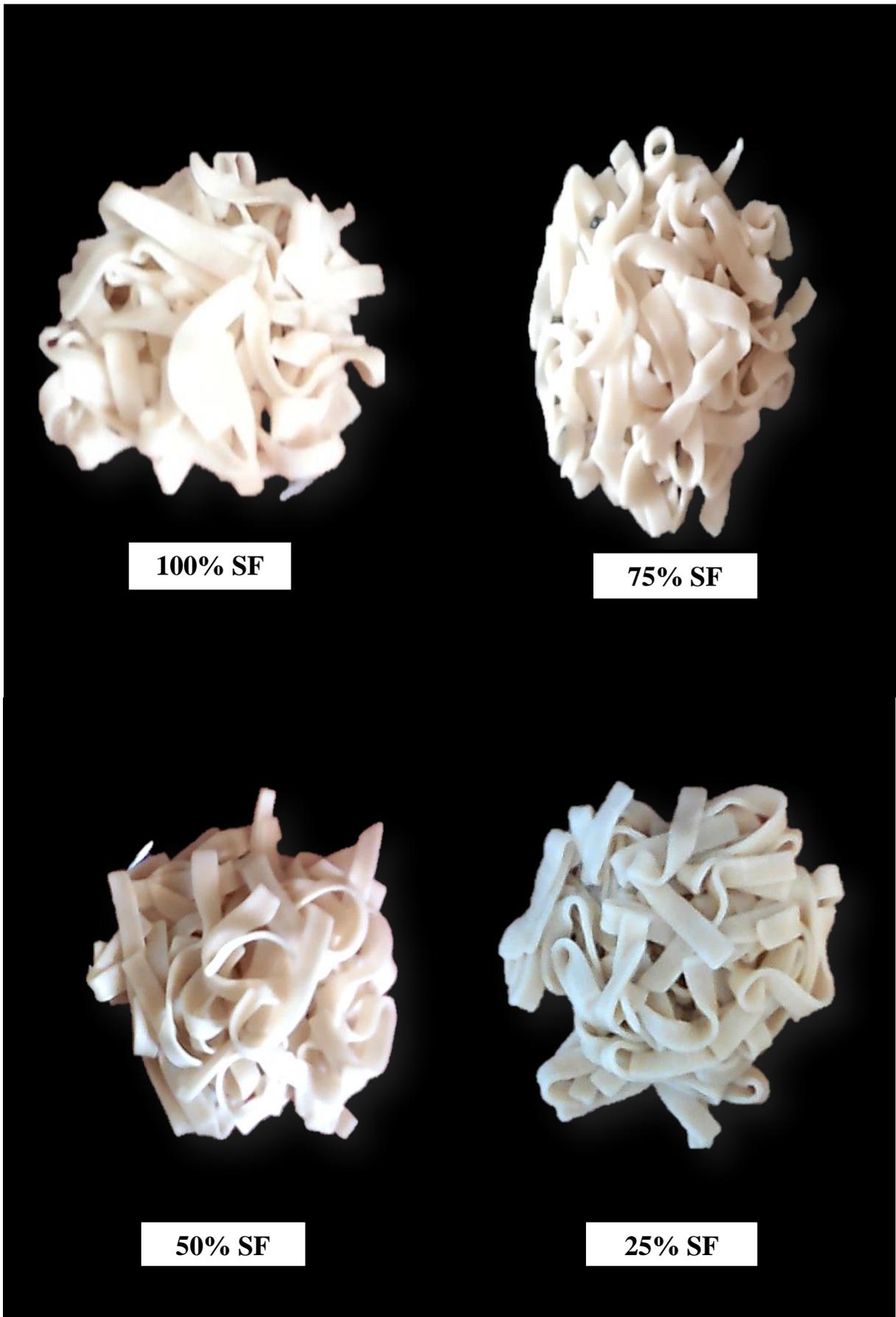
Le gonflement rend compte de l'aptitude de la pâte à retenir plus ou moins d'eau. Ce paramètre influe directement sur le poids des pâtes cuites. D'après nos résultats (tableau 14), nous remarquons que la capacité d'hydratation de nos pâtes oscille entre 102,73 % pour les pâtes issues du coupage (25% SF) et 129,06 % pour celles préparées du coupage (75% SF) ; nous constatons aussi que les pâtes qui ont un temps de cuisson élevé (25% SF) présentent des capacités de rétention (gonflement) plus faible.

Nos résultats confirment ceux d'ADAMS (1987) et DUSKIEWIEZ *et al.*, (1988), selon lesquels, plus la trame protéique qui contrôle la vitesse de gélatinisation et le degré de gonflement des granules d'amidon est importante, plus la capacité de fixation d'eau diminue.

### **d. Etats de surface des pâtes après cuisson**

L'état de surface ou de désintégration des produits, recouvre les notions de collant (prise en masse, degré d'adhésion des brins entre eux), et de délitescence (aspect plus ou moins lisse des produits cuits) (figure 20).

Nous avons clairement observés d'après nos résultats (figure 20), que l'état de surface des pâtes obtenues avec le mélange 50% SF est satisfaisant, avec un bel aspect et une bonne tenue de cuisson, en le comparant à celui de 100 % SF (pâte de référence). La pâte préparée avec (75% SF) est peu collante, mais très collante et délitescents pour celle préparée avec 25 % SF.



**Figure 20** : photos illustrant l'état de surface des pâtes cuites.

#### 4. Analyse statistique

L'analyse statistique de la variance (ANOVA), par le logiciel STAT BOX version 6.0 à un seuil de signification de 0,05 des pâtes alimentaires obtenues, suite aux différents coupages de semoule fine et farine de blé dur, montre des différences soit très hautement significatives, ou bien aucune différence entre les 4 produits au seuil de 5%.

##### a. L'humidité

Le tableau (15) ne montre aucune différence entre les 4 produits, puisque la probabilité (variance du facteur étudié) est supérieure à 0,05 (0,0639). On peut donc dire que les 4 produits (pâtes alimentaires) ont bien séché et que le barème Temps / Température est respecté durant toute la phase de séchage.

