

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Option : Qualité des produits et sécurité alimentaire



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Étude des caractéristiques physico-chimiques, rhéologiques et microbiologiques des semoules fines complètes destinées à la panification

Présenté par :

ALANE Fatma

Soutenu le : **28 septembre 2020**

Devant le jury composé de :

Mme GUEMGHAR Hayet	MCA	Présidente
Mr. CHIKHOUNE Amirouche	MCA	Encadreur
Mme GUENDOUZE Naima	MCB	Examineur

Année universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu ALLAH, le tout puissant de m'avoir donné courage, santé et patience pour achever ce travail (ELHAMDOU LILLAH).

J'exprime mes vifs remerciements à monsieur l'encadreur CHIKHOUNE.A pour son encadrement, sa confiance, ses efforts et sa patience lors de la correction du manuscrit.

Mes remerciements sont adressés aux membres de Jury qui ont bien

Voulu accepter de juger ce modeste travail

Madame GUEMGHAR H. qui a fait l'honneur de présider ce Jury ;

Madame GUENDOUZE N. qui nous a honoré de bien vouloir examiner ce travail.

Enfin, mes remerciements sont aussi adressés à tous les gens qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Dédicaces

*Je dédie ce travail en premier lieu à mes parents
qui me sont très chers en témoignage à leur soutien pendant
ma vie car aucun mot ne pourra exprimer
ma haute gratitude et la profonde affection.*

Je le dédie aussi :

A mon mari «Omar», sans oublier

Ma chère sœur, mes frères

Mes belles sœurs, mes nièces et neveux

Et à toutes les personnes qui ont

contribué à la réalisation de ce travail

Lynda

Table des matières

Introduction générale	01
Partie bibliographique	
A- Généralités sur les céréales	03
I- Données économiques	03
II- Composition et utilisation	03
II-1- Composition	04
II-2- Utilisation	04
B- Données générales sur le grain blé	05
I- Place du blé dans la systématique	05
II- Morphologie, structure et composition biochimique de grain	05
II-1- Morphologie	05
II-2- Structure	05
II-2-1- Les enveloppes	05
II-2-2- L'amande farineuse	05
II-2-3- Le germe	06
II-2-4- Le son de blé	06
II-3- Composition biochimique du grain blé	07
III- Différenciation des grains de blé dur et blé tendre	07
IV- Aspects qualitatifs du blé dur	08
IV-1- Qualité agronomique	08
IV-2- Qualité technologique	08
IV-2-1- Valeur semoulière	08
IV-2-2- Valeur pastière.....	09
IV-3- Qualité alimentaire	09
IV-3-1- Qualité nutritionnelle	09
IV-3-2- Caractère organoleptique	10
IV-3-3- Qualité hygiénique	10
IV-3-4- Qualité réglementaire	10
C- Généralités sur la semoule	10

I- Définition de la semoule	10
II- Technologie de transformation du blé dur en semoule « La semoulerie »	10
II-1- Nettoyage.....	11
II-2- Préparation des blés à la mouture et conditionnement	11
II-3- Mouture de blé	11
III- Différents types de semoule	12
IV- Critère de qualité de la semoule	12
D- Panification	13
I- Définition	13
II- Principe	13
III- Ingrédients de base du pain	13
IV- Technologie de la panification	14
IV- 1- Pétrissage	14
IV-2- Pointage : la fermentation en masse	14
IV-3- La mise en forme	14
IV-4- L'apprêt	15
IV-5- La cuisson	15
V- Appréciation de la qualité boulangère	15
V-1- Test direct : essai de panification	16
V-2- Test indirect	16
Matériel et méthodes	
I- Paramètres physico-chimiques des semoules	19
I-1- Taux d'humidité (Teneur en eau)	19
I-2- Taux de cendres	21
I-3- Teneur en protéines	20
I-4- Cellulose brute	21
I-5- Détermination de la granulation des semoules	22
II- Paramètres technologique	23
II-1- Teneur en gluten humide	23
II-2- Teneur en gluten Sec	24
VI- Analyses microbiologiques	24
VII- Test de panification	26
VIII- Appréciation de la valeur boulangère	26

Résultats et discussion

I- Paramètres physico- chimiques des semoules	27
I.1. Teneur en eau.....	27
I.2. Teneur en cendres.....	27
I.3. Teneur en protéines.....	28
I.4. Teneur en fibres.....	29
I.5. Granulométrie.....	30
II- Paramètres technologiques.....	31
II.1. Indice de couleur.....	31
II.1.1. Indice de jaune.....	31
II.1.2. Indice de brun.....	32
II.2. Teneur en gluten.....	33
III- Paramètres microbiologiques	34
IV- Appréciation du pain.....	35
V- Aspect du pain.....	35
VI- Aspect de la mie	35
Conclusion.....	36
Références bibliographiques.....	38
Annexe	42

Liste des figures

Figure 1 : Evolution de l'estimation de production agricole en Algérie	03
Figure 2 : Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé.....	06
Figure 3 : Structure anatomique du son de blé	06
Figure 4 : Diagramme de mouture de blé dur.....	11
Figure 5 : Les échantillons des semoules fines analysées	18
Figure 6 : Mode opératoire de dosage de fibres par la méthode de Weende	22
Figure 7: Teneur en eau des semoules	27
Figure 8: Teneur en cendres des semoules.....	28
Figure 9: Teneur en protéines	29
Figure 10: Teneur en fibres des semoules	30
Figure 11: Distribution granulométrique des semoules	31
Figure 12: Indice de jaune des semoules	32
Figure 13 : Indice de brun des semoules	33
Figure 14: Teneur en gluten humide des semoules	34
Figure 15 : Teneur en gluten sec des semoules	35
Figure 16: Tamiseur "Rotachoc".....	45

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique moyenne de quelques céréales	04
Tableau II : Composition biochimiques de grain de blé.....	07
Tableau III : Echelle de classification des indices de coloration	31
Tableau IV : Valeurs des moyennes de différentes analyses physico-chimiques et technologiques des semoules complètes.....	44
Tableau V : Distribution de la granulation des semoules complètes issues de blé dur dans les différents tamis	44
Tableau VI : Résultats des analyses effectuées.....	44

Liste des abréviations

AG : acide gras

ALP : Agroscope Libefeld Posieux

CO₂ : dioxyde de carbone

GH : gluten

h : heure

HMW : high moléculaire weigh

IG : indice Glycémique

M.A.D.R : ministère d'agriculture et développement rural

MAT : matières azotées totales

Mt : million de tonnes

Nacl : chlorure de sodium

Ndf : Neutral Detergent Fiber

Pts : points

Q/ha : quintaux par hectares

RF : résidu Fibertec

SAU : surface agricole utile

sec : seconde

SARL : société à responsabilité limitée

SOPI : société des pâtes industrielle

TG : triglycérides

Tr/min : tours par min

UE : union européenne

Introduction générale

Introduction Générale

Dans la plupart des pays d'Afrique du nord et d'Asie de l'ouest, le blé dur occupe une place primordiale dans l'alimentation des populations. Il entre dans la composition d'un grand nombre de plats traditionnels : couscous, pains, galettes, pâtisseries et pâtes alimentaires, makrout , burgul,.....(**Zeghouane et al., 2006**).

En Algérie le blé dur est consommé surtout sous forme de pâtes alimentaires et de couscous mais une part non négligeable est utilisé par les ménages pour la préparation de pain sous forme de galette, seul ou en mélange avec le blé tendre (**Naamoun et Kegeih, 2000**).

L'utilisation de blé dur dans la production du pain industriel (moderne) ne cesse d'augmenter dans beaucoup de régions méditerranéennes, ceci est due aux habitudes alimentaires de ces régions mais aussi à la bonne qualité du pain de blé dur (**Palumbo et al., 2000**).

Le pain est le produit alimentaire le plus fabriqué dans le monde. Le premier pain a été préparé traditionnellement depuis plus de 12000 ans. Les égyptiens, les grecs, les Romains et les Babyloniens en étaient les premiers consommateurs (**Giannon et al., 2003**). Il est considéré comme une source importante de vitamines, de fibre alimentaires, de protéines, antioxydants et des micronutriments. Il est produit essentiellement à base de farine, levure, sel et eau (**Karizaki et al., 2017**).

La semoule de blé dur est utilisée aussi dans la fabrication du pain traditionnel dans différents pays : Turquie, Moyen-Orient et dans les pays d'Afrique du Nord (**Gocemen, 2014**).

L'évolution de la boulangerie et notamment la mécanisation de plus en plus poussée des techniques de panification nécessite une matière première du force boulangère élevée. Aussi le choix de la matière première apparaît déterminant pour la fabrication d'un beau et bon pain industriel.

La consommation de pain a nettement augmenté en Algérie, précisant que, d'après les statistiques du FAO, en collaboration avec la fédération mondiale des boulangers, les Algériens consomment environs 49 millions de baguettes par jour, occupant de ce fait, le premier rang des consommateurs de pain dans le monde. La qualité du pain l'Algérie occupe la 4^{ème} place après la France, les états Unis et le philippine (**Kelfat, 2019**).

Nombreux sont qui mangent du pain blanc matin, midi et soir, pourtant, consommer du pain est un mauvais réflexe alimentaire, car le pain blanc contient beaucoup de sucre (Glucides) dont la trop importante consommation peut entraîner un surpoids ou une addiction (**Makhariz et al., 2011**).

D'autres études ont indiqué que la plupart des pains blancs sont difficiles à digérer, contrairement au pain complet, fait à base de farine complète, est riche en fibres, qui facilitent le transit intestinal

et régulent le taux de cholestérol et le taux de glycémie. Ils sont notamment recommandés pour prévenir ou retarder des maladies comme le diabète et les problèmes cardiaques, les fibres favorisent aussi le sentiment de satiété, permettant d'éviter le grignotage (**Cheriet, 2000**).

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail qui consiste à étudier l'aptitude de trois types de semoules fines complètes destinés à la panification. Pour cela, nous nous proposons de :

- Déterminer les caractéristiques physico-chimiques des semoules (teneur en humidité, en protéines, en cendre et en fibres).
- Déterminer les caractéristiques technologiques (teneur en gluten).
- Déterminer les caractéristiques microbiologiques des semoules.
- Réaliser un test de panification et évaluer la valeur boulangère de toutes les semoules complètes.

Partie 1 : Etude bibliographique

A. GENERALITES SUR LES CEREALES

L'importance des céréales dans l'alimentation humaine n'est plus à démontrer, aussi bien par leur apport énergétique que protéique. En effet, les produits céréaliers représentent l'essentiel de la ration alimentaire de l'algérien moyen, ils contribuent à : (**Godon 1991**)

- Près de 60% pour les calories
- 69% de protéines totales
- 88% des protéines végétales

I. Données économiques

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales occupe en moyenne annuelle **40%** de la Superficie Agricole Utile (SAU). (**M.A.D.R 2019**).

La production réalisée des céréales au cours de la période 2010-2017 est estimée à **41,2** Millions de quintaux en moyenne, soit un accroissement de **26%** par rapport à la décennie 2000-2009 (**figure 1**).

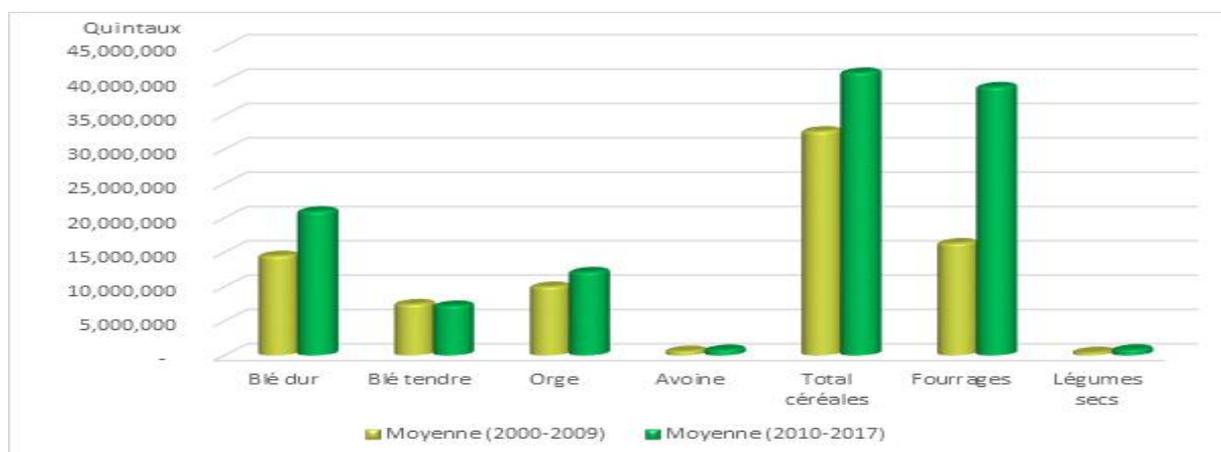


Figure 1 : Evolution de l'estimation de la production agricole en Algérie (MADR, 2017)

II. Composition et utilisation

Connus par leur richesse en glucides, les grains de céréales présentent une composition biochimique variée qui va se répercuter sur leur qualité technologique et nutritionnelle. La teneur et la qualité des protéines, des lipides, des matières minérales et des vitamines est variable, aussi est-il recommandé de diversifier leur consommation afin de bénéficier de leur diversités (**Soltner, 2000**).

II.1) Composition

Les grains de céréales sont particulièrement déshydratés : ce sont des caryopses c'est-à-dire des fruits secs. Leurs teneurs en eau sont en moyenne de 14% (tableau I). Du fait de leurs fonctions d'abord protectrices de l'embryon, puis ensuite nourricière de la jeune plante, ces grains sont constitués de cellulose et de toutes les substances nécessaires au développement du germe : glucides, protides, lipides, minéraux et vitamines (**Guodon, 1981**). Ces dernières n'apparaissent pas dans le tableau I parce que leur teneur est beaucoup plus faible que celle des autres constituants.

**Tableau I : composition chimique moyenne de quelques céréales (g /kg de MS)
(Soltner, 2000)**

	Blé	Triticale	Seigle	Orge
MAT	132	122	100	111
Amidon	687	663	630	575
Cellulose Brute	26	28	22	51
Fibre	123	134	145	209
Mat Grasse	24	21	19	26
Calcium	0,7	0,5	0,7	0,6
Phosphore	3,8	3,5	0,7	4,1
Lysine	3,7	4,7	3,9	4,3
Methionine	2,1	2,1	1,6	1,6
Cysteine	3,2	3,8	2,3	-
Threonine	4,0	4	3,5	3,8
Tryptophane	1,66	1,5	0,9	1,5

II.2) Utilisation

Parmi les céréales on cite celles dont l'utilisation est plus importante c'est-à-dire le blé dur et le blé tendre. En Algérie, des travaux récents montrent que les utilisations du blé dur sont multiples globalement, les produits consommés peuvent être classés en 5 catégories : galettes, pâtes et couscous, gâteaux et confiseries.

