

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة 1945

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaire

Spécialité/Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Département : Biologie

Thème :

Influence des semoules fines sur la qualité finale des pâtes alimentaires : Cas de « Rechta »

Présenté par :

- ✓ MECHRI Meryem
- ✓ BOUMZAOUT Nawal

Devant le jury composé de :

Président :	Pr. SOUMATI SOUIKI Lynda.	Professeur	Université de Guelma
Examineur :	Dr. DJEKOUN Mohamed	MCA	Université de Guelma
Encadreur :	Dr. MERZOUG Abdelghani	MCB	Université de Guelma

Juillet 2019



Remerciements

Avant toutes choses, nous remercions Allah, le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Notre respect le plus profond s'adresse à la présidente de jury Pr. SOUMATI SOUIKI Lynda pour avoir accepté de présider le jury de notre modeste travail. Que vous soyez assurée de nos entières reconnaissances.

*Nos sincères remerciements vont également à l'examinateur :
Dr. DJEKOUNE Mohamed*

Nous vous remercions vivement de nous faire l'honneur de consacrer une partie de votre temps précieux pour examiner ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances et nos gratitudees à notre encadreur, Dr. MERZOUG Abdelghani Vous nous avez fait le très grand honneur de diriger ce travail et de nous guider tout au long de son élaboration.

Nous sommes reconnaissantes pour votre appui, disponibilité, vos critiques et du respect que vous nous avez témoigné durant tout ce temps.

Veillez trouver ici le témoignage de nos Remerciements les plus sincères.

Nous remercions l'ensemble de l'équipe de MAB et surtout Mr. HAMLAOUI D. pour leur aide et disponibilité.

À tous les étudiants de la promotion 2019

À toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce travail

A mon Père Chaabane, l'homme d'exception, mon guide spirituel

A ma mère Zahia Boumzaout, ma force et ma source de valeurs

A mes sœurs : Fouzia ,Merieme , Zina et Hadjer et son mari

Fouad

*A mes frères : Karim , Mohamed et Radhwane , sa femme Laila
et ses enfants : Abdelrahmane , Imad eldine et Hibat elrahmane.*

A toute ma famille, proche ou éloignée

A tous nos amis proches et surtout Samira.

Nawel



Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents qu'ALLAH les garde

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments les plus sincères et mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.; Merci pour les valeurs nobles que tu m'as enseignées et mille mercis pour ton soutien permanent

Mes frères : Karim et son fils Iyad, Fars, Marwan et Mari de ma sœur Djamel. Je leur souhaite tout le succès possible

Mes sœurs : Najwa, Amira et la marrée de mon frère Soaad. Je leur souhaite du bonheur et du succès dans leurs vies

Dédicace spéciale à une personne proche à mon cœur : mon fiancé Hamza qui m'a soutenu dans la mise en place et le succès de ce travail

A mes meilleures amies, vous êtes comme ma famille : Hadjer, Zahra, Chahra, Remaïssa, Rima, Sara, Nour Elhouda, Imen et Rawia

A tous la famille de mon oncle Ramdane et mes tantes Zahia, Abla et Samia

A tous les membres de ma famille petits et grands

A toute personne qui m'a aidé à franchir un horizon dans ma vie

Meryem

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

INTRODUCTION 1

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LE BLE DUR

1. Historique du blé	4
2. Définition du blé dur	4
3. Classification botanique	5
4. Origine de blé dur	5
4.1. Origine génétique	5
4.2. Origine géographique	6
5. Structure	7
5.1. Composition histologique du grain	7
5.2. Composition biochimique du grain	7
5.2.1. Glucides	8
5.2.2. Protéines	8
5.2.3. Lipides	9
5.2.4. Vitamines	9
5.2.5. Minéraux	9
5.2.6. Enzymes	10
5.2.7. Eau	10
6. Critères d'appréciation de la qualité du grain du blé dur	12
6.1. Taux de moucheture	12
6.2. Taux de mitadinage	13
6.3. Poids de mille grain	14
6.4. Poids Spécifique	14
6.5. Teneur en eau	14
6.6. Composants du grain en relation avec la qualité	14

6.6.1. Protéines	15
6.6.2. Gluten	15
6.6.3. Teneur en amidon	16
7. Importance du blé dur	16
7.1. Importance alimentaire	16
7.2. Importance économique	17
7.2.1. En Algérie	17
7.2.2. Dans le monde	17