**Tableau 15** : Analyse de la variance de l'humidité.

	S.C.E	DDL	C.M	TEST F	PROBA	E.T	C.V
VAR. TOTAL	2,727	11	0,248				
VAR.FACTEUR	1,573	3	0,524	3,638	0,06391		
VAR.RESIDUELLE	1,153	8	0,144			0,38	3,46%

##### b. Taux de cendres

Les résultats du tableau (16), illustrent une probabilité factorielle (0,00005) inférieure à 0,001 ; donc une différence très hautement significative existe entre les 4 produits.

**Tableau 16** : Analyse de la variance pour le taux de cendres.

	S.C.E	DDL	C.M	TEST F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0,444	11	0,04				
VAR.FACTEUR	0,419	3	0,14	45,56	0,00005		
VAR.RESIDUELLE	0,025	8	0,003			0,055	4,94%

Le test NEWHMAN-KEULS pour le taux de cendres des pâtes alimentaires préparées (**Annexe IV**), montre qu'il existe 3 groupes homogènes :

- **Groupe A** : comprend la pâte alimentaire 25 % SF.
- **Groupe B** : comprend les pâtes alimentaires 50 % SF et 75 % SF.
- **Groupe C** : comprend la pâte alimentaire 100 % SF.

Les groupes sont classés selon la teneur en cendres ; le groupe A contient le taux de cendres le plus élevé, suivis de groupe B, ensuite le groupe C.

On peut expliquer cette classification par la quantité de 3SF incorporée dans les coupages. Le taux de cendres le plus élevé est enregistré avec le coupage qui contient la quantité la plus importante en 3SF (75%), suivis des deux autres coupages avec une quantité moyenne (classés dans le même groupe par le logiciel), et en dernier lieu, le groupe C (100% SF) avec un taux de cendres le plus faible vu que la farine de blé dur est absente dans ce mélange.

Un autre élément peut participer également à l'augmentation du taux de cendres des pâtes alimentaires préparées est l'eau ; qui est chargée en calcium et magnésium, et ajoutée au mélange durant le pétrissage sans subir aucun adoucissement.

**a. Temps de cuisson**

Les résultats du tableau 17, révèlent que la probabilité de la variance factorielle (0,45893) est supérieure à 0,05 ; donc n'y a pas de différence entre les 4 produits en ce qui concerne leurs temps de cuisson. Autrement dit, le temps que met l'eau pour traverser le réseau protéique de chaque pâte alimentaire afin de gélatiniser l'amidon est le même.

**Tableau 17** : Analyse de la variance pour le temps de cuisson.

	S.C.E	DDL	C.M	TEST F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0,795	11	0,072				
VAR.FACTEUR	0,21	3	0,07	0,959	0,45893		
VAR.RESIDUELLE	0,585	8	0,073			0,27	3,01%

D'après ces résultats, on peut dire que l'introduction de la farine de blé dur (qui contient plus de sons) à des proportions de (25%, 50%, 75%) pour la fabrication des pâtes alimentaires n'influence pas leurs temps de cuisson.

**b. Le gonflement**

Les résultats du tableau 18, font apparaitre que la probabilité de la variance factorielle (0,00049) est inférieure à 0,001. Donc y a une différence très hautement significative entre les 4 recettes de pâtes préparées.

**Tableau 18** : Analyse de la variance pour le gonflement

	S.C.E	DDL	C.M	TEST F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	1793,888	11	163,081				
VAR.FACTEUR	1593,27	3	531,09	21,178	0,00049		
VAR.RESIDUELLE	200,618	8	25,077			5,008	4,28%

Le test NEWHMAN-KEULS pour le gonflement des pâtes (**Annexe V**), révèle l’existence de 2 groupes homogènes :

- Groupe A : 75% SF et 50% SF
- Groupe B : 100% SF et 25% SF

Le coupage 100% SF et 25% SF se retrouve dans le même groupe avec un gonflement légèrement faible par rapport aux deux autre coupages du groupe A.

Cette différence peut être expliquée par l’absence totale de la 3SF dans le coupage 100% SF (non enrichissement en granules d’amidon responsables de la fixation d’eau, apportées par la 3SF).

Le coupage 25% SF présente le gonflement le plus faible. Ce dernier peut-être dû au serrage excessif de la mouture qui a comme objectif principale, l’exploitation de toutes les parties qui forment le grain du blé, cette mouture poussée a égratigné les granules d’amidon de la 3SF qui sont responsables de la fixation d’eau (gonflement), en créant une porte d’entrée aux enzymes de cette même farine (amylases) pour le catabolisme d’ amidon en sucres simples et donc un gonflement moins important de la pâte alimentaire obtenue de ce coupage lors de sa cuisson.

Le gonflement de la pâte alimentaire diminue avec l’augmentation de la quantité d’amidon endommagé provenant de la 3SF, introduite dans le coupage avec lequel cette pâte est préparée et c’est le cas (75% 3SF). Alors que les coupages qui contiennent des quantités

inférieures en farine et élevés en semoule de blé dur (groupe A), ont montrés un gonflement plus important.

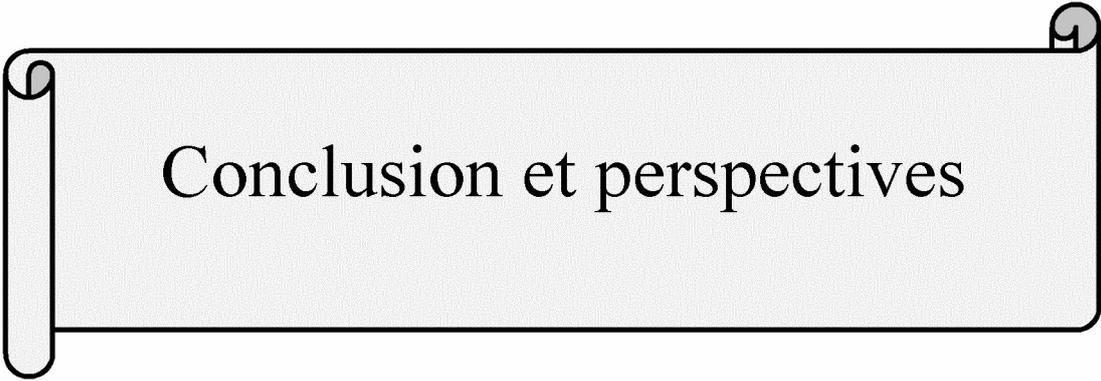
**c. Les pertes**

On constate d’après les résultats du tableau 19, que la probabilité de la variance factorielle (0,16366) est supérieure à 0,05 ; donc aucune différence entre les 4 produits en ce qui concerne les pertes lors de la cuisson n’est enregistrée.