Le blé tendre sert essentiellement à la boulangerie (pains de mie, farine tout usage) et aux fabricants de certaines pâtisseries (feuilletés, beignets à la levure biologique, brioche, de pâtes à pizza). Il sert aussi aux biscuiteries, aux confiseries, aux fabricants de mélanges à gâteaux, aux pâtisseries et aux industries de céréales.

Les domaines d'utilisation du triticale sont très variés. Il est utilisé aussi bien dans l'alimentation du bétail (poulets, ruminants, lapin...), en boulangerie en coupage avec de la farine de blé tendre. En effet, des travaux ont montré que la farine de triticale donne une pâte collante, difficile à pétrir ce qui explique la difficulté de son utilisation en boulangerie. Elle demande à être

corrigé par des coupages adéquats avec de la farine de blé tendre ou par addition de gluten vital (Trentesaux, 1995).

B. DONNEES GENERALES SUR LE GRAIN DE BLE

I. Place du blé dans la systématique :

Le blé est une plante herbacée, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des graminées. Les deux espèces qui dominent aujourd'hui la production nationale et mondiale sont : le blé dur et le blé tendre. Plusieurs autres espèces existent, toutefois, elles sont cultivées sur des superficies plus réduites.

II. Morphologie, structure et composition biochimique de grain

II.1) Morphologie

Le grain de blé dur, constitue le fruit de la plante dont l'enveloppe est soudée à celle de la graine et possède une forme ovoïde (plus au moins allongée) ; son examen visuel (figure 02) révèle : une face dorsale plus au moins bombée et une face ventrale traversée par un sillon plus au moins profond selon les variétés.

D'après **Soltner (1990)**, le grain de blé dur est caractérisé par 3 dimensions essentielles : longueur (4.8 à 9.5 mm), largeur (1.6 à 4 mm), épaisseur (1,5 à 3 mm).

II.2) Structure

Comme la montre la figure 02, le grain de blé est constitué essentiellement de 3 parties :

II.2.1. Enveloppes

Elles comprennent des couches de cellules superposées :

- ✓ **Le péricarpe** : enveloppe du fruit qui montre lui-même trois couches : l'épicarpe, le mésocarpe (cellule transversales) et l'endosperme (cellule tubulaire).
- ✓ **Le tégument séminal et la bande hyaline** : qui, à eux deux, constituent l'enveloppe de la graine
- ✓ **L'assise protéique** : appelée aussi cellule à aleurone qui, botaniquement, est la première couche de cellule de l'endosperme.

Ces enveloppes au cours de la mouture donneront le son qui, à proprement parlé, comprends les enveloppes plus une certaine quantité d'amande farineuse adhérente à l'assise protéique. Les enveloppes sont riches en matières minérales et ont également des teneurs assez élevées en matières protéiques, en matières grasses et en cellulose. Elles contiennent enfin des pigments qui donnent la couleur pourpre des grains et une partie importante des vitamines B₁ et B₂ (**Feillet, 2000**).

II.2.2. Amande farineuse :

Elle est constituée par les grains d'amidon enchâssés dans le réseau d'un corps azoté ; le gluten. L'amidon, qui est le plus important en poids (environ 70%), est un corps glucidique. Il se présente

dans l'amande farineuse sous forme de granules sphériques (diamètre allant de 0.002mm à 0,03 mm) qui peuvent être plus au moins blessés durant la mouture du grain. Ces amidons blessés donnent plus facilement des sucres fermentescibles sous l'action des amylases.

II.2.3. Germe

Il constitue la future plante. C'est un corps riche en sucres, en matières grasses et en vitamines B et E. Durant la germination, les matériaux de l'amande farineuse sont transformés par les diastases en produits directement utilisables par le germe pour la croissance de la jeune plante.

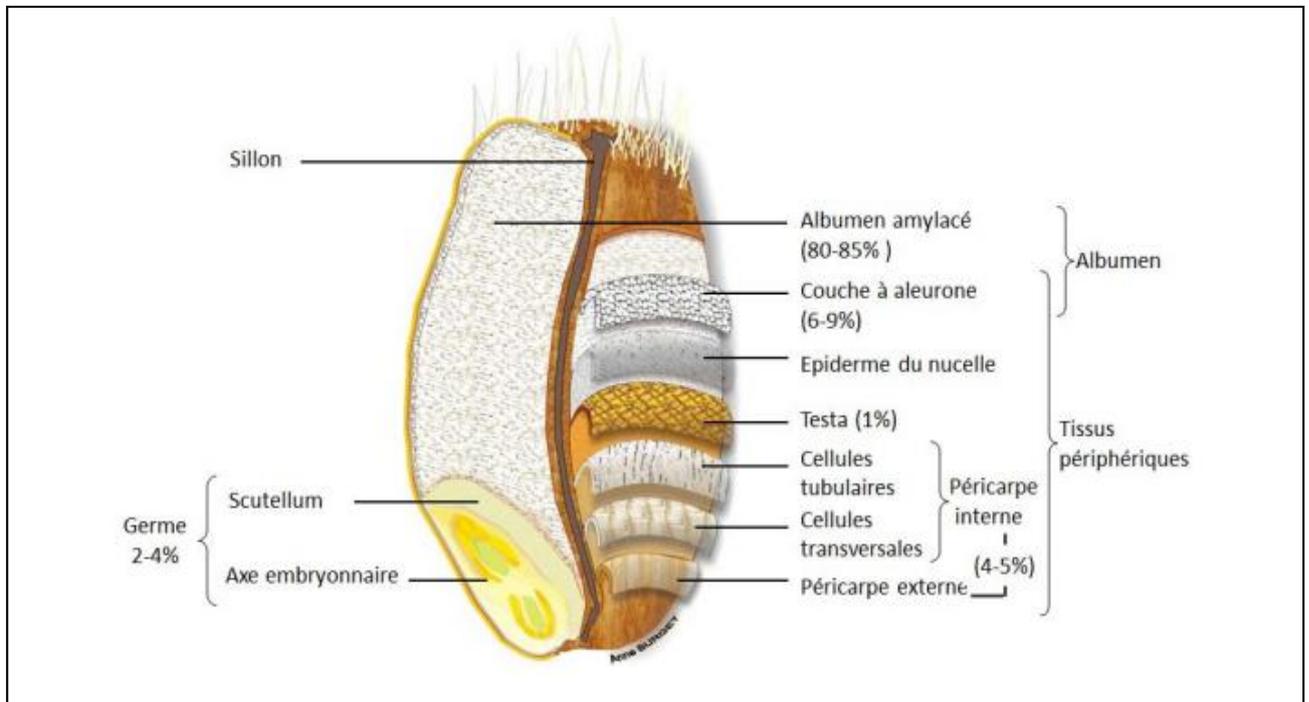


Figure 2 : Schéma histologique d'une coupe longitudinale d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).

II.2.4. Son de blé

Ce produit est obtenu au cours des opérations de transformation du blé dur en semoule destinée à l'alimentation humaine. Le son est particulièrement constitué du tégument externe du grain.

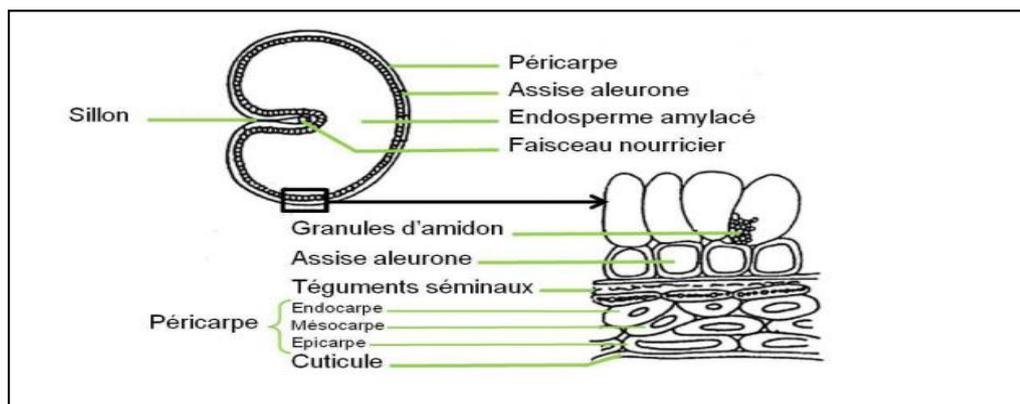


Figure 03 : Structure anatomique du son de blé.

II.3. Composition biochimique du grain blé

Le grain de blé est principalement constitué de glucides (amidon et fibres, 65-75%) et de protéines (8 à 17 %, selon les variétés et les conditions de culture), mais aussi de lipides (2-6%), d'eau (12-14%) et de micronutriments (**Kent et Evers, 1994**). Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein de différentes fractions histologiques du grain, la répartition est représentée dans le tableau II.

Tableau II : Composition biochimique de grain de blé (Abacassis, 2015)

Tissus	Grain entier (%)	Péricarpe (%)	Couche à aleurone (%)	Albumen amylicé (%)	Germe (%)
Protéines	14,0	8,5	28,2	12,0	30,5
Lipides	2,1	0	9,4	1,6	11,8
Amidon	68,8	0	0	82,0	0
Sucres réd.	2,3	0	0	1,6	30,5
Pentosanes	7,7	40,5	45,2	1,4	7,5
Cellulose	2,7	45,0	4,1	0,3	2,3
Minéraux	1,9	5,9	12,0	0,6	6,2

III. Différenciation des grains de blé dur et blé tendre :

Le blé dur possède des caractères très distincts par rapport au blé tendre lorsque l'on se réfère aux grains. Le grain d'un blé dur comparé à un grain de blé tendre présente des particularités du point de vue forme et texture de l'amande, caractères d'identification généralement très aisés (**Matveef, 1960**).

Sa forme est nettement plus allongée aux extrémités effilées et la coupe transversale est anguleuse. L'aspect extérieur d'un grain de blé dur indique, d'autre part, une certaine translucidité de l'amande, provenant de sa texture vitreuse (ou cornée) par opposition au grain de blé tendre, opaque, de sa structure farineuse blanche suite à la présence de nombreuses vacuoles d'air entourant les granules d'amidon (**Matveef, 1960**).

Un autre caractère distinguant des grains des deux espèces est la coloration des enveloppes : les blés durs sont à « grain blond » pourvus d'enveloppes translucides permettant de mettre en évidence la couleur jaune ambrée ; les blés tendres, par contre, sont à grains roux ou blancs. Ajoutons que la proportion d'enveloppes est en moyenne de 2 % moindre dans un grain de blé dur (13 à 15 %) par rapport à un grain de blé tendre (15 à 17 %) à cause de leur épaisseur réciproque et de la densité plus élevée de l'amande du grain de blé dur (variation extrême : 1,25-1,40 %) (**Matveef, 1960**).

IV. Aspects qualitatifs du blé dur

Dans le cas des blés, la détermination de la notion de qualité s'avère complexe. Elle dépend de l'orientation des grains et dérivés et aussi d'un certain nombre de contraintes et d'objectifs de chacun des partenaires de la filière (producteur, stockeur, transformateurs et consommateurs). Selon **Rousset et Autran (1979)**, la notion qualité peut recouvrir plusieurs aspects : agronomique, technologique, nutritionnel, alimentaire ...etc.

V.1. Qualité agronomique

La qualité de la récolte est un élément primordial de la rentabilité. Il est indispensable pour l'agriculteur d'obtenir un rendement élevé et une qualité correcte de façon à rentabiliser sa culture où un contrôle de qualité devra être effectué régulièrement pendant et en fin de chaque campagne (**Bonjean et Picard, 1990**).

V.2. Qualité technologique

Le grain du blé représente une importance technologique particulière du fait que c'est la seule céréale qui renferme le gluten, protéines aux caractéristiques plastiques permettant la fabrication d'une gamme variée de produits : biscuits, pain, pâtes alimentaires...

La qualité industrielle ou technologique rend compte de la qualité réelle des produits. Elle intéresse en priorité les utilisateurs (semouliers, minotiers, boulangers, pâtisseries) et les consommateurs.

La qualité technologique du blé dur est classiquement subdivisée en valeur semoulière et en valeur pastière.

V.2.1. Valeur semoulière

Elle correspond à l'aptitude d'un lot de blé dur à donner un rendement élevé en semoules de pureté déterminée. Elle dépend de plusieurs facteurs :

- **Teneur en enveloppes** : la valeur semoulière est d'autant plus importante que la teneur du grain en enveloppes est faible et la proportion d'amande est grande.

- **Teneur en eau** : en relation avec le conditionnement lors de la transformation. Plus le grain est sec, plus le rendement en semoule sera important.

- **Taux d'impuretés** : on entend par impureté tout ce qui n'est pas grain sain de l'espèce (matières inertes, graines étrangères, ergot, grain cassé, petit grain, grain échaudé, grain piqué, germé ou punaisé...).

L'élimination des impuretés dépend de leurs dimensions et de leurs densités. Parfois, il est impossible de séparer les impuretés des grains sains au cours du nettoyage lorsque leur forme et/ou leur poids sont équivalents (**Fourar, 2005**).

Selon **Orignac (1976)**, le rendement en semoule se caractérise par le taux d'extraction. Il dépend de la teneur en eau, du pourcentage d'impuretés, de la régularité et de la grosseur des grains, de la richesse en élément minéraux, du taux de mitadinage et de la vitrosité de l'albumen.

V.2.2. Valeur pastière

La qualité pastière représente l'aptitude des blés durs à être transformés en semoules puis en pâtes alimentaires qui possèdent les caractéristiques : aspect à l'état cru et comportement durant et après cuisson (**Feillet ,2000**).

On peut également définir une bonne valeur pastière comme l'aptitude d'une semoule à fournir des pâtes possédant une belle couleur jaune ambrée, à saveur et odeur agréables et qui, après cuisson, restent fermes et ne collent pas.

La qualité des pâtes alimentaires dépend donc essentiellement de celle des semoules employées. Elle est tributaire de la fabrication (malaxage, tréfilage et séchage) et notamment des conditions de la conservation (**Feillet ,2000**).