CHAPITRE 2 : TECHNOLOGIE DE TRANSFORMATION

1. Technologie de transformation du blé dur en semoule	18
1.1. Définition de la semoule	18
1.2. Caractéristiques principales de semoule	18
1.3. Procédé de transformation du blé dur en semoules : « semoulerie»	19
1.3.1. Nettoyage	19
1.3.2. Conditionnement	20
1.3.3. Mouture	20
1.3.3.1. Principe de la mouture	21
1.3.3.2. Différentes phase de la mouture	21
1.4. produits finis.....	22
1.5. Classification de la semoule	23
1.5.1. Pureté.....	23
1.5.2. Granulation	23
1.6. Composition chimique de semoule et leurs rôles	24
1.6.1. Protéines	24
1.6.2. Glucides	25
1.6.3. Lipides	26
1.6.4. Enzymes	27
1.6.5. Vitamines	27
1.6.6. Minéraux	27
1.7. Critères de qualité de la semoule	28
2. Technologie de transformation du semoule en pâtes	29
2.1. Définition	29
2.2. Classification des pâtes alimentaires	29

2.2.1. Pâtes pressées ou tréfilées	29
2.2.2. Pâtes laminées	29
2.3. Types de pâtes	30
2.3.1. Pâtes alimentaires sèches	30
2.3.2. Pâtes alimentaires fraîches	30
2.4. Constituants de la pâte	30
2.4.1. Semoule	30
2.4.2. Eau	31
2.5. Procédé de transformation de la semoule en pâte	31
2.5.1. Hydratation ou malaxage	31
2.5.2. Formage ou façonnage	32
2.5.3. Séchage	33
2.5.4. Conditionnement	33
2.6. Structuration des constituants des pâtes au cours de procédé de fabrication	33
2.6.1. Phase d'hydratation et de malaxage	33
2.6.2. Phase façonnage	33
2.6.2.1. Extrusion	33
2.6.2.2. Laminage	34
2.6.3. Phase de séchage	34
2.7. Rôle des constituants biochimiques dans la qualité culinaires des pâtes alimentaire	35
2.7.1. Rôle des protéines	35
2.7.2. Rôle des lipides	36
2.8. Interaction des lipides avec les constituants du grain	36
2.8.1. Interaction lipide – fraction protéique	36
2.8.2. Interaction lipide – amidon	37
2.9. Qualité des pâtes alimentaires	37
2.9.1. Qualité organoleptique	37
2.9.2. Qualité culinaire des pâtes alimentaires	38
2.9.3. Qualité hygiénique	38
2.9.4. Qualité nutritionnelle	40

DEUXIEME PARTIE
MATERIEL ET METHODES

1. Site d'étude	40
2. L'objectif d'étude	41
3. Matière première « Semoule »	42
4. Paramètre de qualité de la matière première «semoule »	46
4.1. Mesure de la granulation	46
4.2. Mesure de l'humidité	48
4.3. Mesure de la couleur	49
4.4. Mesure de la teneur en gluten	50
5. Paramètre de qualité des pâtes alimentaires « Rechta »	54
5.1. Fabrication de la pâte alimentaire « Rechta »	54
5.1.1. Matériels utilisés dans la fabrication « Rechta »	55
5.1.2. Etapes de fabrication	55
6. Appréciation de la qualité du produit fini « Rechta »	58
6.1. Aspect de produit fini « Rechta »	58
6.2. Humidité de produit fini « Rechta »	59
6.3. Qualité culinaire de produit fini « Rechta »	60
6.3.1. Le temps optimal de cuisson	60
6.3.2. Etat de l'eau	61
6.3.3. Consistance de la pâte	61
6.3.4. Indice de gonflement	61

TROISIEME PARTIE
RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultat des paramètres de qualité de la matière première «semoule»	63
1.1. Granulation	63
1.2. Humidité	64
1.3. Couleur	64
1.4. Gluten	65
2. Paramètre de qualité de produit fini « Rechta »	66
2.1. Préparation de la « Rechta » à partir de différents essais	66
2.2. Appréciation de la qualité de produit fini « Rechta »	67
2.2.1. Aspect visuelle du produit fini « Rechta »	67

2.2.2. Humidité du produit fini « Rechta »	69
2.2.3. Qualité culinaire du produit fini « Rechta »	69
2.2.3.1. Temps optimal de cuisson	69
2.2.3.2. Résultat de test de cuisson	70
2.2.3.3. Indice de gonflement (Poids à la cuisson)	71
Conclusion.....	73
Références bibliographiques.....	74
Glossaire	86
Annexe	

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification botanique du blé dur (Feillet, 2000)	6
Tableau 2. Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé (Feillet, 2000)	11
Tableau 3. Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur (Hébrard, 1996)	17
Tableau 4. Principales machines de nettoyage des blés avant broyage (Feillet, 2000)	20
Tableau 5. Principales opérations effectuées dans un moulin (Feillet, 2000) ...	23
Tableau 6. Classification de la semoule produite en France (Feillet, 2000)	24
Tableau 7. Composition de la semoule en vitamines (Virling, 2003)	27
Tableau 8. Composition moyenne en minéraux de la semoule (en mg/100g de matières sèche) (Messaâdi et Samaï, 2016)	28
Tableau 9. Représentation type des pâtes et la capacité de production de chaque ligne	41
Tableau 10. Les huit essais utilisés	45
Tableau 11. Les poids des semoules utilisés	46
Tableau 12. La quantité d'eau ajoutée dans chaque essai	56
Tableau 13. Résultat de l'aspect visuel du produit fini « Rechta » de chaque essai après le séchage	67
Tableau 14. Résultat du temps optimal de cuisson (TOC) de la pâte	69
Tableau 15. Résultat de test de cuisson des pâtes alimentaires	71