**Tableau 19** : Analyse de la variance des pertes lors de la cuisson

	S.C.E	DDL	C.M	TEST F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	0,134	11	0,012				
VAR.FACTEUR	0,061	3	0,02	2,212	0,16386		
VAR.RESIDUELLE	0,073	8	0,009			0,096	1,98%

D’après ces résultats, on peut dire que les pertes sont similaires entre les 4 produits, et sont en relation avec la qualité et la quantité de protéines des pâtes alimentaires élaborées ; elles forment un réseau protéique insoluble qui enserre dans ces mailles les autres constituants notamment l’amidon et les empêchent de diffuser lorsque l’eau de cuisson traverse la trame protéique.



Conclusion et perspectives

L'utilisation de la farine de blé dur en industrie pastière est très intéressante sur le plan économique, en raison de son faible coût.

Notre objectif à travers ce travail, consiste à un essai de valorisation de la farine de blé dur dans la fabrication des pâtes alimentaires, et la détermination de l'impact de son incorporation sur la faisabilité technologique, propriétés culinaires et organoleptiques du produit fini.

Nous avons d'abord réalisé des analyses sur les grains ; les résultats font ressortir que le blé étudié avait un PHL élevé et possédait un grain lourd, puisque son PMG appartient à la première catégorie. Il présentait aussi un taux faible en grains mitadinés et échaudés, avec une valeur moyenne de moucheture légèrement supérieure à la norme algérienne.

Ensuite, nous avons préparés des coupages à base de semoule fine et la farine de blé dure à des proportions différentes, sur lesquels des analyses physicochimiques et technologiques sont effectuées, et qui ont révélés des teneurs en gluten conformes à la littérature scientifique. De même, l'indice de sédimentation de nos coupages est moyen pour la SF et élevé pour la 3SF, signe de gluten fort.

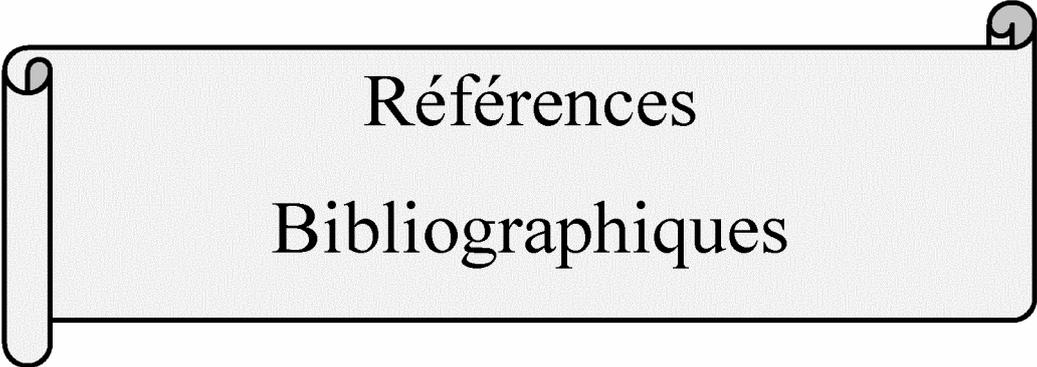
Puis, nous avons essayé de comparer la qualité des pâtes alimentaires obtenues après les essais de pastification réalisés avec les trois coupages de SF et 3SF, et en se référant à une pâte préparée avec une SF à 100% (pâte de référence). Les conclusions auxquelles nous avons pu aboutir sont les suivantes :

- Le coupage (25% SF - 75% 3SF), a donné une pâte de qualité médiocre, collante et délitescente, avec une couleur brune.
- Le coupage (50% SF -50% 3SF), a donné une pâte de bonne qualité à propriétés culinaires satisfaisantes, non collante, ne se désintègre pas, supportait bien la cuisson et gardait sa fermeté, avec une couleur légèrement brune.
- Le coupage (75% SF- 25% 3SF), a donné une pâte alimentaire ayant une couleur presque identique à celle de la pâte de référence, peu collante, une fermeté légèrement perdue après la cuisson optimale.

Enfin, nous avons déterminés la limite d'utilisation de la farine de blé dur dans un coupage destiné à la valorisation pastiere. En effet, un produit fini de qualité appréciable a été obtenus à partir d'un mélange de 50% SF et 50% 3SF issus de la mouture de blé dur local et blé dur importé (20% - 80 %) respectivement.

Pour compléter cette étude, il serait intéressant d'élargir les perspectives du projet et de s'intéresser aux volets suivants :

- Une analyse sensorielle : dégustation des pâtes alimentaires préparées après cuisson, en vue d'estimer le caractère hédonique de ce produit pour le consommateur ;
- Réaliser d'autres essais avec des proportions différentes pour améliorer la couleur ;
- Ajout des colorants alimentaires pour améliorer l'aspect externe de ces pâtes, car la coloration est un facteur important, et parfois même décisif dans le choix d'un aliment ;
- Etude de la faisabilité industrielle.