La cuisson d'une pâte alimentaire vise à amener ses constituants (amidon et gluten) à la température désirée de sorte à rendre l'amidon plus digestible, à modifier la texture des pâtes et à leur donner les caractéristiques souhaitées par le consommateur.

Les semoules obtenues par la mouture subiront une transformation industrielle par laquelle on obtiendra des pâtes alimentaires et du couscous (**Feillet ,2000**).

V.3. Qualité alimentaire

La qualité alimentaire comprend 3 aspects indissociables : la qualité nutritionnelle, la qualité hygiénique et les caractéristiques organoleptiques :

V.3.1. Qualité nutritionnelle

Le grain de blé constitue l'organe de réserve de la plante. Par sa richesse en amidon, il possède une teneur élevée en énergie et représente 20% des calories du régime alimentaire de l'être humain. Le blé contribue aussi à un apport protéique notable ; il possède en effet un complexe protéique (le gluten) d'une valeur biologique basse mais valorisée par la qualité de l'albumine et la globuline. (**Feillet, 2000**)

Le blé présente également des quantités appréciables de niacine, de riboflavine, d'acide pantothénique, de tocophérol, de thiamine et de pyridoxine, mais est pauvre en vitamines A, B2 et D. Il constitue enfin une bonne source de phosphore, potassium et de magnésium, mais est relativement déficient en calcium et en fer (**Feillet, 2000**).

L'appréciation de la valeur nutritionnelle peut être donnée par plusieurs méthodes.

- **Dosage biochimique** des éléments nutritifs.

• **Tests biologiques** : ils se basent sur le contrôle de la croissance des animaux (souris, poulets, agneaux) durant une période donnée et dans des conditions bien déterminées (**Feillet, 2000**).

• **Tests de dégustation** : les produits doivent présenter des caractéristiques organoleptiques adaptées aux habitudes alimentaires, car le consommateur cherche des produits présentant une bonne qualité organoleptique (couleur, goût, odeur) autant qu'une bonne qualité nutritionnelle.

V.3.2. Caractères organoleptiques

Les caractères organoleptiques des produits des blés durs présentent une importance considérable en relation avec les exigences commerciales. Cependant, cette qualité présente une sensibilité accrue aux altérations. C'est ainsi que les facteurs physico-chimiques (humidité et chaleurs) détériorent la qualité des produits des blés durs par la production d'odeurs désagréables, et la modification de la texture et de la couleur. Cette détérioration est également décelable en cas d'une infestation par les rongeurs, les insectes de stocks et leur débris, les acariens ainsi que l'utilisation de produits phytosanitaires qui maintiennent la stabilité du produit pendant le stockage (**Favier, 1989**).

V.3.3. Qualité hygiénique

Selon les conditions de qualité minimale requise pour la vente des céréales dans le cadre de formules contractuelles courantes, la marchandise doit être livrée en bon conditionnement, exempte de parasites vivant dans la marchandise, et sans flair (**Godon, 1997**).

C. GENERALITES SUR LA SEMOULE

I. Définition

La semoule est définie par le *Codex Alimentarius* (1995) 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 ». La semoule complète de blé dur est préparée par procédé de broyage similaire, mais le son et une partie du germe sont préservés.

II. Technologie de transformation de blé dur en semoule : « la semoulerie »

L'art de la mouture est d'isoler l'albumen amylicé du grain exempt des parties périphériques (enveloppes et couche à aleurone) et du germe avec le meilleur rendement possible et à moindre coût, tout en maîtrisant les propriétés des produits obtenus. La transformation des blés en semoules se déroule en 03 étapes principales :

- Nettoyage.
- Conditionnement.
- mouture proprement dite.

II.1. Nettoyage

Les grains de blés doivent être débarrassés de toutes leurs impuretés avant d'être envoyés au broyage pour éliminer tout corps étranger (paille, pierres, pièces métalliques...) (Abecassis, 2015).

II.2. Préparation des blés a la mouture et conditionnement

Les grains de blé dur triés sont ensuite conditionnés (Mouillage) afin de faciliter la séparation du son de l'amande et le broyage de celle-ci. Au départ, le grain de blé dur possède une teneur en eau égale à 11 ou 12% puis le grain est humidifié jusqu'à 16 ou 17% (Abecassis, 2015).

II.3. Mouture de blé

II.3.1. Broyage

La première opération de la mouture est le broyage, durant lequel les enveloppes sont détachées de l'amande (Willm, 1992).

II.3.2. Tamisage ou blutage

Cette opération s'effectue après chaque passage dans un appareil à cylindre. Elle permet le classement des produits en différentes tailles.

Le passage des éléments à travers le tamis constitue l'extraction (les semoules), par contre ce qui reste sur le tamis c'est le refus (Feillet, 2000).

II.3.3. Sassage

C'est une opération intermédiaire entre les broyages, son but est la séparation des produits de mouture sur la base de leur taille et de leur densité (double tri) (Feillet, 2000).

II.3.4. Désagrégage

C'est une opération qui consiste à fractionner les semoules vêtues ; en éliminant les fragments de son qui adhèrent à l'amande (les semoules refusées au niveau du sasseur sont appelées semoules vêtues) (Feillet, 2000).

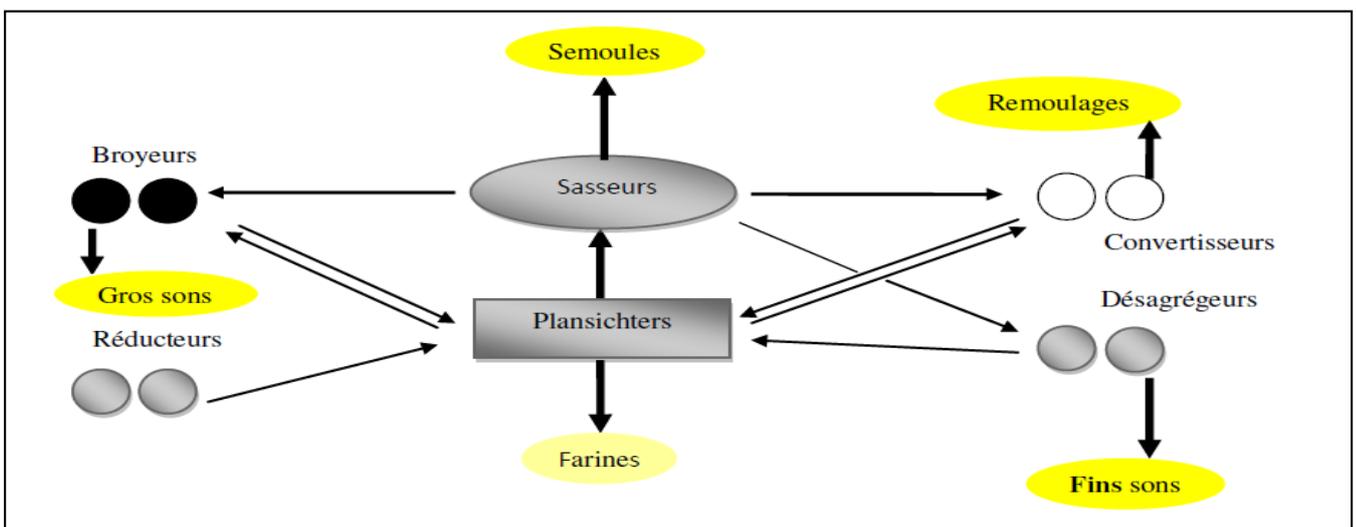


Figure 04 : diagramme de mouture de blé dur (Autran, 2000)

III. Différents types de semoule

Les semoules sont classées selon deux critères : **la pureté** et **la granulation**.

III.1. Pureté

Selon **Apfelbaum et al. (1981)**, on distingue deux types de semoules :

- **Semoule supérieure** : Elle provient de la partie centrale de l'amande du grain de blé dur et contient un faible taux de matières minérales. Elle sert à fabriquer les pâtes alimentaires dites supérieures.
- **Semoule courante** : Elle contient plus de parties périphériques et ayant un plus fort taux de matières minérales, sert à faire les pâtes dites courantes.

III.2. Granulation

Il existe différentes catégories de semoules. Chaque catégorie est obtenue par une succession de plusieurs broyages et classées en fonction de leur grosseur. Les différentes catégories de semoules sont:

- **Semoules grosses (SG)** : la dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 900 à 1100 μm , destinées aux usages domestiques. Elles sont considérées comme une semoule très pure du point de vue présence des débris du grain et vendues au commerce pour être consommées en l'état ou encore à la fabrication du couscous.
- **Semoules grosses moyennes (SGM)** : la dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 550 à 900 μm , elles sont vendues en l'état. Elles sont destinées à la fabrication de la galette, le couscous.
- **Semoule sassées super extra (SSSE : 3SE)** : elles proviennent de la partie centrale de l'amande de grain de blé dur et elles ont un faible taux de matières minérales. La dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 180 à 500 μm . Elles sont destinées à la fabrication des pâtes alimentaires de qualité supérieure.
- **Semoules sassées super fines (SSSF : 3SF)** : la dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 140 à 250 μm . Elles servent à la fabrication des pâtes dites courantes. Elles proviennent des couches périphériques du grain, comparée à la semoule 3SE, la semoule 3SF contient plus de parties périphériques et elle a un taux de cendres plus élevé (**Feillet, 2000**) (**Autran, 2000**).

IV. Critères de qualité de la semoule

La nécessité de sélectionner des variétés possédant les qualités requises.

Les ménages recherchent des semoules pures et de couleur dorée. Cette semoule doit présenter une granulométrie homogène. Selon **Kellou, (2008)**, toutes les entreprises transformatrices du blé en Algérie déclarent que :

- i. l'indice de coloration jaune : est le premier critère de choix et a une grande importance pour les consommateurs).
- ii. Le taux de gluten : est le 2ème critère en termes d'importance lors de l'achat des semoules. En effet, plus la semoule à une forte teneur en gluten plus la qualité des produits finis sera meilleure notamment dans la fabrication des pains traditionnels algériens.
- iii. La teneur en cendre : est le 3^{ème} critère, qui est un indicateur de la qualité semoulière, c'est-à-dire le poids de semoule rapportes au poids du blé mis en œuvre.

D. PANIFICATION

I. Définition

La panification est l'ensemble des transformations physiques, des réactions chimiques et d'activités biologiques complexes qui se produisent au sein d'un mélange de farine, d'eau, de sel, de levure et parfois de quelques autres ingrédients (acide ascorbique, farine de fève, enzyme exogène, émulsifiants...) sous l'action d'un apport contrôlé d'énergie mécanique et thermique (Feillet, 2000).

II. Principe

La panification du blé est unique parmi les céréales du fait que ses protéines ont des propriétés capables de former avec l'eau et d'autres ingrédients essentiels, des pâtes capables de retenir du gaz et acquérir par cuisson au four, une consistance spongieuse à mise bien développée de volume et de bonne qualité sensorielle (Larpen, 1992).

La base de la panification c'est le gluten, qui après hydratation de la farine et ajout des agents de fermentation, forme un réseau viscoélastique qui retient le CO₂ obtenu lors de la fermentation des sucres libres sous l'action des levures (Godon, 1981).

III. Ingrédients de base du pain

La formulation diffère selon les types de pains. Le pain traditionnel est un mélange de quatre ingrédients de base : farine, eau à 60%, levure (ou levain) à 2.2% et sel 2.2%.

III.1. Rôle des constituants de la farine en panification

a) Amidon

L'amidon intervient de différentes manières au cours de la fabrication du pain. C'est une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la multiplication et la croissance des levures. Il est également un « fixateur » d'eau. On admet que l'amidon absorbe environ 45% de l'eau ajoutée à la farine. C'est enfin une « charge » de remplissage assurant une fonction de dilution du gluten (Autran, 2000).

b) Protéines

Les globulines ont un faible rôle dans le processus de panification. Elles sont utilisées par les levures comme nutriment. Les gliadines et les gluténines forment le réseau du gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes.

Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent au cours de la panification de former un réseau tridimensionnel imperméable, capable de retenir le gaz carbonique et de s'étirer sous sa pression pour former la structure et la texture alvéolaire du pain (**Gheraibia, 2011**).

c) Eau

L'eau permet l'hydratation des ingrédients et la formation de la pâte lors du frasage. Elle favorise les réactions biochimiques et sert également d'agent plastifiant en permettant aux protéines et à l'amidon de passer d'un état solide et rigide à un état plus malléable (**François, 2011**).

d) Levures

On attribue aux levures boulangères des propriétés principales au cours de la fermentation à savoir :

- La libération de gaz carbonique lors de la dégradation des glucides ce qui entraîne une augmentation du volume du pain.
- Le développement de la texture du pain.
- La libération des substances aromatiques outre le CO₂ et l'éthanol, ce qui développe la saveur caractéristique du pain.

e) Sel

En panification le chlorure de sodium est avant tout un agent sapide. Il a également un impact bio-physicochimique fort sur la pâte, on peut citer :

- Une limitation de l'activité fermentaire de la levure ; plus la quantité de sel est grande, plus la durée de fermentation s'allonge.
- Un brunissement plus rapide de la coûte
- Un impact sur la couleur de la pâte. La présence de NaCl inhibe partiellement l'activité lipoxygénasique du blé. Or cette enzyme permet l'oxydation des pigments caroténoïdes et donc le blanchiment de la pâte et de la mie (**Godon, 1988**).

V. Technologie de la panification

Le processus de panification dure environ cinq heures (**Feillet, 2000**) et se compose des opérations actives « pétrissage et mise en forme », entrecoupées par des phases passives « repos, fermentation, cuisson et ressuyage » (**Guinet et Godon, 1994**). Les principales étapes de la panification sont, le pétrissage, la fermentation et la cuisson.

V.1 Pétrissage

C'est la première étape de fabrication du pain. Il permet le mélange des ingrédients et assure la confection de la pâte à pain (**Roussel et Bartolucci, 1997**). Le pétrissage permet de :

- mélanger de façon intime les ingrédients.
- incorporer de l'air dans la pâte pour permettre la multiplication des levures et le blanchiment de la pâte.
- hydrater le gluten et former un réseau (par la formation de liaisons disulfures) pour emprisonner l'oxygène et les grains d'amidon.
- hydrater l'amidon pour le transformer en sucre, grâce aux enzymes.

Pour ce faire, deux opérations sont effectuées :

- Le coupage qui permet aux particules de gluten de se souder afin que la pâte devienne lisse et s'allonge pour retenir les gaz de la fermentation sans se rompre ;
- Le soufflage et l'étirage qui permet d'incorporer l'oxygène dans la pâte pour que les ferments se multiplient.