Références  
Bibliographiques

## A

- ❖ **ABECASSIS J., (1993)** : Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Industries des céréales (81), pp. 25-37.
- ❖ **ABECASSIS et CHAURAND M., (1997)** : Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et pastification. In : guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed : Tec et Doc, Lavoisier paris. 2<sup>ème</sup> Ed. p746, 774.
- ❖ **ABBASSENNE F., BOUZERZOURH., HACHEMIL., (1998)** : Phénologie et production en zone semi-aride d'altitude. Ann. Agro. INA. 18 : 24-36.
- ❖ **ABECASSIS J. et FEILLET P., (1985)** : Pureté des semoules du blé dur, taux de cendres et règlementations. Ind. des céréales. n °36.
- ❖ **ABECASSIS J., (1987)** : La mouture d'essai du blé dur : Recherche et applications industrielles. Mémoire D'ingénieur .Ed .Ecole National Supérieur de Meunerie et des Industries Céréalières ; 146p.
- ❖ **ABECASSIS J., (1991)** : La mouture de blé dur. In, les industries de première transformation des céréales. Ed. Tec et Doc, LAVOISIER. Paris, P.362-393.
- ❖ **ABECASSIS J., (1996)** : Comprendre la qualité : la valeur semoulière, comment s'explique-t-elle ? Coll., perspectives blé dur INRA. Montpellier France. 37 -56.
- ❖ **ABECASSIS J., AUTRAN J.C.et FEILLET P., (1996)** : Blé dur. In colloque « perspectives de blé dur ».Ed. NIC, ITCF. France, p26.
- ❖ **ABECASSIS J., AUTRAN J.C. et FEILLET P., (1997)** : Le blé dur. INRA unité de technologies des céréales, ITCF.
- ❖ **ADAMS K., (1987)**:Factors affecting the quality of cooked and canned spaghetti and the interactions of glutamine and gliadins with 7S and 11S soybean proteins. Univ. Manhattan, Kansas 66506, USA, Dissertation Abstracts International.
- ❖ **ADRIAN, (1987)** : La composition du blé et ses apports et les aliments céréalières dans l'équilibre alimentaire. Ed fondation RONAC, Paris.
- ❖ **AFNOR., (1991)** :178, Norme Codex pour la semoule et la farine de blé dur.
- ❖ **AFNOR., (1997)** : Recueil des normes françaises, céréales et produits céréalières. Ed : AFNOR 4<sup>ème</sup>.
- ❖ **AUTRAN J.C., (1996)** : La qualité culinaire. De quoi est-elle faite, Colloque « perspective blé dur ». Toulouse. Labège. France.

## B

- ❖ **BABA M. et BAKHELLA M., (1994)** : Etude de la dureté des blés marocains .Industries des céréales, 110, pp. 27.
- ❖ **BAKECHE C., (1994)** : Etude de la chaine de fabrication de couscous industriel. Rapport de DEUA. INATAA. Université de Constantine. 23p.
- ❖ **BAHLOULI F., BOUZERZOURH., BENMAHAMEDA., HASSOUSK.L. (2005)**:Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum*Desf.) cultivars under semis arid conditions. Pak .J. Agron. 4:360-365.

- ❖ **BENBELKACEM A., SADLI F. et BRINIS L. (1995)** : La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Ed. CIHAEM : option méditerranéennes. Zaragoza, p.62.
- ❖ **BEROT S. et GODON B. (1991)** : le craquage des grains ; in : « Biotransformation des produits céréaliers ». Ed. Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris, 23-78.
- ❖ **BONJEAU A et PICARD E., (1991)** : Les céréales à paille. Origine-histoire-économie-sélection. Ligugé ; Poitiers : Aubin imprimer. 36p.
- ❖ **BOUDREA A et MATSUO G., (1992)** : La semoulerie .In : Le blé, éléments fondamentaux et transformation .Ed : les presses de l'université LAVAL.P 166,179.
- ❖ **BOUDREAU A. et MENARD G., (1992)** : Le blé : éléments fondamentaux et transformation .Ed .Les presses de l'université de LAVAL. Québec, p29, 32, 34, 101, 102, 131, 173, 197.
- ❖ **BOUGHAZZI M., (1990)** : Contribution à la détermination de l'incidence de l'incorporation de la SSSF dans les farines panifiables. Mémoire d'ingénieur (Blida).
- ❖ **BOUKHAMIA AS., (2003)** : Aptitude technologique de quelques variétés du blé dur local : Interaction amidon-protéines., Thèse Magister I.N.A.
- ❖ **BENMAHAMMED A., H. NOUAR, L. HADDAD, Z. LAALA, A. OULMI, H. BOUZERZOUR (2010)** : Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous conditions semi-arides. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 14 : 177-186.
- ❖ **BOURGEOIS C.E., (2003)** : Les vitamines dans les industries agroalimentaires. Edition TEC et DOC, Paris.708 pp.
- ❖ **BOUTHIBA A., P. DEBAEKE, SA.HAMOUDI. (2010)**: Varietal differences in the response of durum wheat to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. Irrigation Science 26: 239-251.
- ❖ **BOYACIOGLU M.et DAPPOLONIA B. L., (1994)**: characterization and utilization proprieties between bread wheat flour and durum wheat flour.Cereal chemistry.
- ❖ **BRENEAU P., (1984)** : La meunerie. In : Céréales et Oléagineux, manutention, commercialisation et transformation. Ed : institut international du Canada pour le grain 1000-303 main Streets 3<sup>ème</sup> Ed.
- ❖ **BULEON A. et COLONNA P. et LELOUP V., (1990)** : Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. Industries des céréales agro-alimentaires, 6, pp. 515-532.

## C

- ❖ **CLARKE J.M., MCCAIG T.N, DEPAUW R.M., KNOX R.E., AMES N.P, CLARKE F.R., FERNANDEZ M.R., MARCHYLO B.A et DEXTER J.E ., (2005).** « Commander DurumWheat ». Can J. Plant Sci. /Revue canadienne de phytotechnie, 85 : 901-904.)
- ❖ **CALVEL R., (1980)** : La boulangerie moderne. 1<sup>ère</sup> éd. Ed : Eyrolles. 11-78.
- ❖ **CALVEL R., (1984)**: La boulangerie moderne .1<sup>ère</sup> Ed : Eyrolles.11, 459.

- ❖ **CHENAFFI H., A. AIDAOU, H. BOUZERZOUR, A. SACI. (2006):** Yield response of durum wheat (*triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. Asian Journal of plant Sciences 5: 854-860.
- ❖ **CIC., (2008) :** Rapport annuel du Conseil International des Céréales « CIC » pour l'année 2008.
- ❖ **COLAS, (1997) :** Dosage des cendres et matières minérales in Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales, p305.
- ❖ **COLAS. A et PETEL. D., (1984) :** Analyse physique des farines. In : guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed : Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