Le pétrissage se faisait manuellement, mais dès 1950-1955, il se réalise de manière mécanique dans un pétrin avec un temps et vitesse de pétrissage bien déterminés. Le pétrissage s'achève lorsque la pâte se détache des parois de la cuve du pétrin, elle devient lisse, sèche et élastique (**Larpen, 1992**).

V. 2 Pointage « La fermentation en masse »

C'est la première fermentation qui se déroule de la fin du pétrissage jusqu'au façonnage des pâtons. Elle se déroule à une température de 25 °C. En pratique la fermentation commence dès que la levure est au contact avec de la farine et de l'eau et se poursuit jusqu'aux premières minutes de cuisson (**Bourgeois et Larpen, 1992**).

La fermentation assure deux fonctions principales : la levée de la pâte sous l'effet de la formation du gaz carbonique et la synthèse d'acides organiques et des substances volatils qui vont participer à l'élaboration du goût et de l'arôme du pain. Elle contribue également à l'achèvement du réseau protéique qui s'est formé au cours du pétrissage. (**Feillet, 2000**).

V. 3 Mise en forme

Cette étape comprend plusieurs opérations qui suivent immédiatement le pétrissage et le pointage. Ces opérations sont :

- **Dévisage** : il consiste en un découpage de la pâte en pâtons de même poids grâce à une diviseuse peseuse. C'est une opération mécanique assez brutale, entraîne une perte de souplesse de la pâte, voir même une dégradation de la structure formée au cours du

pétrissage c'est pourquoi, le dévisage est suivi d'un boulangage qui permet de reconstituer cette structure. (**Guinet et Godon, 1994**).

- **Boulangage** : a pour objectif de reconstituer une consistance cohérente et souple de la pâte pour faciliter les opérations qui vont suivre et redonner au pâton la rétention gazeuse affectée durant les opérations précédentes. En effet, le boulangage permet de former une pellicule autour du pâton à l'aide d'une bouleuse afin de réduire au maximum la diffusion du gaz. A la fin de cette étape, le pâton aura une forme arrondie qui se prête mieux aux manipulations ultérieures.
- **Façonnage** : c'est une opération qui permet de conférer à la pâte la forme qui déterminera celle du produit fini, il peut être manuel au mécanique (**Roussel et Bartollucci, 1997**). Le façonnage est une opération délicate à laquelle toute l'attention nécessaire n'est pas toujours portée, la pâte est en effet très sensible aux opérations mécaniques.

V.4. L'apprêt

Après la mise en forme, les pâtons subissent une deuxième fermentation durant laquelle la levure continue à jouer son rôle d'agent de levée de la pâte. En libérant du CO₂, de l'alcool et des acides organiques (**Grandvoinet et Praty, 1994**), le volume du pain triple pendant ces étapes. Le gaz carbonique est emprisonné dans le réseau élastique du gluten.

V.5. Cuisson

Quel que soit le matériel utilisé (plaque alvéolé tapis métallique), l'atmosphère de la chambre de cuisson doit être saturée de vapeur d'eau « buée » à une durée de l'ordre de 30 minutes et à une température de 250 °C (**Feillet, 2000**). Durant cette étape, plusieurs réactions physico-chimiques se produisent :

- Le volume du pain augmente brutalement par dilatation des gaz contenus dans alvéoles.
- L'activité des levures augmente jusqu'à inactivation par l'action de la chaleur 55 °C.
- Une partie de l'eau et l'alcool se vaporise à l'intérieur de la pâte.
- La température de la mie atteint progressivement 90°C au cœur du pain.
- La croûte commence à se former vers 90°C. Un film se forme progressivement en surface de la mie, s'épaissit, se déshydrate et enfin se solidifie au fur et à mesure que la température finale atteint les 220°C (**Feillet, 2000**). Des réactions de Maillard et de caramélisation se développent simultanément, ce qui donne la coloration de la croûte accompagnée de la formation de composés odorants (**Alais et Linden, 1994**).

VI. Appréciation de la qualité boulangère

La qualité boulangère reste l'élément clé dans l'appréciation de l'aptitude technologique d'un blé. De ce fait plusieurs tests (directs et indirects) peuvent être mis en œuvre pour une meilleure approche de cette qualité.

VI.1. Test direct : essai de panification

L'essai de panification permet d'adopter une appréciation sur l'aptitude d'une farine à donner un pain de bonne qualité. Il permet aussi de porter un jugement direct, à la fois, sur la qualité de la pâte au cours des différentes étapes et sur la qualité du pain obtenu.

VI.2. Test indirect

Parmi ces tests, certains mesurent les propriétés rhéologiques des pâtes telles que la force, la ténacité, l'extensibilité (alvéographe) ou la force et la tolérance au pétrissage (mixographe). D'autres mesurent les activités enzymatiques (indice de chute). Enfin certains sont basés sur la quantité et la qualité protéique (SDS test, gluten).

Partie 2 : Expérimentation

Matériel et Méthodes

1) Objectif du travail

Le but de ce travail est de formuler une recette pour la production d'une semoule fine complète destinée à la panification et production d'un pain de meilleure qualité nutritionnelle tout en gardant sa qualité rhéologique. Pour ce faire, des analyses physico-chimiques et technologiques ont été effectuées sur 3 échantillons de semoules fines complètes.

2) Présentation du lieu du stage

Le stage pratique est réalisé au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de l'industrie SOPI (Société des pâtes industrielles) qui se situe à Guerouaou (Boufarik- Blida).

3) Echantillonnage de la matière première

L'étude a été réalisée sur 3 échantillons de semoules fines complètes obtenues à l'échelle industrielle au niveau de la semoulerie de SARL « SOPI ». La sélection des semoules a été effectuée selon leur teneur en matière minérale (le taux de cendre) (**figure 05**).



Figure 05 : Les échantillons des semoules fines à analyser

I. Paramètres physico-chimiques

Les différentes techniques d'analyses physico-chimiques réalisées ont pour but : la détermination de la composition biochimique et physique de chaque échantillon de semoule à savoir : humidité, taux de cendres, teneur en protéines totales, teneur en fibres et la granulation. Toutes les analyses sont répétées 2 fois sauf pour la granulométrie.

I.1 Taux d'humidité (Teneur en eau)

Cette détermination est effectuée selon la norme NF V03-707.

I.1.1. Principe

Un étuvage des échantillons des semoules est réalisé à la pression atmosphérique dans une étuve réglée à 130- 133 °C pendant 2h. La perte de masse est la quantité d'eau présente dans l'échantillon de semoules exprimé en pourcentage.

I.1.2. Mode opératoire

L'opération commence par la pesée de la capsule vide puis on met dedans 5 grammes de semoule, ensuite les mettre dans l'étuve réglée entre 130 - 133 °C pendant 2 heures. Après écoulement du temps d'étuvage, on retire les capsules de l'étuve, les couvrir et les placer dans le dessiccateur 30 à 45 min. Dès que les capsules sont refroidies à la température du laboratoire, on les pèse de nouveau à 0.01 % près.

I.1.3. Expression des résultats

Le pourcentage d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$H (\%) = (m_0 - m_1 / m_0) \times 100$$

Où

H : taux d'humidité.

m₀ : masse en gramme de la prise d'essai.

m₁ : masse en gramme de la prise d'essai après séchage.

I.2. Taux de cendres

La teneur en matière minérale est déterminée selon la norme NF V03-720.

I.2.1. Principe

Le principe repose sur l'incinération d'une prise d'essai d'échantillon des semoules jusqu'à combustion complète des matières organiques à 900 °C. La teneur en cendre est déterminée par la pesée du résidu obtenu.

I.2.2. Mode opératoire

On nettoie d'abord les capsules et les placer dans l'étuve durant le temps nécessaire au séchage, puis on les retire et les laisser refroidir dans le dessiccateur jusqu'à atteindre la température ambiante, ensuite on introduit 5g de semoule répartie en une couche d'épaisseur uniforme sans la tasser. Pour une incinération régulière, on ajoute 1 à 2 ml d'éthanol.

La porte du four étant ouverte, on place les capsules remplies à l'entrée du four préalablement chauffé à 900°, une fois le produit est enflammé et après extinction on introduit les capsules à l'intérieur du four et on ferme la porte, on déclenchera le chronomètre dès que le four aura atteint

la température désirée. Poursuivre l'incinération jusqu'à combustion complète du produit, y compris des particules charbonneuses contenues dans le résidu.

Une fois l'incinération est terminée, on retire les capsules du four, et les mettre à refroidir dans le dessiccateur. Dès que la capsule a atteint la température ambiante (soit 15 min à 20 min pour les capsules en platine), on pèse à 0,1 mg près et rapidement en raison du caractère hygroscopique des cendres.

I.2.3. Expression des résultats

Le taux de cendre, en fraction massique par rapport à la matière humide exprimé en pourcentage, est donné par l'équation suivante :

$$TC(\%) = m_1 \times 100 / m_0$$

Le taux de cendre, en fraction massique par rapport à la matière sèche exprime en pourcentage, est donne par l'équation :

Où :

$$TC (\%) = M \cdot \frac{100}{M_0} \cdot \frac{100}{100 - H}$$

TC : taux de cendres.

m₀ : la masse, en grammes, de la prise d'essai.

m₁ : la masse, en grammes, des cendres.

H : la teneur en eau, en pourcentage par masse, de l'échantillon.

I.3. Teneur en protéines

I.3.1. Principe

La teneur en protéines totales est rapprochée, par la détermination de la teneur en azote total selon la méthode de **KJELDAHL (NF V03-050)**, en multipliant la valeur obtenue par le coefficient de conversion (5,70) spécifique aux céréales destinées à l'alimentation humaine.

I.3.2. Mode opératoire

1) Minéralisation

Environ 1 g d'échantillon est prélevé dans un récipient de type matras, puis minéralisé pendant 1 heure à l'aide de 15ml d'acide sulfurique concentré à chaud en présence de 2 pastilles du catalyseur (contenant le K₂SO₄ et CuSO₄) pour produire du sulfate d'ammonium.

2) Distillation de l'ammoniac

Après dilution du liquide de minéralisation avec de l'eau distillée (100ml de mélange), les ions ammoniums formés sont transformés en ammoniac à l'aide d'un excès de NaOH et l'acide sulfurique est neutralisé. Au cours de la distillation, les molécules d'ammoniac libérées sont entraînées par la vapeur et fixées dans une solution d'acide borique.

3) Titrage

Nous avons procédé à la titration du distillat récupéré en utilisant de l'acide sulfurique à 0,01 N et 3 à 5 gouttes d'indicateur (mélange de Rouge de Méthyle et de bleu de méthylène).

I.3.3. Expression des résultats :

La teneur en azote par rapport à la matière humide est donnée par la formule suivante :

$$N \% = 0,01401 \times T \times (V_1 - V_0) \times 100/m$$

La teneur en azote par rapport à la matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$N \% = 0,01401 \times T \times (V_1 - V_0) \times 100/m-H$$

Où :

N : teneur en azote.

T : normalité de l'acide sulfurique utilise pour le titrage.

V₁: volume, en millilitre, de la solution d'acide sulfurique versée par le titreur lors du dosage.

V₀ : volume, en millilitre, de la solution d'acide sulfurique versée par le titreur lors de l'essai a blanc.

m : masse en grammes de la prise d'essai.

H : teneur en eau en pourcentage de l'échantillon.

I.4. Cellulose brute (crude fiber) Méthode WEENDE

Le dosage des fibres est un critère important pour la détermination de la qualité nutritionnelle de la semoule destinée à la panification, il a une relation étroite avec le taux de cendre.

I.4.1. Mode opératoire

L'échantillon est traité par une solution 1.25% d'acide sulfurique puis par une solution 1.25% d'hydroxyde de sodium. Les solutions sont appliquées proches du point d'ébullition, chaque traitement dure 30 ± 1 min. Les échantillons avec une teneur en graisse = 60g/kg sont préalablement dégraissés avec de l'acétone. Le résidu est à chaque fois lavé à l'eau chaude et séché. Finalement, le résidu est calciné pendant 1 h à 530°C. Le résidu, après le traitement acide puis basique, déduit du résidu de la calcination représente RF. Il est exprimé en g/kg.

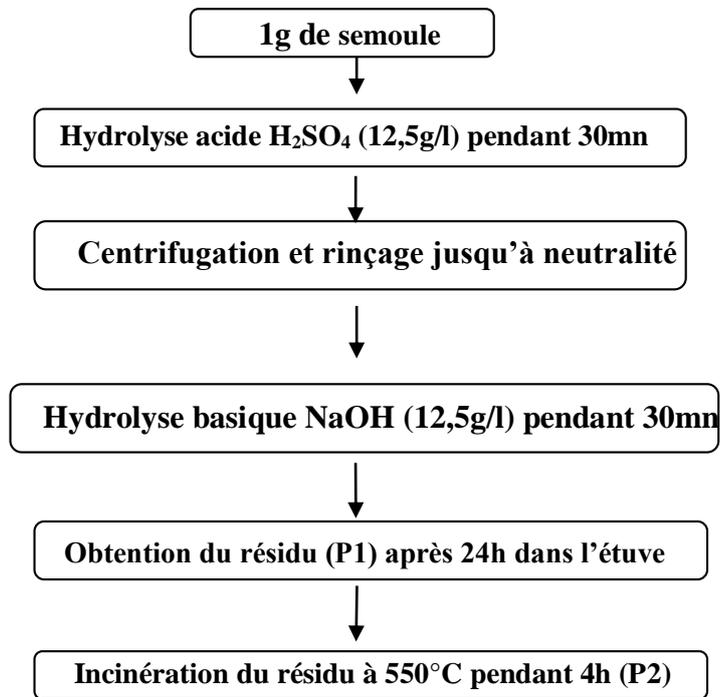


Figure 06 : Mode opératoire de dosage des fibres par la méthode de WEENDE

I.4.2. Mode de calcul :

La teneur en cellulose brute (les fibres) est donnée par la formule suivante :

$$\text{CB}\% = (\text{P1}-\text{P2}) / \text{E} \times 100$$

Où :

CB : taux de cellulose brute

P1 : masse en gr de résidus après 24 dans l'étuve

P2 : masse en gr de résidus après incinération à 550°C

E : masse de la prise d'essai

I.5. Détermination de la granulation des semoules

I.5.1. Principe

Ce test consiste à faire passer 100 grammes de semoule dans un tamiseur de laboratoire type « **Rotachoc** » muni d'une série de tamis mobiles, empilés les uns sur les autres dont l'ouverture des mailles est décroissante (de 710 µm à 160 µm) et la pesée du refus de chaque tamis (figure 17, annexe 02).