## D

- ❖ **D'EGIDIO M.G., FORTINI S., GALTERIO G., MARIANI B.M., SGRULLERTTA D. et VOLPI M. (1979) :** Protéines totales et composition protéiques de semoules de blés durs italiens : corrélations avec la qualité des pâtes alimentaires. Plants foods for Human Nutrition (formerly Qualitasplantarum), Volume 28, n° 4, p 333-347.
- ❖ **DELFRATE R et STEPHAN C., (2005) :** Mieux connaître la farine : spécial analyses, les nouvelles de la boulangerie 85. 1-16.
- ❖ **DEXTER JE et EDWARDS NM., (1998) :** Les incidences des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé dur. Association of opérative Milers-Bulletin. Commission canadienne des grains, p12.
- ❖ **DEXTER DE., (2008) :** Historique de l'amélioration du blé dur au Canada et sommaire des recherches récentes de la commission canadienne des grains sur certains facteurs associés à la transformation du blé dur. Laboratoire de recherche sur les gains, commission canadienne des grains, 1404-303, rue Main Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8 Canada, p 18.
- ❖ **DEXTER J E et MATSUO R., (1980):** Relationship between durum wheat proteins properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking of developing durum wheat. Can. J. plant sci. V57, p. 7, 16.
- ❖ **DJELTI H., (2013) :** Etude de la qualité de blé tendre utilisé en Meunerie Algérienne.
- ❖ **DOMANDJI A, DOUMANDJI S .et DOUMANDJI MITICHE B., (2000) :** Cours de technologie des céréales, technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes au stock. Office des publications universitaires.
- ❖ **DUBOIS M., (1994) :** Contrôle de qualité. Eau, Farine, Levure et Pain. In. La panification française. Ed. Tec et Doc: 506-516.
- ❖ **DUBOIS M., (1996) :** Les farines : caractéristiques des farines et des pâtes. In « industries des céréales ». N° 97. Ed. Lavoisier, Paris. P 679. Pp 19-29.
- ❖ **DUSKIEWIEZ M., REINHRD K., KHAN K., DICK J. et HALM Y. (1988):** Shelf life stability of spaghetti fortified with legume flours and protein concentrates. Cereal chem. V65, n°4, p278, 281.

## F

- ❖ **FAO (2015)** : Utilisation des aliments tropicaux : Céréales. FAO. Alimentation et Nutrition. 47/1 Rome. 120p.
- ❖ **FARRAND EA., (1972)**: Controlled levels of starch damage in commercial United Kingdom bread flour and effects on absorption; sedimentation value and loaf quality. Cereal. Chem. 49:472-488.
- ❖ **FEILLET., (1986)**: L'industrie des pâtes alimentaires: Technologie de fonction, qualité des produits finis et des matières premières. IAA. (octobre 1986), p 978,986.
- ❖ **FEILLET P., (2000)**: Le grain de blé : Composition et utilisation. Ed. INRA .Paris 23-34,57,58,72,94,114,115,123,135 ,187,199,229,253,261.
- ❖ **FELDMAN M., (2001)**: origin of Cultivated Wheat. DansBonjean A.P. et W.J. Angus (éd) The World Wheat Book: a history of wheat breeding. Intercept Limited, Andover Angleterre, p 3-58.
- ❖ **FRANCONIE. H, CHASTANET. M et SIGAUT. F., (2010)** : Couscous, boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed : Karthala, Paris.
- ❖ **FREDOT E., (2005)** : Connaissances des aliments. TEC et DOC, Paris, 397p.
- ❖ **FREDOT E., (2006)** : Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique : les produits céréaliers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris, p. 161, 162, 166, 167, 190, 191.

## G

- ❖ **GATEP., (1995)** : Ecophysiologie de blé. Ed Tec et Doc. Lavoisier. Paris.429p.
- ❖ **GEOFFEROY., (1950)** : Le blé : la farine et le pain. Ed. Dunod-Paris.
- ❖ **GODON B., (1991)** : Biotransformation des produits céréaliers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris.
- ❖ **GODON B et LOISEL., (1997)** : Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. 2°. Ed. tec et Doc. Lavoisier. 810P.
- ❖ **GODON B., (1997)** : Méthode de séparation des protéines. In « Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales ». Ed : ISBN 2-7430-0123-2. Pp 316-339.
- ❖ **GODON E et WILM C., (1991)** : Les industries de premières transformations des céréales .Ed. TEC et DOC.LAVOISIER .Paris, ISBN : 2-7430-0123-2, p122-154.
- ❖ **GRANDVOINNET P et PRATY., (1994)** : Les ingrédients des pâtes, farines, et mixes. In : panifications françaises .Ed : TEC et DOC .Lavoisier .paris.
- ❖ **GREZEL E., (1999)** : Les caractéristiques des blés de récolte 1999. Vue par la méthode Gluten index. Industries des céréales.

## H

- ❖ **HOLM. Y F., (1985)**: protein and lipid component of durum wheat and their effects of baking Quality. L. S. Thèses. North Dakota State University: Fargo. ND.

- ❖ **HOSNEY R.C., (1986):** Minor constituent of Cereal. In HOSNEY R.C (Ed): Principles of Cereal science and technology St Paul, Minnesola, AACC 98-110.
- ❖ **HUI Y. H. (2006):** Handbook of food science, technology, and engineering. Edition Taylor & Francis, New York, p. 158.
- ❖ **HUI Y. H., (2008):** Food Drying Sciences and Technologies: Microbiology, Chemistry, Application ed. DEStech publication Inc., Pennsylvanie, p149, 158.

## I

- ❖ **ITCF., (2001) :** Autre méthodes d'analyses de la Qualité. In : contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Ed : Tec et Doc, Lavoisier, Paris.
- ❖ **ITGC (1998) :** Catalogue variétal de l'institut technique des grandes cultures, blé dur, Oued Smar.

## J

- ❖ **JEANTET R., CROGUENEC T., SCHUK P et BRULE G., (2007) :** Du blé au pain et aux pâtes alimentaires. In « science des aliments biochimie, Microbiologie, Procédés, produits » Vol 2 : Technologie Des Produits Alimentaires. Edition Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 137-180.
- ❖ **JORA, (2007):** Journal Officiel de la République Algérienne, 2007.

## K

- ❖ **KAREL K., JOSEF G. et PONTE Jr., (2000):** Handbook of cereal science and technology 2eme Ed Marcel Dekker Inc., New York, p 655.
- ❖ **KENT N.L. et EVERS A.D., (1994):** Technology of cereals. Ed. Elsevier science Inc., 4<sup>ème</sup> Ed., New York, p. 234.
- ❖ **KESSAB S et OGAL D., (2015) :** Contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des pâtes alimentaires issues des différents passages. Mémoire de master. UMMTO.
- ❖ **KHELLOU R., (2008) :** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre de pôle de compétitivité Quali-mediterranneen. Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop. Série « magister of science » n°93 a l'institut agronomique Méditerranée de Montpellier. Ed. CIHEAM-IAMM, p9, 42, 59,60.
- ❖ **KITISSU P., (1995) :** Un nouveau paramètre paléographique (indice d'élasticité) Industries des céréales, 92, pp. 9-16.