I.5.2. Mode opératoire

Après homogénéisation de l'échantillon, peser 100 gr et les placer dans le tamis du haut. Effectuer les différents réglages du Rotachoc : durée et vitesse de rotation (10 min), après écoulement du temps, l'appareil s'arrête automatiquement et procéder à la pesée de chaque fraction refusée pour établir la courbe de granulométrie. La masse du refus de chaque tamis est exprimée en pourcentage

II. Paramètres technologiques

II.1. Teneur en gluten humide

II.1.1. Principe

D'après **Godon et Loisel, (1997)**, l'extraction du gluten est réalisée par malaxage mécanique et lavage d'un mélange de mouture avec une solution d'eau salée à 2% puis le peser.

II.1.2. Mode opératoire

II.1.2.1. Préparation du pâton

Dix grammes de semoule, auxquels sont ajoutés 5,5 ml d'eau salée, puis malaxer la semoule hydratée à l'aide d'une spatule à bout plat : jusqu'à l'obtention d'une boule de pâte. Enfin on laisse les pâtons reposer 10 min environ.

Remarque : cette opération doit se faire minutieusement afin d'éviter les pertes d'échantillon.

II.1.2.2. Extraction manuelle

Le pâton est malaxé, en le plaçant dans la paume de la main gauche et à l'aide du pouce de la main droite, sous un filet d'eau de robinet (le débit doit être goutte à goutte). L'opération est poursuivie jusqu'à ce que la solution de lavage devienne claire. Le Gluten est lavé tout en augmentant le débit d'eau d'une manière à obtenir un filet continu et le pâton est énergiquement malaxé.

II.1.2.3. Essorage manuel

Comprimer le gluten ainsi obtenu entre les deux paumes des mains et essuyer vos mains, pour refaire cette opération plusieurs fois jusqu'à ce que le gluten commence à adhérer à vos paumes. L'essorage peut être effectué à l'aide d'une centrifugeuse. Finalement peser à 0,01g près le gluten humide.

II.1.2.5. Séchage

Mettre en marche le Glutork et une fois la lampe verte est allumée ; ce qui indique que la température voulue est atteinte (150°C) ; puis l'ouvrir et placer la boule de gluten au centre. Fermer le Glutork et presser le bouton de la minuterie Glutimer. Une fois la lampe de l'appareil s'éteint, l'ouvrir et enlever le gluten séché et le peser à 0,01g près.

II.1.3. Expression des résultats

La teneur en gluten humide est donnée par la formule suivante.

$$\text{GH (\%)} = (\text{gluten total (gr)} \times 100\%) / 10(\text{gr})$$

Où :

GH: gluten humide.

II.2. Teneur en gluten sec

II. 2.1. Principe

Après séchage du gluten humide à une température de 130°C durant 2 heures, on obtient le poids du gluten sec. La teneur en gluten sec est donnée par la formule suivante :

$$\text{GS (\%)} = (\text{gluten séché (gr)} \times 100\%) / 10 \text{ gr}$$

III. Analyses microbiologiques

Cette analyse est réalisée selon la méthode de **Guiraud (2003)** et a pour objectif d'évaluer et identifier les moisissures dans nos échantillons de semoule. Nous avons réalisé une série de trois essais pour chaque échantillon.

III.1 Echantillonnage

Les échantillons à analyser ne peuvent être manipulés, transposés et stockés sans quelques précautions. Nos prélèvements des semoules sont immédiatement placés dans des tubes stériles pour analyses microbiologiques. Un stockage à température basse mais positive (10 - 12°C) est à recommander, et ne devrait pas excéder les 24 heures.

III.2. Principe

L'ensemencement se fait sur la gélose au Malt (Annexe : 03) et incubation à 25°C pendant 3 jours.

III.3. Mode opératoire

III.3.1. Préparation de la solution mère et des dilutions

Mélanger 25g de semoule avec 250 ml d'eau peptonée tamponnée, puis transférer 1ml de l'homogénat dans un tube contenant 9 ml d'eau peptonée à l'aide d'une pipette et mélanger soigneusement. Transférer 1ml de la première dilution dans un deuxième tube contenant 9ml d'eau peptonée tamponnée et mélanger avec une autre pipette et répéter l'opération en utilisant un troisième ou un quatrième tube davantage.

III.3.2. Ensemencement

Couler la gélose au malt dans les boîtes de Pétri. Après le séchage, prendre aseptiquement 0,1ml de chaque dilution et l'étaler à la surface du milieu de culture en partant du tube le plus dilué.

III.3.3. Incubation

L'Incubation des boîtes ainsi préparées et retournées s'effectue à 30°C pendant 5 à 6 jours.

III.3.4. Dénombrement des colonies

Après l'incubation, dénombrer toutes les colonies sur les boîtes qui en contiennent de 20 à 300 et noter les résultats par dilution dénombrée en germe /gramme de produit. Le nombre de colonies par souches est évalué en UFC (unité formant colonie) par g d'échantillon selon la formule suivante :

$$N = Z c / (n1 + 0,1 n2) \times d$$

Où :

N: Nombre d'UFC par grammes de produit initial.

c: Nombre de colonies comptées par boîte de Pétri.

n1, n2 : Nombre de boîtes de Pétri.

d : Facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages ont été obtenus.

III.3.5. Isolement

Selon **Guiraud, (2003)**, l'isolement s'effectue comme suit : Prélever une petite bouture mycélienne et la repiquer au centre d'une boîte de Pétri contenant le milieu gélose extrait de malt et pour obtenir un développement typique, l'inoculation est réalisée en un seul point et incubé à 25°C durant 7 jours. Le prélèvement a lieu lorsque le développement de la souche est suffisant.

III.3.6. Identification des isolats

L'identification des souches de moisissure est réalisée selon l'étude des caractères culturels et des caractères morphologiques.

a) Caractères culturels

L'examen des boîtes de Pétri s'effectue à l'œil nu. La détermination des caractères macroscopiques des moisissures fait appel aux caractères suivants : La texture et la couleur des colonies, la vitesse de croissance, la couleur du revers de la culture, la présence ou l'absence de gouttes de transpiration.

b) Caractères morphologiques

Le matériel fongique est observé dans tous les cas en milieu liquide entre lame et lamelle. Une petite culture est prélevée à l'aide d'une aiguille stérile, et placée sur une lame contenant une goutte de la solution aqueuse de lactophénol, recouverte d'une lamelle pour une observation sous microscope (Objectif X 100). L'observation consiste à mettre en évidence les caractères suivants :

- Hyphes cloisonnées (Septomycetes) ou non (Phycomycetes).
- Type et apparence du système sporal.
- Présence et type de structures particulières.

IV. Test de panification : NF (V 03-716)

Vu les conditions sanitaires, et par mesure de sécurité, la panification a été effectuée directement par le boulanger.

V. Appréciation de la valeur boulangère

La valeur boulangère fait apparaître des notions distinctes : le rendement en pâte, la tolérance au pétrissage, la machinabilité de la pâte, le développement de la pâte et du pain ainsi que la qualité organoleptique de la mie du pain.

L'appréciation des différentes caractéristiques est établie selon la grille de notation établie par la norme AFNOR (voir annexe).

Pour juger la valeur boulangère de la semoule, la somme des observations appréciées constitue la note finale de cette valeur boulangère qui est exprimée sur 300 points, et qui est divisé en :

- Note de pâte sur 100 points
- Note de pains sur 100 points
- Note de mie sur 100 points

Le caractère normal ou satisfaisant pour une observation sera noté dans la case 10. Un défaut est à considérer soit par insuffisance, soit par excès. L'intensité de défaut se qualifie à trois niveaux et il est noté comme suit :

- Défaut peu intense = 7
- Défaut intense = 4
- Défaut très intense = 1

Analyse statistique

Les résultats de chaque paramètre sont la moyenne de deux essais. La comparaison des moyennes est réalisée par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivant le test LSD (Least Significant Differences) en considérant le seuil de signification $p < 0,05$.

Résultats et Discussion

Résultats et discussion

I. Paramètres physico-chimiques des semoules

Afin d'atteindre l'objectif fixé par cette étude, une série d'analyses physico-chimiques, technologiques et microbiologiques sont réalisées sur les trois échantillons de semoules fines complètes comparées à une semoule fine ordinaire de la même marque commerciale. Les résultats des analyses sont comme suit :

I.1 Teneur en eau (taux d'humidité)

Les résultats obtenus pour le dosage du taux d'humidité sont représentés par le diagramme de la figure 7.

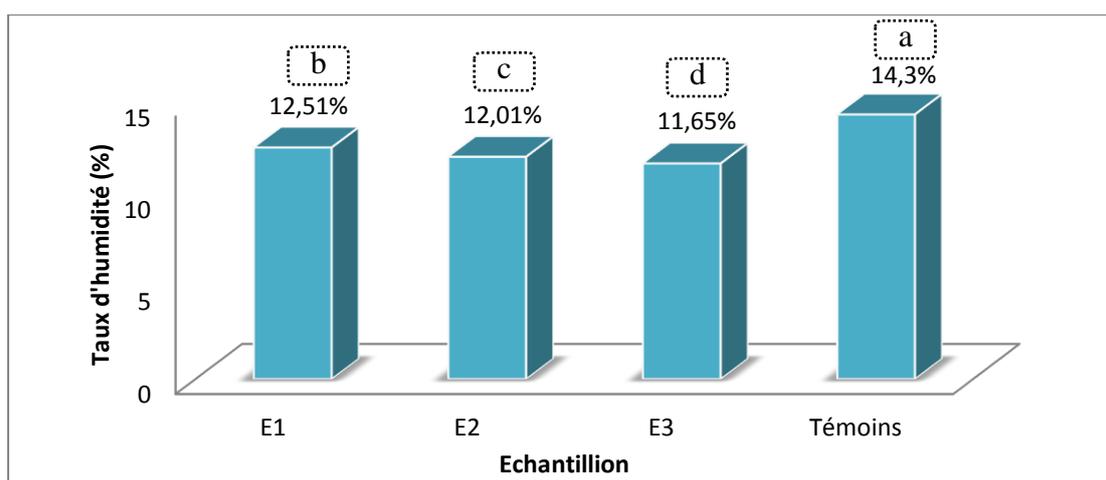


Figure 7 : Teneur en eau des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p < 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c > d$).

Pour les trois échantillons, la teneur en eau varie entre 11,65 % et 12,51% et elle est inférieure à la valeur maximale (14,5 %) admise par le codex alimentaire (1991) et FAO (1991). L'analyse de la variance pour le taux d'humidité des semoules indique une différence significative ($p < 0,05$) et la comparaison des moyennes révèle 4 groupes homogènes.

Ces valeurs d'humidité obtenues permettent une bonne conservation de nos semoules et évitent leur contamination et le développement de moisissures. La faible teneur en eau peut être expliquée par l'évaporation excessive de l'eau lors de la conservation des échantillons dans le laboratoire.

Selon **Kiger (1967)**, l'humidité est très variable, elle dépend à la fois de la saison et de sa température et de la quantité d'eau ajoutée au blé avant la mouture.

I.2. Taux de cendres

Les résultats obtenus pour le dosage du taux de cendres des semoules analysées sont présentés dans le diagramme de la figure 8.

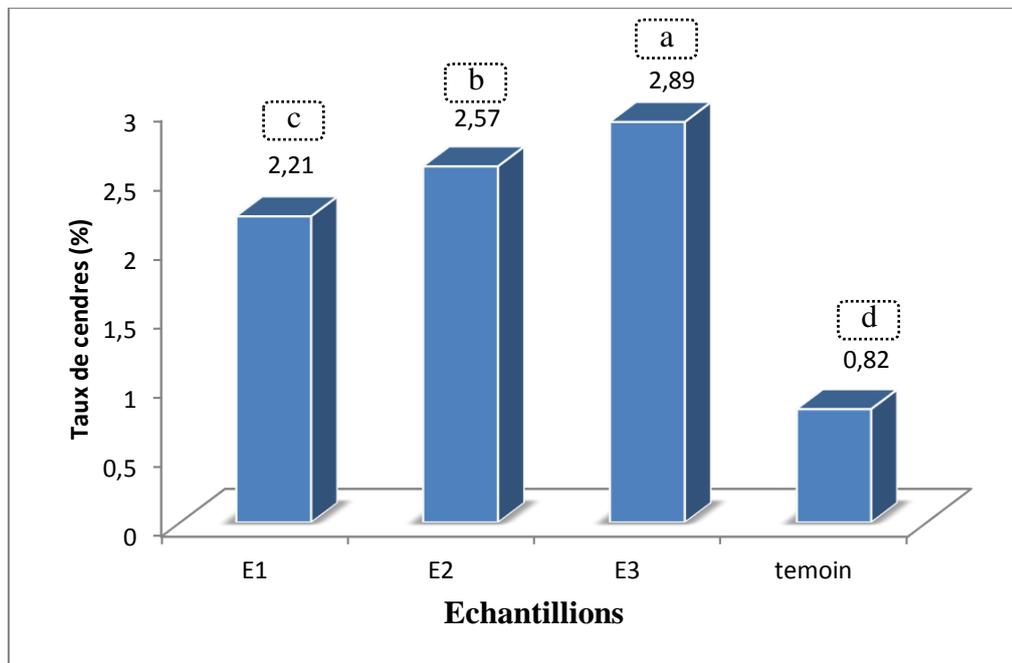


Figure 8 : Teneur en cendres des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p < 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c > d$).

Les résultats obtenus dans notre étude indiquent une variation dans la teneur en cendre des échantillons de semoules analysées. Les valeurs oscillent entre une valeur maximale de 2,89% MS pour l'échantillon E3 et une valeur minimale de 0,83% MS pour l'échantillon témoin (semoule fine ordinaire).

Quant à l'analyse de la variance montre une différence significative ($p < 0,05$).

Le taux de cendres est un critère retenu par la réglementation pour contrôler la pureté des produits de mouture. Cette teneur est en fonction du taux d'extraction, mais également de la minéralisation des blés (Abecassis *et al.*, 1996). D'après la norme **CODEX STAN 178-1991**, la teneur en cendres maximum de la semoule de blé dur est de 1,3 % ce que signifie que la semoule témoin est pure et répond à la norme.

Le taux élevé de cendres dans les 3 échantillons (semoules complètes) est expliqué par l'augmentation de la quantité du son ajouté à la semoule lors de la mouture. Le son est constitué par les couches externes du grain qui contiennent notamment les sels minéraux (Godon et Willm, 1990).

I.3 . Taux de protéines

Cette analyse est effectuée selon la méthode de **KJELDAHL (NF V03-050)** et les résultats obtenus sont illustrés dans la figure 9.

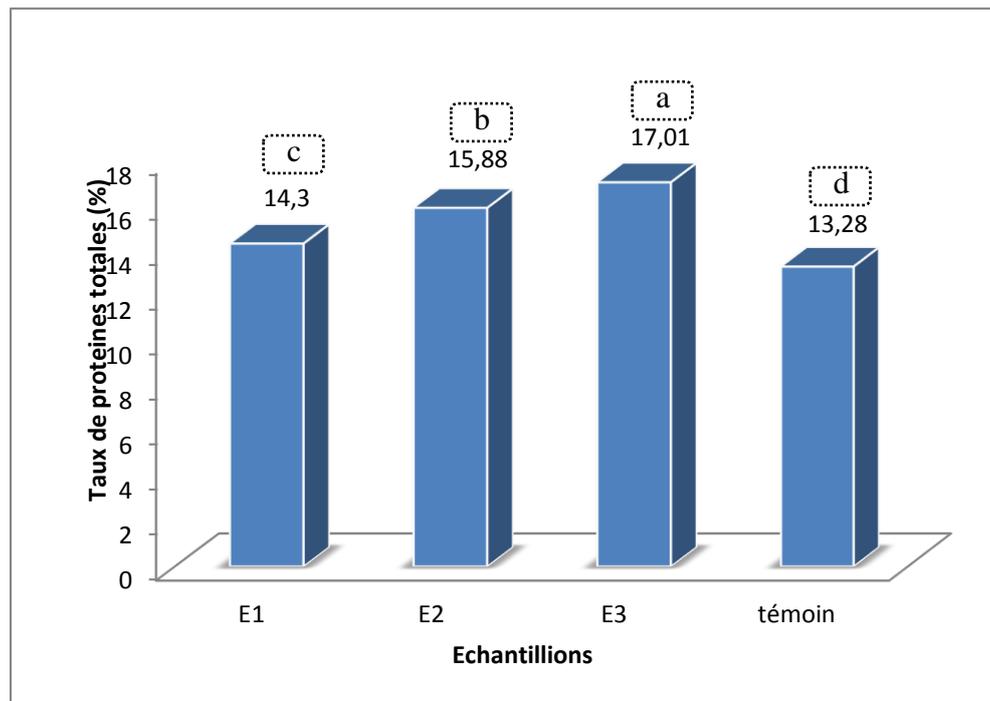


Figure 9 : Teneur en protéines des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p < 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c > d$).

A la lumière de l'histogramme (Figure 9), les teneurs en protéines des semoules varient entre 13,28% pour la semoule témoin et 17,01 % pour la semoule N° 03. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative pour ce paramètre ($P < 0.000,5$) et la comparaison des moyennes montre 4 groupes homogènes.

La teneur élevée en protéines dans les Trois échantillons peut être expliquée par l'ajout du son (riche en protéines) lors de la formulation des semoules analysées. Le son est constitué par les couches externes du grain y compris l'assise protéique (couche à aleurone).

Selon le *Codex Alimentarius* (1995), la semoule de blé dur doit avoir un minimum de protéine de 10,5 %. Une semoule de bonne qualité doit avoir une teneur en protéine comprise entre 12,5 et 13,5%.

La teneur en protéine des semoules est l'un des critères les plus importants pour l'appréciation de la qualité. Car elle présente un double intérêt : le premier est d'ordre nutritionnel et le second d'ordre technologique. Par conséquent, les semoules élaborées sont riches en protéines et elles auront ainsi une bonne valeur nutritionnelle.

I.4. Taux de fibres

Le taux de fibres est déterminé par le dosage de la cellulose brute par la méthode de **WEENDE**, dont les résultats sont indiqués dans la figure 10.

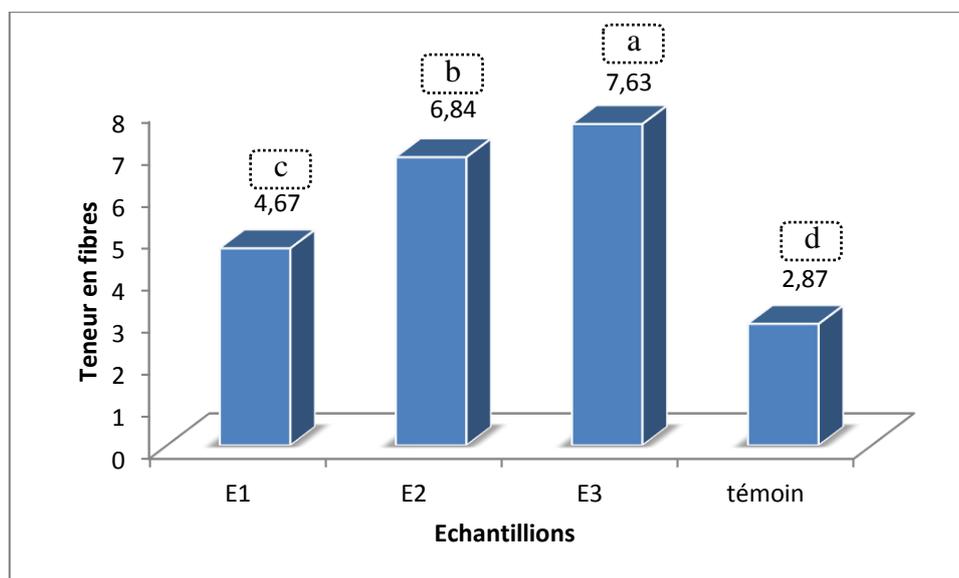


Figure 10 : Teneur en fibres des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p < 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c > d$).

Selon le *Codex Alimentarius* (1995), la teneur maximale des fibres dans la semoule de blé dur est de 3,9%. Les résultats obtenus montrent que le taux de fibre dans la semoule témoin (2,87%) est inférieur à la norme, tandis que pour les trois échantillons analysés, une augmentation de taux de fibres est constatée. Elle varie entre 4,67 et 7,63%. L'analyse de la variance montre que la différence est très hautement significative ($p < 0,0005$) et la comparaison des moyennes révèle aussi 4 groupes homogènes.

Cela est expliqué par la richesse des semoules en son. Ce dernier est constitué de couches fibreuses de la graine qui renferment notamment des constituants cellulosiques dites fibres alimentaires.

Les fibres sont des glucides que l'organisme ne peut ni digérer, ni assimiler. Ils facilitent le transit intestinal car elles augmentent le volume des selles et diminuent les inconforts de la constipation. Ils jouent également un rôle dans la satiété et la diminution de l'absorption de glucose (Pointillart, 1992).

Ces résultats montrent l'existence d'une relation très étroite entre la teneur en cendres, la teneur en fibres et les taux de protéines, ce que signifie que ces semoules sont riches en micronutriments et ont une bonne qualité nutritionnelle.

1.5. La granulométrie

Les semoules sont constituées par un ensemble de particules hétérogènes en granulométrie et en composition biochimique (Herbard et al., 2000). Ce paramètre nous renseigne sur la finesse de mouture des grains et sur la composition en taille des particules des semoules à analyser. Les résultats de granulométrie de nos semoules sont illustrés dans la figure 11.

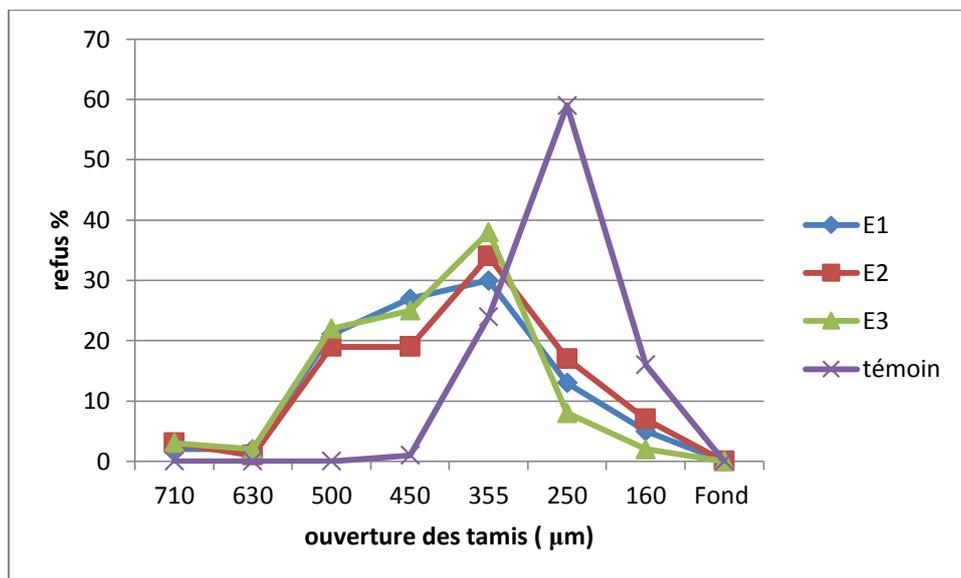


Figure 11 : Distribution granulométrique des semoules

A partir du graphe de la figure 11, nous constatons que pour les quatre semoules, le pourcentage élevé des granules (52 à 43%) est observé dans les tamis ayant des ouvertures de mailles comprises entre 355 et 250µm. Ceci nous permet de classer nos semoules dans la catégorie des semoules sassées super fines extra (SSSFE : 3SFE). De ce fait, ces semoules peuvent être utilisées en boulangerie pour la fabrication du pain.

II. Paramètres technologiques

II.1. Indice de couleur

L'intérêt de la mesure de ce paramètre est surtout commercial. Le consommateur recherche des semoules claires, de belle couleur jaune ambré. Or la législation interdit toute adjonction de colorants, la couleur ne peut provenir que du blé dur (Mahaut, 1996). L'échelle de classification des indices de coloration est illustrée dans le tableau III.

Tableau III : Echelle de classification des indices de coloration (Houiaropoulos et al.,1981)

Indice de jaune B	Appréciation	Indice de brun (100-L)	Appréciation
> 35	Elevé	> 21	Elevé
28 à 35	Moyen	18 à 21	Moyen
< 28	Faible	< 18	Faible

II.1. Indice de jaune

La couleur jaune des semoules est due à la fois à la présence dans le blé des pigments caroténoïdes et aux faibles réactions de brunissement enzymatiques et non enzymatiques.

Les indices de jaune des semoules analysées sont représentés dans le diagramme de la figure 12.

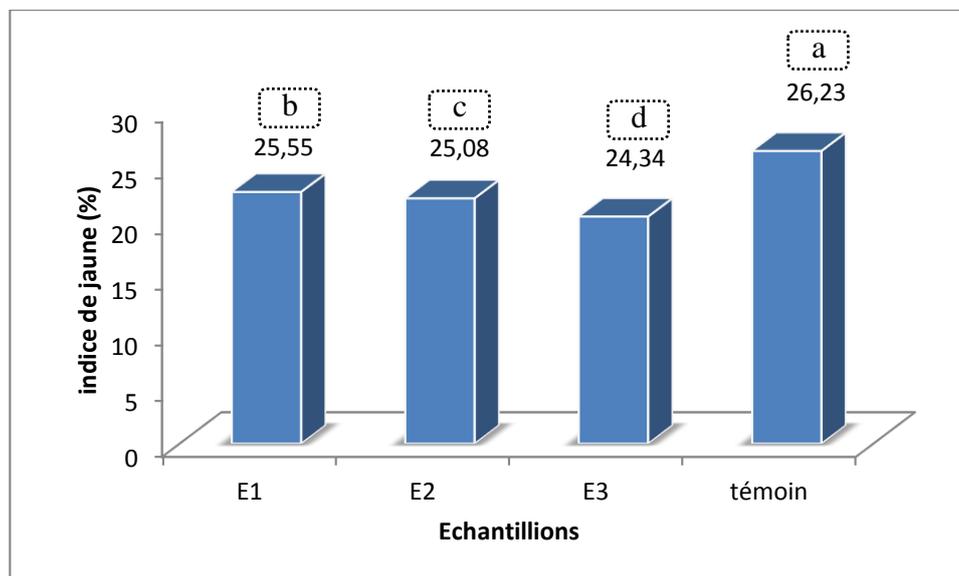


Figure 12 : Indice de jaune des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p < 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c > d$).

Les indices de jaune obtenues oscillent entre 24,34 et 26,23 %. L'analyse de la variance indique une différence très hautement significative pour ce paramètre.

En se référant à l'échelle de classification, nous pouvons constater que la semoule témoin (semoule fine ordinaire) a un indice de jaune faible (< 28).

Cette faible teneur pourrait être due à une déficience en pigments caroténoïdes. En effet la teneur en pigments caroténoïdes est associée à l'activité de la lipoxigénase ; enzyme responsable de la dégradation oxydative des pigments caroténoïdes au cours du stockage des grains, puis s'accélère après la transformation (**Borreli et al., 1999**).

Bien que plusieurs facteurs environnementaux influencent sur la teneur en pigments jaunes (**Borreli et al., 1999**), cette qualité peut être considérée comme hautement héréditaire (**Ravindra et al., 2007**).

L'appréciation faible de l'indice de jaune chez les 3 autres semoules complètes n'est pas due uniquement à la déficience en pigments caroténoïdes mais aussi à la présence des enveloppes de la graine moulues dans les semoules (son).

II.1.2. Indice de brun

Pour l'indice de brun, les valeurs obtenues sont comprises entre 18,24% et 45,4% pour la semoule témoins et la semoule N° 3 respectivement. Comme le montre le diagramme de la figure 13.

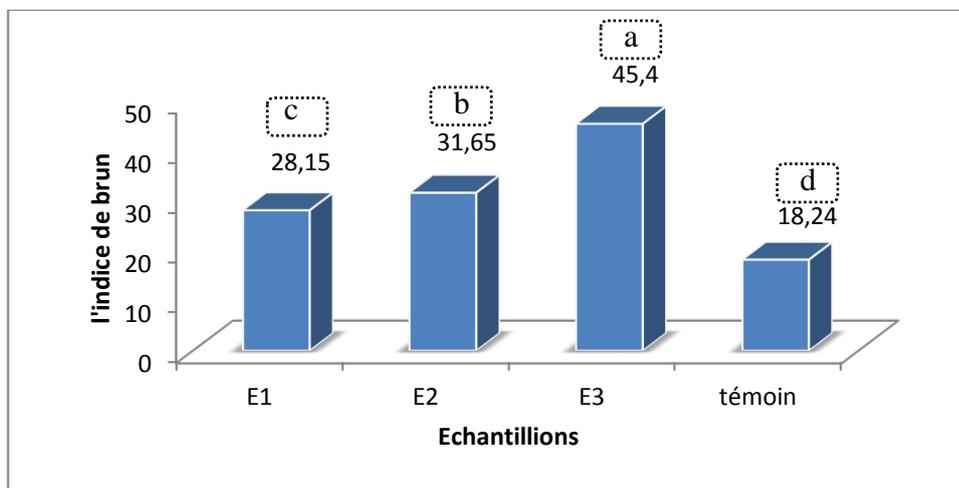


Figure 13 : indice de brun des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p > 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a < b < c < d$).