## L

- ❖ **LACENE S., (1991)**: Influence du conditionnement des blés tendres sur la composition biochimique et des aptitudes technologiques de la farine. Mémoire d'ing UMMTO.
- ❖ **LAIGNELET B., KOBERHEL K et FEILLET P., (1972)** : Les problèmes de la coloration des pâtes alimentaires. In. AGR. Alim. 4 :418 -425.
- ❖ **LEMPEREUR I., CHAURAND M., ABECASSIS J., et AUTRAN J.C. (1997)** : Valeur semoulière des blés durs : Influence de la taille des grains. Industries des céréales, p. 13-20.
- ❖ **LINDAHL L et ELISSON A C., (1992)**: A comparison of some rheological properties of durum and wheat flour dough .Cereal Chemistry 69: 30-34.
- ❖ **LIU CY., SHEPHERD K W., RATHJEN AJ., GRAS PW et GILES LC., (1996)**: Grain quality and yield characteristics of D-Genum disomic substitutions lines in Langdon. Plant breeding. 114:pp. 34-39.
- ❖ **LORENZ K., DILSAVER W., et LOUGH J., (1972)**: Evaluation of triticale for the manufacture of noodles. J. Food Science n°37, p. 764-767.

## M

- ❖ **MACHEIX J. J., (1996)**: Moucheture : le point sur les connaissances. Actes du colloque.
- ❖ **MAHAUT B., (1996)** : Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur?, In colloque « perspectives blé dur ». éd. ONIC, ITCF. France, p.29, 30, 31.
- ❖ **MAKRITICHE F., (1984)**:Bakingquality of wheatflours Adv. food RES.29; p201-207.
- ❖ **MANSER. J., (1980)**: High-temperaturesdryingof pasta products. Buhler Diagram, 69. 11-12.
- ❖ **MARTIN G. (1998)**: L'eau dans les céréales In : les industries de première transformation des céréales. Collection science et technique agroalimentaire 2ème édition TEC et DOC. Lavoisier. Paris.
- ❖ **MATVEEF M., (1963)** : Le mitadinage des blés durs, son évaluation et son influence sur le rendement des semoules. Ed. Bull l'E.F.M., p. 198, 299-306.
- ❖ **MAZOUZ L., (2006)**: Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur dans l'étage climatique semi-aride. Thèse de magister. Institut d'Agronomie, Université Colonel El Hadj Lakhdar, Batna, 65 pages.
- ❖ **MEFTI A., A. ABDELGUERFI, A. CHEBOUTI., (2000)** : Etude de la toléranceà la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.). Field CropsResearch 66 :165-174.
- ❖ **MEKHLOUF A., H. BOUZERZOUR, A. BENMAHAMMED, A. HADJ SAHRAOUI, N. HARKATI., (2006)**: Adaptation des variétés de blé dur (*triticum durum*Desf) au climat semi-aride. Sècheresse, 17 :206-213.

- ❖ **MELCION J. P., (2000)** : La granulométrie de l'aliment : principe, mesure et obtention. INRA prod. Anim. Paris. Vol. 13, n° 2. Pp. 81-89.
- ❖ **MESSABIHI M., (2008)**: Ionisation d'un blé dur : Incidences biochimiques et physiologiques, Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie, Technologie alimentaire et nutrition humaine, p70.
- ❖ **MIRAD Z., (1985)**: Incidences de l'incorporation de deux échantillons de 3SF à la farine panifiable. C.E.R.A.L. pp. 11-19.
- ❖ **MONNEVEUX P., (2002)** : Bilan d'activités du laboratoire sur le thème : Amélioration de la tolérance a la sécheresse du blé dur. UER de génétique et amélioration des plantes, ENSA-INRA .Montpellier .36p.
- ❖ **MORANCHO J. (2000)**: Production et commercialisation du blé dur dans le monde. In: ROYO C. Nachit MM. Di Eouzou N. ArausJL: Durum Wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. ZARAGOZA: CIHEAM –IAMZ, 2000.P 29-32.
- ❖ **MULTON J.L et MARTIN G., (1984)** : Mesurage de la teneur en eau. In : guide pratique d'analyse dans les industries céréalières. Ed : Tec et Doc.
- ❖ **MULTON JL., (1992)** : Le sucre, les édulcorants et les glucides de charge dans les industries agro-alimentaires. Ed : Tec et Doc. Lavoisier. Paris.

## O

- ❖ **OKANSZA Y., (2000)** : Caractérisation technologique et biochimiques de quelques variétés de blé dur algérien. Thèse magister. INA. Alger.
- ❖ **OUKEMOUM D., (2001)** : Caractérisation et utilisation de blé dur. Comparaison des propriétés rhéologiques et boulangères entre la FDB et FBT. Mémoire Ingénieur-UMMTO.
- ❖ **OSBORNE D., (1907)**: Proteins of the wheat kermel. Publ 84, Carnegie inst. Washington. 1-19.

## P

- ❖ **PAYNE I., JACKSON. E. A et HOLT M., (1984)**: The association between  $\gamma$ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties. A direct causal effect or the result of genetic linkage. J. Cereal Sci., 2: 73-81.
- ❖ **PERSINI D E., EDWARDS N M., DEXLERJ E., MULVAREYJ S., SENSIDONI A et POLLINIC M., (1999)**: Rheology behavior of durum wheat dough and their relation to backing and pasta quality, southern European conference in rheology, University of Colombia, Italy.
- ❖ **PETITOT M., ABECASSIS J., etMICARD V., (2009)**: Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. Food science technology. P 20-521-532.
- ❖ **POMERANZ Y., (1983)**: Molecular approach to bread making an update and new perspectives. The bakers digest. 72-86. pp. 12-20.