D'après **Houiaropoulos *et al.*, 1981**), la semoule ordinaire (témoin) a un indice de brun faible ($< 18\%$) tandis que les 3 autres échantillons (semoules complètes) ont un indice de brun élevé ($< 21\%$). L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative pour ce paramètre ($P < 0.000,5$) et la comparaison des moyennes montre 4 groupes homogènes.

L'indice de brun a une bonne corrélation avec le taux de cendre et le taux de fibre (**Taha et Sagi, 1987**).

Le son a une couleur jaune ombrée responsable de la couleur brune des semoules complètes.

II.2. Teneur en gluten

II.2.1. Gluten humide

Les résultats obtenus sur le gluten humide des semoules étudiées (figure 14) varient entre 33,2% pour l'échantillon 2 et 34,02% pour la semoule témoin.

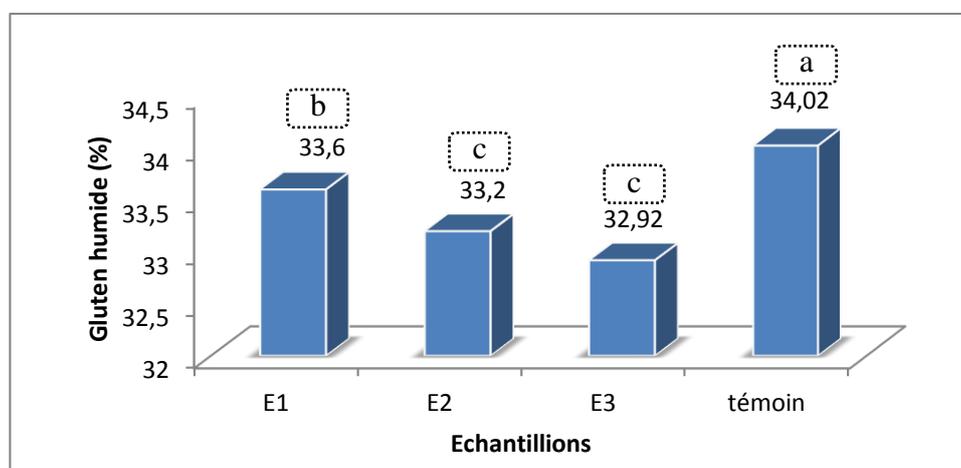


Figure 14 : Teneur en gluten humide des semoules.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $P < 0.05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c$).

De point de vue quantitatif, la teneur en gluten humide doit être comprise entre 33 et 34 % (**Godon B, 1991**). En se référant à ces valeurs, la teneur en gluten humide des semoules complètes (E1=33,6%), (E2=33,2%) et (E3=32,92) ainsi que la semoule témoin sont conformes à la norme. L'analyse de la variance indique l'existence d'une différence significative pour ce paramètre ($P < 0,05$) et la comparaison des moyennes montre 3 groupes homogènes dont le groupe C renferme l'échantillon E2 et E3.

Le gluten joue un rôle crucial dans la panification surtout lors de la phase de pétrissage durant laquelle le réseau glutineux s'édifie. Selon **Roussel (2005)** la qualité du gluten agit sur la fixation de l'eau, la résistance, la tenue de la pâte et la rétention gazeuse, la croute de pain qui sont tous des paramètres déterminant la panification.

II.2. Gluten sec

Les résultats obtenus sur la qualité de gluten sont illustrés dans le diagramme de la figure 15.

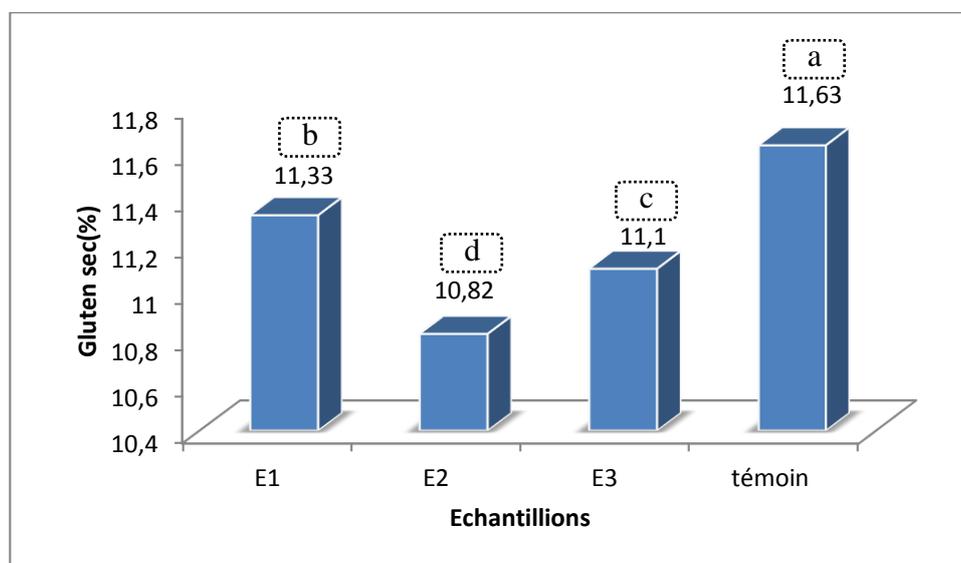


Figure 15 : Teneur en gluten sec des semoules

Les résultats qui portent des lettres différentes sont statistiquement différents à $p < 0,05$ (Test ANOVA-LSD, $a > b > c > d$).

La teneur en gluten sec des semoules varie entre 10,81% et 11,63% ; valeur minimale et maximale enregistrée chez l'échantillon E2 et le témoin respectivement. L'analyse de la variance montre une différence significative pour ce paramètre ($P < 0,05$) et la comparaison des moyennes montre 4 groupes homogènes.

D'après les résultats obtenus, on constate que les teneurs en gluten sec des quatre échantillons de semoules sont acceptables ; car d'après **Lecoq (1965)**, la teneur en gluten sec des semoules varie entre 10 et 13 %. Selon (**Edgido et al., 1979**), les semoules ayant des teneurs en gluten sec supérieures à 13% peuvent fournir un excellent produit fini, tandis que pour celles ayant des

teneurs inférieures à 10% sont de qualité inférieure. Cela nous permet de considérer que la teneur en gluten de nos semoules comme acceptable.

III. Paramètres microbiologiques

D'après les résultats obtenus après l'ensemencement et incubation des quatre échantillons nous avons noté l'absence totale des moisissures.

Les semoules, d'après **GUIRAUD (2003)**, ne doivent pas contenir plus de **10 germes /gramme** de produit. Donc les échantillons des semoules étudiées présentent une très bonne qualité hygiénique.

IV. Appréciation du pain

Le pain doit présenter des critères de qualité recherchés par le consommateur concernant son développement, sa cuisson, son aspect, et sa flaveur.

Bushuk (1985), caractérise un bon pain par son grand volume, sa belle forme de croûte, de texture et de couleur agréable et par une mie de bonne couleur à texture lisse bien alvéolée.

VI.1. Aspect du pain

Les pains issus de la semoule de blé dur (témoin) présentent une section bien arrondie, de couleur bien dorée et une croûte croustillante avec des coups de lames bien réguliers. Tandis que les semoules complètes ont donné un pain moins développé et de couleur pale et foncé. Plus la semoule contient de fibres, plus la couleur du pain devienne plus foncée (**Roussel, 2010**).

VI.2. Aspect de la mie

La couleur de la mie d'un pain préparé de la semoule de blé dur est sensée être de couleur jaune ; qui est due à la présence des pigments caroténoïdes. La mie de pains issus des semoules complètes était de couleur crème qui vire au blanc. La texture était souple, élastique et l'alvéolage était régulier. Les pains issus de la semoule complète présentent une mie de couleur brune moins alvéolée.

Les propriétés rhéologiques des pains sont affectées par le réseau protéique de gluten. Dans le cas des pains complets, le gluten s'associe au son et forment un réseau protéique plus ferme ce qui empêche l'étirement de gaz carbonique retenu dans le réseau protéique d'où le faible développement des alvéoles (**Roussel, 2010**).

Conclusion et Perspectives

Conclusion et Perspectives

L'objectif de ce travail était de trouver une recette d'une semoule fine complète destinée à la panification pour la fabrication d'un beau et bon pain. Et pour cela une caractérisation biochimique et une appréciation de la qualité technologique sont réalisées sur 3 échantillons de semoules complètes obtenues à l'échelle industrielle.

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

Toutes les semoules complètes analysées sont considérées comme des semoules de bonne qualité.

La semoule de l'échantillon E3 présente une haute valeur nutritionnelle par rapport à la semoule E1 et E2, tandis que la semoule de l'échantillon E1 présente la meilleure qualité technologique.

La qualité nutritionnelle est améliorée par l'ajout du son au cours de la mouture (enveloppes périphériques de la graine), de ce fait, plus la quantité du son est élevée dans la semoule, plus la qualité nutritionnelle est meilleure.

L'ajout du son confère à la semoule les micronutriments qui sont : les protéines, les sels minéraux, et les fibres.

Le taux de protéines, des cendres et des fibres augmente au fur et mesure que les fractions d'enveloppes du grain ajoutées augmentent.

Les semoules complètes fines analysées ont une granulation comprise entre 250 et 355 μm , ce qui nous permet de les classer dans la catégorie des semoules sâssées super fines extra (3SFE).

L'indice de jaune des semoules complètes est affaibli par la présence du son qui présente une couleur plus foncée. Par conséquent, l'indice de brun est augmenté.

Pour le gluten humide et le gluten sec, les semoules analysées sont de bonnes qualités et sont conformes à la norme.

Concernant l'analyse microbiologique, tous les échantillons des semoules présentent une bonne qualité microbiologique.

Dans la perspective d'approfondir ce travail, il serait intéressant de :

- Faire d'autres analyses physico-chimiques plus poussées telles que : le dosage des éléments minéraux tel que le fer, les vitamines et les glucides.
- Faire une analyse sensorielle des pains issus des semoules complètes.
- Optimiser un protocole de panification qui convient le mieux au blé dur (semoule complète).
- Faire une étude sur l'effet de la consommation du pain fabriqué à base de semoule complète, sur le taux de glycémie des gens diabétiques, ainsi son effet sur le passage intestinal et les problèmes digestifs.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- ABECASSIS J., 1987** : La mouture d'essai du blé dur : Recherche et applications industrielles. Ed. Ecole nationale supérieure de meunerie et des industries céréalières.158p.
- ABECASSIS J., GAUTIER M.F., AUTRAN J.C., 1990** : La filière blé dur : pâtes alimentaires. Industrie Agroalimentaires :PP 475-482.
- ABECASSIS J., 1991** : La mouture du blé dur. In, les industries de première transformation des céréales. (in GODON B. et WILLM C.).Ed. Tec et Doc- Apria :362-393.
- ABECASSIS J., (1996)** : Comprendre la qualité : la valeur semoulière, perspectives blé dur INRA. Montpellier France. PP37-56.
- ABECASSIS J et CHAURAND M (1997)** : Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et plastification. In : Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales .Ed : Tec & Doc, Lavoisier Paris. 2ème édition 746-----774.
- ALAIS C., LINDEN.G et MICLO.L., (2003)** : Biochimie alimentaire :les céréales-le pain, 5ème éd., DUNOD, Paris, p.131-134.
- AMIR Y., DJABRI, D., GUELLIL, H., YOUYOU, A., 2004**: Influence of environmental factors on the quality of wheat grown in north Algeria, JFAE (Finland), ISSN 1459 0255,Vol. 2, n.2, pp: 315-319.
- APFELBAUM.M., ROMON.M et DUBUS.M., (2009)** : Diététique et nutrition. 7ème édition.
- BATTAIS F., RECHARD C et LODUC V.,(2007)**: les allergenes d grains de blé.whait grain allergens.reveu française d'allergie et d'immunologie clinique.N°47
- BELITZ H B., GROSCH W et SCHIEBERLE P., (2004)**: cereals and cereals products. In. Food chemistry.Ed.springer.pp.73-746.
- BENMOUSSA M., 1999** : Production d'une de glutenine à faible poids moléculaire dans les fluides à faible poids moléculaire dans la feuille de la luzerne et les tubercules de la pomme de terre. Thèse de doctorat. Université Laval. Québec. pp .4-16.
- BENBELKACEM A., SADLI F et BRINIS L., (1995)** : La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. ISB ANNABA. Pub : Ciheam. Option méditerranéenne.
- BOGGINI G. et POGNA N E., 1989**: The bread making quality and storage protein composition of Italian durum wheat J. Cereal Sci 9 131- 138.
- BONJEAU A et LEBLOND R., (2000)** : Du grain au pain. Le trésor du blé, www.naturosant.com.

- BOUDREAU. A et MENARD. G.,(1992) :** Le blé, éléments fondamentaux et transformation . 2^{eme} Ed : les presses de l'université de LAVAL.PP 27-76.
- BOUDREAU A et MATSUO G., (1992) :** La semoulerie. In : Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Ed : les presses de l'université LAVAL. 166-179.
- BOYACIOGLU M et DAPPOLONIA B., 1994:** Characterization and utilization of durum wheat for bread making. I .Comparison of chemical, rheological and basing properties between bread wheat flour and durum wheat flour. Cereal chemistry. Vol 71, n 1. Pp. 21-28.
- BRENNAN P ., 1984:** la meunerie . In: céréales et oléagineux, manutention, commercialisation et transformation. Éd : institut international du canada pour le grain, 1000- 303 main street 3^oéd.
- CANADAS D ., (2006) :** Evaluation de procédé oxygéné pour son potentiel de décontamination en ocre toxine A du blé.les effet toxiques liés à une exposition sub-chronique à l'ocra toxine A ont-ils atténués? Thèse doctorat. Toulouse, N°2356.P 20-25.
- CALVEL R., 1984 :** Boulangerie moderne. 2^{ème}. Ed. Eyrolles. Paris : 459.
- CASTELLO P., POTUS J., BARET J L et NICOLAS J.,(1998):** la maturation des farines: aspect biochimique et technologique. Industrie des céréales.
- CHAROLES .A., GULLI. L et AURANT L., (2003) :** biochimie alimentaire 5^{ème} éd de l'abrégé. 129-138.
- CHASSERAY P., (1991):** caractéristiques physique des grains et de leurs dérivés. In " les industries des premières transformations des céréales".éd.Tec et DoC. LAVOISIER, Paris, ISBN:2-85260-610-6, pp.105-108.
- CHEHAT F, (2007):** Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.
- CLAVEL R.,1996:** la panification actuelle la farine u froment et les farine diverses. In le pain et la panification. 2^{eme} éd 4^{eme} trimestre mis a jour. Paris. Pp.35,35,44.
- C.N.I.S, 2014 :** centre national d'informatique et de statistique.
- DACOSTA Y.,(1986) :** Le gluten de blé et ses applications. Ed : APRIA, Paris.
- DAMIDAUX R., AUTRAN J. C., GRIGNA C., et FEILLET P., 1978 :** Mise en évidence des relations applicables en sélection entre l'électrophorégramme des gliadines et les propriétés viscoélastique du gluten de triticumdurumDesf C.R.Acad. Sci. Ser D.291:585 -588.
- DEBITON C., 2010:** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy , *thèse de doctorat , Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. France.*

- DUBOIS. M., (1996) :** Les farines : caractéristiques des farines et des pâtes. In : Industries des céréales. N°97. Ed : Lavoisier, Paris. 19-29.
- DEXTER et EDWARDS NM., (1998):** les incidences des facteurs de classement fréquemment détecté sur l'aptitude technologique de blé dur. Association of operative Millers-Bulletin. Commission canadienne des grains, p.12.
- DEXTER JE et MATSUO R R., (1980):** Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. J. Agric. Food Chemistry.
- FAVIER, J-C., 1989:** Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. In céréales en région chaude. éd. John LibbeyEurotext. Paris, p.287, 288.
- FEILLET,(2000) :** Le grain de blé, composition et utilisation. Ed : INRA
- FEILLET P., JEAN M F., KOBREHEL K et LAIGNELET B., (1974):** Le brunissement des pâtes alimentaires. Ed : Bul. ENSMIC.
- FLAGELLA Z., (2006) :** qualità e tecnologica del frumento duro. Ital. J. Agron. /Riv. Agron., 1 :203-239.
- FNRDA :** Fonds Nationale de Regulation et du Développement Agricole.
- 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.(2006):** Connaissance des aliments, bases alimentaires de la diététique : les produits céréaliers. éd. TEC & DOC LAVOISIER. Paris, p.161, 162, 166, 167, 190, 191.
- GALLAIS A et BANNEROT H., (1992) :** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. Ed : INRA, Paris. P. 34.
- GERRARD.M., BOUDREAU.A., BOULET.M., GOULET. J., MARTEL. R., POULIOT. Y et SIMARD. R., (1996) :** L'homme et ses aliments. Initiation à la science des aliments. Les presses de l'université Laval.
- GEFFROY (1950):**le blé: la farine et le pain .éd.Dunod-Paris.
- GRESEL.E., (1990) :** les caractéristiques des blés de récolte 1999. Vue par la méthode Gluten index. Industries des céréales.
- GODON.B., (1991) :** Composition biochimique des céréales. In : Les industries de premières transformations des céréales. Ed : Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 77-103.
- GODON.B. (1998) :** Composition biochimique des céréales. In : Les industries de premières transformations des céréales. Ed : Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 57-74
- GODON.B ET WILLM.C., (1991) :** les industries de premières transformations des céréales. Ed : Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 122-154.
- GODON.B., (1982) :** Valeur meunière et boulangère des blés tendres et leurs farine In : conservation et stockage des graines et produits dérivés. Ed : Tec et Doc. Lavoisier, Paris.

- GRANDVOINET P., PRATEX B., (1994)** : les ingrédients des pâtes : farines et mixtes. Panification française : Tec et Doc. Lavoisier.101-120.
- GRINGNAC.P.,1981**: amélioration des variétés de blé dur .anales de l'amélioration des plantes. P.159,148.
- GUEZLANE et ABECASSIS J., 1991**: méthodes d'appréciation de la qualité culinaire du couscous de blé dur. In Ali Agri. Novembre: 966-971.
- GODON B et LOISEL W., (1997)** : Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales.2ème éd : Tec & Doc, Lavoisier.
- ITGC., (1979)**: Céréaliculture, revue trimestrielle scientifique et technique d'information de l'institut de développement des grandes cultures.
- ITCF., (2001)**: contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique ITCF. Laboratoire qualité des céréales. P.175, 219.
- JEANTET. R., CROGUENNEC. T., SCHUCK. P et BRULE. G., (2007)** : Du blé au pain et aux pâtes alimentaires. In : Sciences des aliments, Biochimie-microbiologie- procédés produits. V2 : Technologie des produits alimentaires. Ed : Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 137- 180.
- JEHANE, (1987)**: Riz, pâtes alimentaires et oeufs. Edition Heritage France, p32.
- HOUIAROPOULOS E ., ABECASSIS J. et AUTRAN 1981**): produits de mouture du blé: coloration et caractéristiques culinaire. Industries des céréales N°2, p.3,13.
- LAIGNELET B., KOBRETTEL K et FEILLET P., (1972)** : Le problème de la coloration des pâtes alimentaires. In: Industries Agric. Alim.
- LECOQ R .,(1965)**: manuel d'analyses et d'expertises usuelles. Doin, Paris, tome 1 et 2
- MACHEIX JJ., 1996**: moucheture le point sur la connaissance. Actes du colloque.
- M.A.D.R, 2011,2012 ; 2013 ; 2014** : ministère d'agriculture et de développement rurale
- MAHAUT B.,(1996)**: comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur?,In In colloque "perspectives blé dur".éd.ONIC,ITCF.France, pp.29-31.
- MANSER J., (1980)**: High-temperature drying of pasta products. Buhler Diagram,69. 11-12.
- MELAS V. et AUTRAN. J C., (1996)**: Caractérisation biochimique et fonctionnelle des glutenines du blé par chromatographie d'échange de cations. Relation avec les caractéristiques technologiques de la pâte. In : sciences des aliments.
- MERCIER, M. 1999**: Influence de l'état physicochimique de la matière grasse sur la décoloration des caroténoïdes et la rhéologie de la pâte à pain. Université LavaL,pp. 1-71.
- MOHTADJI-LAMBALLAIS,C. 1989**: Les céréales et leurs dérivés. In. Les aliments. Ed. MALOINE, pp : 105-115.
- MOROT-GAUDRY.J-F.,(1997)**: Assimilation de l'azote chez les plantes : aspect physiologique, biochimique et moléculaires. éd. INRA. Paris, p.377.

O.N.S : office national des statistiques, 2014

OSBORNE et SHEWRY, (1907): Proteins of the wheat kernel. Publ 84, Carnegie inst. Washington. 1-19.

POMERANZ Y., (1985): wheat flour lipids- what they can and cannot do in bread. Cereal. Food. World. Vol.31N° 3:443-446.

POPINEAU. Y., (1985) : Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines des céréales. In : Protéines végétales. Ed : Tec et Doc. 161-163.

PIERRICK B., ANDRE L E., BRAS G N et JEAN-PIERRE C.,(2003) : Stockage et conservation des grains à la ferme, Arvalis- institut du végétal.

QUAGLIA G B., 1988: Other durum wheat products .La « durum chemistry and technology. Fabricant G.and C., Lintas ; Editors AACC. St Paul. Minnesota.

RACHEDI, 2003 : Dépenses Alimentaires en Produits à Base de Céréales.

ROUDAUT ET LERRANCQ, 2005 : alimentation théorique. Science des aliments.

ROBERT R et MATSUO R .,(1984): le blé dur, production et transformation. In: céréales et oléagineux.

SENATOR A., (1983) : Contribution à l'étude de la valeur couscoussière : comparaison entre deux processus de fabrication. Mémoire d'ingénieur. INA. El Harrach.

SCHWARZ, P.B., KUNERTH, W.H., YOUNGS, V.L. (1988). The distribution of lignin and other fiber components within hard red spring wheat bran. Cereal Chemistry, 65 (1), 59-64.

SCOTTI G. et MONT J.-M., (1997) : analyse physique des grains des blés tendre et blé dur ; in : guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed.Tec& Doc LAVOISIER. Paris, pp.79-110.

SOLTNER D.,(2005): Les grandes productions végétales, Ed. Sciences et techniques agricoles , 20^{eme} éd, p.23,31,37.

UTHAYAKUMARAN.S, NEWBERY. M.,KEENTO.KM., STODDART. F LBEKES.F., (2000): Basic rheology of bread dough with modified proteins content and glutenin to gliadine ratios. In: cereal chemistry. 744-749.

VIERLING E., (2008) : Les céréales. In : Aliments et boissons, Filières et produits. Sciences des aliments. 3^{ème} édition. Editeurs SCEREN. 159-175.

WILLM. C., (1992) : Elaboration de nouveaux produits de meunerie. Industrie des céréales N°78.Paris, France, p. 5-7.

WÜRSCHÉ P., (1994) : Amidon, Pentosanes et lipides. In : Qualité du blé dur et des pâtes alimentaires. Séminaire. Comett. Montpellier.

Références webographiques

ANONYME1,2012:<http://www.lafranceagricole.fr/actualite-agricole/recoltes-2011,lessurfaces-mondiales-de-ble-pourraient-gagner-4-cic-35386.html>.

ANONYME2: l'Algérie table sur une production céréalière de 4,5 millions de tonnes en 2001. In : Afriqinfos 14-juin-2011.

<http://www.algerie360.com/algerie/les-importations-de-blé-en-augmente-de-plus-de-128-facteur-salée>

ANONYME 3 : Observatoire méditerranéens CEHEAM/IAMM).

ANONYME4 ,2014 :<http://www.chambres-agriculture.fr/outils-etmodules/actualites/article/mes-mrches-preparer-et-ac/> FAO, 2014

ANONYME5 ,2013: <http://www.meuneriefrancaise.com/content.asp?IDD=33582>

ANONYME 6: Les importations de blé ont augmenté de.....: facture ²In : Algérie 360. Juillet 2011.

<http://www.algerie360.com/algerie/les-importations-de-blé-ont-augmente-de-plus---de-128---facture/>

JORA., (2007) : Journal officiel de la république Algérienne. www.jora.dz.

ANONYME 7:1997 : Cereal Review. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (www.naturosante.com).

ANONYME 8, 2019 : <http://madrp.gov.dz/>

ANNEXE 01

Tableau VI : valeurs des moyennes des différents analyses physico- chimiques et technologique des semoules analysées

Semoules Analyses	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Témoin
Taux de l'humidité	12,51	12,01	11,65	14,3
Taux de cendres	2,21	2,57	2,89	0,82
Taux de protéines	14,3	15,88	17,01	13,28
Taux de fibres	4,67	6,84	7,63	2,87
Indice de jaune	25,55	25,08	24,34	26,23
Indice de brun	28,15	31,65	45,4	18,24
Taux de gluten humide	33,6	33,2	32,92	34,02
Taux de gluten sec	11,33	10,82	11,1	11,63

Tableau V : distribution de la granulation des semoules issues des blés durs dans les différents tamis.

tamis échantillons	710	630	500	450	355	250	160	FOND
E1	3	2	21	27	31	13	3	0
E2	2	2	19	24	35	17	1	0
E3	3	1	22	19	39	14	2	0
Témoin	0	0	0	1	24	59	16	0

Tableau VI : Résultats des analyses effectuées.

	H%	MM%	MAT%	CB%	Indice de jaune	indice de brun	gluten humide	gluten sec
E1	12,53	2,2	14,31	4,72	25,54	28,12	33,58	11,29
E1	12,49	2,22	14,29	4,62	25,46	28,09	33,4	11,37
E2	12,02	2,57	15,87	6,87	25,1	31,68	33,24	10,84
E2	12	2,57	15,99	6,81	25,06	31,72	33,19	10,8
E3	11,63	2,88	17	7,62	24,34	45,43	32,94	11,13
E3	11,67	2,9	17,02	7,64	26,28	45,38	33,01	11,07
témoin	14,31	0,84	13,25	2,85	26,28	18,19	34,12	11,71
témoin	14,29	0,8	13,31	2,89	26,2	18,26	33,96	11,55

Annexe 02



Figure 16 : Tamiseur « Rotochoc »

Annexe 3

Milieux et réactifs

Gélose au malt

- Extrait de malt.....30g/l.
- d'Agar.....15g/l.

Lactophérol

- Acide lactique.....100ml
- Phénol.....100g
- Glycérol..... 100 ml
- Eau distillée..... 100ml

ANNEXE IV



Résumé

Le présent travail est divisé en deux parties : La fabrication d'une semoule complète de blé dur destinée à la panification pour la production d'un pain de bonne qualité nutritionnelle et technologique. Une étude des paramètres physico-chimiques (taux d'humidité, taux de cendre, taux des protéines et taux de fibres), technologiques (gluten humide et sec, indice de coloration) et microbiologiques des semoules ciblées par l'essai de fabrication. Des analyses physico-chimiques, technologiques et microbiologiques ont été effectuées sur ces semoules, et il apparaît clairement que les 3 échantillons avaient une bonne qualité nutritionnelle et microbiologique et la qualité technologique. Les résultats de l'étude confirment la possibilité de produire une semoule de blé dur enrichie par les micronutriments du son dite semoule complète, et que cette semoule destinée à la panification et à la production du pain.

Mots clés : blé dur, pain, semoule complète, qualité nutritionnelle, qualité technologique

Abstract

The present work is divided into two parts: The manufacture of a complete durum wheat semolina intended for baking for the production of bread of good nutritional and technological quality (whole durum wheat semolina is not sold on the market). A study of the physicochemical parameters (humidity rate, ash content, protein content and fiber content) technological (wet and dry gluten, color index) and microbiological parameters of the semolina targeted by the manufacturing test. Physico-chemical, technological and microbiological analyzes were carried out on this semolina, and it clearly appears that the 3 samples had good nutritional and microbiological quality as well as technological quality. The results of the study confirm the possibility of producing durum wheat semolina enriched with the micronutrients of bran called whole semolina. This semolina is intended for baking and bread production.

Key words: durum wheat, bread, whole grain semolina, nutritional quality, technological quality.