- ❖ **POPINEAU. Y., (1992)** : Relation entre la structure et la fonctionnalité des HMW-Gluténines. Industries des céréales.
- ❖ **POTUS J., (1993)**: Influence des matières premières et des conditions de fabrication sur les réactions de Maillard en panification. Industries agro-alimentaires, 65, pp. 543-547.

## Q

- ❖ **QUAGLIA GB., (1988)**: Other durum wheat products. La (durum chemistry and technology. fabricant G. and C., Lintas; Editors AACC. St Paul. Minnesota.

## R

- ❖ **ROBERT R et MATSUO R., (1984)** : Le blé dur, production et transformation. In : céréales et oléagineux.
- ❖ **RUEL T., 2006** : Document sur la culture de blé, Ed : Educagri. 18p.

## S

- ❖ **SAMSON M.F. et DESCLAUD D., (2006)** : Amélioration de la valeur technologique et commerciale de blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadins, P.2-4.
- ❖ **SCOTTI G et MONT JM., (1997)** : Analyses physiques des grains : blé tendre et blé dur ; In : guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris, p 79,88, 110.
- ❖ **SASAKI T, YASUIT, MARTUKI J., (2000)**: Effect of amylose content on gelatinization, rétrogradation, and pasting proprieties of starches from waxy and waxy their F1 seeds. Cereal. Chen77 (1).
- ❖ **SMITH J.S. et HUI Y. (2004)** : Food processing : principales and applications .éd Blackweel, Ames, USA, p252, 253.
- ❖ **SOLTNER D., (2005)** : Les grandes productions végétales .Ed. Sciences et Techniques Agricoles, 20<sup>ème</sup> Ed, p 23, 31,37.
- ❖ **SURGET A et BARRON C, (2005)** : Histologie du grain de blé, industries des céréales.

## T

- ❖ **TEOPFEREW. POLANSKY MM., EHEART J F et SALONER F W., (1972)**: Nutrient composition of selected wheat product XI Summary. Cereal Chemistry, 49, pp. 173.
- ❖ **TREMOLIERE J., SERVILES Y., JACQOT R., (1984)**: Manuel d'alimentation humaine tome 2, les aliments. 9<sup>ème</sup> Edition.E.D.E.S.F. Paris.540 pages.

## V

- ❖ **VENSEL W.H. TANAKA C.K., WONG J.H., BUCHANAN B.B., HURKMAN W.J., (2005):** Developmental changes in the metabolic protein profiles of wheat endosperm proteomics 5, p 1594-1611.

## W

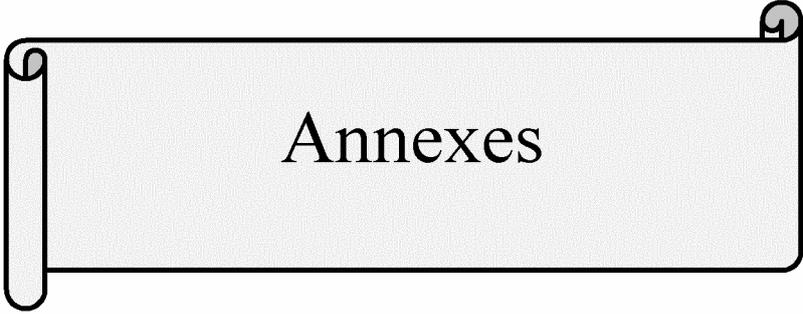
- ❖ **WILLIAMS R., EL-HARAMEIN F.J., NAKKOUL H. et RIHAWI S. (1988):** Crop quality evaluation methods and guidelines. Technical Manual No. 16. Intl. Cen. Agri. Res. In the Dry Areas, P. O. Box 5466, Aleppo, Syria.
- ❖ **WILLIAMS S., (1998) :** Commission canadienne des grains : Mise ou point de variétés et contrôle de la qualité du blé au Canada. Canada. Pp.1-12.
- ❖ **WILLMC., (1995) :** Comportement en mouture des variétés de blé tendre. Influence de la dureté et l'apport de l'azote. Industries des céréales. 18-29.
- ❖ **WILMC et FOURRE., (1998) :** La gestion des cendres en meunerie. Industries des céréales. 15-20.

## Y

- ❖ **YOUSFI L., (1984) :** Etude de la stabilité de la qualité de couscous industriel. Thèse Ingénieur. INA ET HARRACH.
- ❖ **YOUSFI L., (2002) :** Influence des conditions de fabrication sur la qualité du couscous industriel et artisanal. Thèse de Magister. DNATAA. Université de CONSTANTINE. 141p.
- ❖ **YVES H., et BUYER J., (2000) :** l'origine des blés. Pour les sciences hors-série n°26. Pp 60-62.

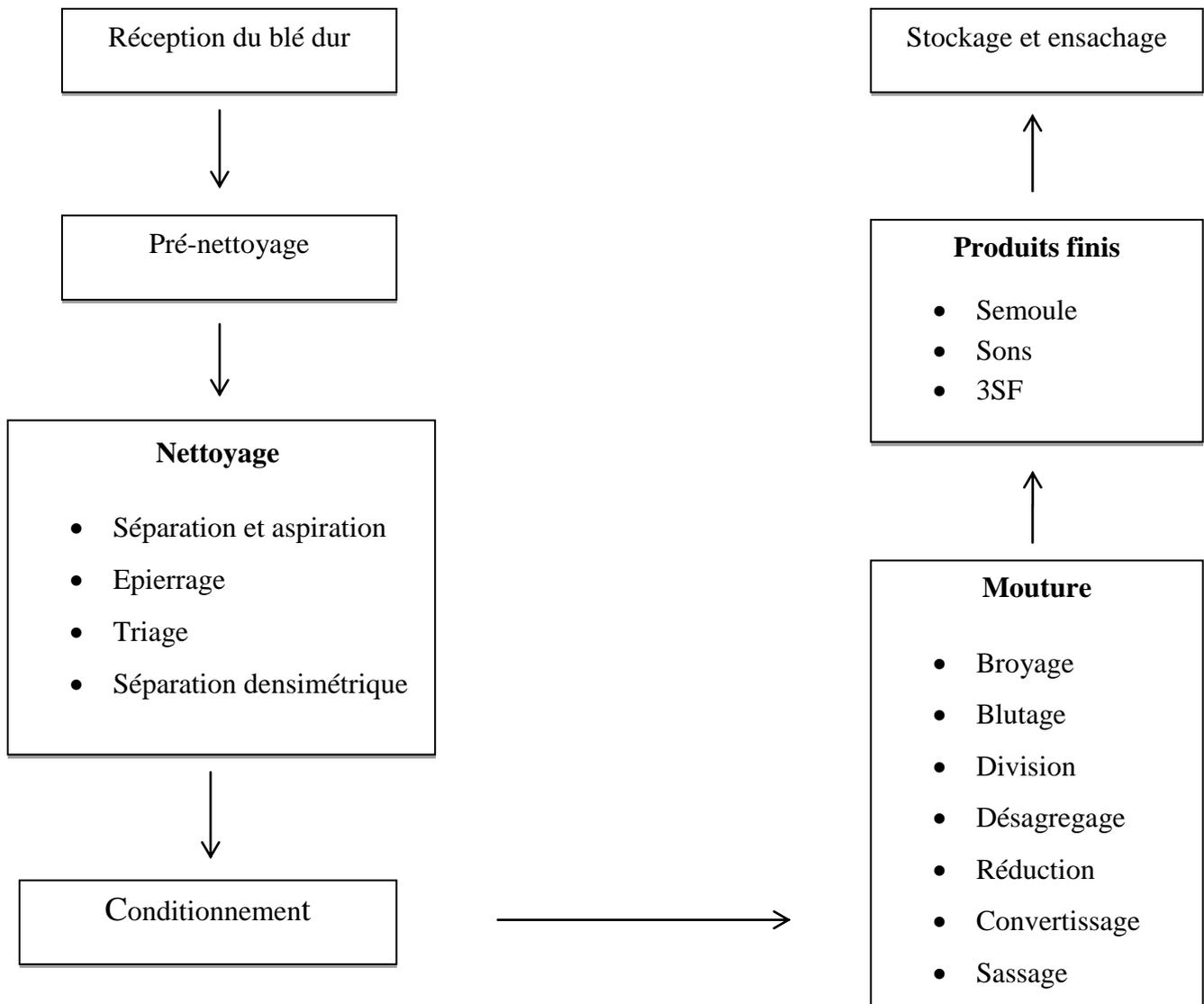
## Z

- ❖ **ZHU J.et KHAN K., (2001):** Effects of genotype and environment on glutenin polymers and bread making quality.Cereal Chem78: 125-130.



Annexes

**Annexe I** : La mouture de blé dur selon le processus propre à la « SARL MIS »



Annexe II : Tableau de conversion du poids à l'hectolitre (PHL).

Angabe des Probers zu 1/4 Liter							
g	kg/hl	g	kg/hl	g	kg/hl	g	kg/hl
		170,0	68,45	190,0	76,45	210,0	84,50
		170,5	68,65	190,5	76,65	210,5	84,70
		171,0	68,85	191,0	76,85	211,0	84,90
		171,5	69,05	191,5	77,05	211,5	85,10
		172,0	69,25	192,0	77,25	212,0	85,30
152,5	61,40	172,5	69,45	192,5	77,45	212,5	85,50
153,0	61,60	173,0	69,65	193,0	77,65	213,0	85,70
153,5	61,80	173,5	69,85	193,5	77,85	213,5	85,90
154,0	62,00	174,0	70,05	194,0	78,05	214,0	86,10
154,5	62,20	174,5	70,25	194,5	78,25	214,5	86,30
155,0	62,40	175,0	70,45	195,0	78,50	215,0	86,50
155,5	62,60	175,5	70,65	195,5	78,70	215,5	86,70
156,0	62,80	176,0	70,85	196,0	78,90	216,0	86,90
156,5	63,00	176,5	71,05	196,5	79,10	216,5	87,10
157,0	63,20	177,0	71,25	197,0	79,30	217,0	87,30
157,5	63,40	177,5	71,45	197,5	79,50	217,5	87,50
158,0	63,60	178,0	71,65	198,0	79,70	218,0	87,70
158,5	63,80	178,5	71,85	198,5	79,90	218,5	87,90
159,0	64,00	179,0	72,05	199,0	80,10	219,0	88,10
159,5	64,20	179,5	72,25	199,5	80,30		
160,0	64,40	180,0	72,45	200,0	80,50		
160,5	64,60	180,5	72,65	200,5	80,70		
161,0	64,80	181,0	72,85	201,0	80,90		
161,5	65,00	181,5	73,05	201,5	81,10		
162,0	65,20	182,0	73,25	202,0	81,30		
162,5	65,40	182,5	73,45	202,5	81,50		
163,0	65,60	183,0	73,65	203,0	81,70		
163,5	65,80	183,5	73,85	203,5	81,90		
164,0	66,00	184,0	74,05	204,0	82,10		
164,5	66,20	184,5	74,25	204,5	82,30		
165,0	66,40	185,0	74,45	205,0	82,50		
165,5	66,60	185,5	74,65	205,5	82,70		
166,0	66,85	186,0	74,85	206,0	82,90		
166,5	67,05	186,5	75,05	206,5	83,10		
167,0	67,25	187,0	75,25	207,0	83,30		
167,5	67,45	187,5	75,45	207,5	83,50		
168,0	67,65	188,0	75,65	208,0	83,70		
168,5	67,85	188,5	75,85	208,5	83,90		
169,0	68,05	189,0	76,05	209,0	84,10		
169,5	68,25	189,5	76,25	209,5	84,30		

**Annexe III :**

La quantité d'eau ajoutée à la pâte alimentaire lors de l'essai de pastification est obtenue comme suit :

A l'échelle industrielle : 450 L (d'eau)  $\longrightarrow$  1000 kg (SF)

A l'échelle de laboratoire : X (d'eau)  $\longrightarrow$  250 g (SF)

$$X = 250 \times (450 \times 10^3) / (1000 \times 10^3)$$

X=112,5ml

**Annexe IV :** Test de NEWHMAN-KEULS pour le taux de cendres des pâtes alimentaires.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	S 25	1,41	A		
3.0	S 50	1,137		B	
2.0	S 75	1,037		B	
1.0	S 100	0,9			C

**Annexe V:** Test de NEWHMAN-KEULS pour le gonflement des pâtes alimentaires.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	S 75	129,067	A	
3.0	S 50	127,367	A	
1.0	S 100	108,367		B
4.0	S 25	102,733		B