Liste des figures

Figure 1. Blé dur [2]	5
Figure 2. Structure de grain de blé dur (Micard <i>et al.</i> ,2009)	11
Figure 3. Grain sain (à gauche), grains mouchetés (au centre et à droite) (Anonyme 1, 2006)	12
Figure 4. A gauche, coupe d'un grain vitreux, à droite coupe d'un grain totalement mitadiné. (Anonyme 1, 2006)	13
Figure 5. Principe de mouture de blé dur (Feillet, 2000)	21
Figure 6. Présentation satellite du site d'étude (les moulins MAB - El Fedjoudj - Guelma) (Google Earth)	40
Figure 7. Photos du Moulins Amor Benamor (El Fedjoudj - Guelma) [3]	40
Figure 8. Photos de laboratoire d'étude (Photos prise par Mechri)	43
Figure 9. Présentation du nombre des essais utilisés	44
Figure 10. Matériel utilisé pour la préparation des essais (Photos prise par Boumzaout)	44
Figure 11. Préparation des mélanges aux différents pourcentages (Photos prise par Boumzaout)	45
Figure 12. Analyse de granulation de matière première (Photos prise par Mechri)	47
Figure 13. Analyse d'humidité de matière première (Photos prise par Mechri)	49
Figure 14. Matériel utilisé pour déterminer la couleur de matière première (Photos prise par Mechri)	50
Figure 15. Mesure de la couleur de matière première (Photos prise par Mechri)	50
Figure 16. Illustration des étapes de la méthode de mesure de gluten [4]	51
Figure 17. préparation d'eau salé (Photos prise par Boumzaout)	53
Figure 18. Analyse de gluten de la matière première (Photos prise par Mechri)	53
Figure 19. Diagramme de fabrication « Rechta »	54
Figure 20. Matériel utilisé dans la fabrication (Photos prise par Boumzaout) ...	55
Figure 21. Processus d'hydratation et malaxage (Photos prise par Mechri)	56
Figure 22. Processus de pétrissage manuel (Photos prise par Mechri)	56

Figure 23. Etapes de fabrication de la pâte « Rechta » (Photos prise par Mechri)	57
Figure 24. Séchage de la pâte (Photos prise par Mechri)	58
Figure 25. Broyage de la pâte sèche (Photos prise par Mechri)	59
Figure 26. Détermination de la dimension de la pâte sèche (Photos prise par Mechri)	59
Figure 27. Broyage de la pâte sèche (Photos prise par Boumzaout)	60
Figure 28. Matériel utilisé pour déterminer le test de caisson (Photos prise par Mechri)	61
Figure 29. Test de caisson (Photos prise par Boumzaout)	62
Figure 30. Variation de l'humidité de la matière première dans chaque mélange	64
Figure 31. Variation des indices de couleur à chaque essai	65
Figure 32. Variation des taux de gluten des différents essais	66
Figure 33. Résultat de la couleur du produit fini «Rechta»	68
Figure 34. Photos du produit fini « Rechta » après le séchage (Photos prise par Mechri)	68
Figure 35. Résultat d'humidité de produit fini « Rechta »	69
Figure 36. photos de la formation des bévules dans l'eau de cuisson (Photos prise par Mechri)	70
Figure 37. Résultat d'indice de gonflement	72

Liste des abréviations

a*	Indice de brun
ABA	Amor benamor
AFNOR	Association française de normalisation
aw	Activité de l'eau
b*	Indice de jaune
B	Broyeur
°C	Degré celsius
Ca	Calcium
Cm	Centimètre
CODEX	Commission du codex alimentarius faisant partie de la FAO/OMS
IPEMED	Institut de Prospective économique du monde méditerranéen
FAO	Food and agriculture organisation
Fe	Fer
G	Gramme
GH	Gluten humide
GI	Gluten index
GS	Gluten sec
H	Heure
Ha	Hectare
hl	Hectolitre
HPLC	High performance liquid chromatography
IG	Indice de gonflement
IPEMM	Institut de prospective économique du monde méditerranéen
ITCF	Institut technologique des céréales et des fourrages
JC	Jésus christ
K	Potassium
Kcal	Kilocalorie
Kg	Kilogramme
Kj	Kilojoule
L	Litre
I*	Indice de clarté
MAB	Moulins amor benamor

Mg	Milligramme
Mg	Magnisium
Min	Minute
ml	Millilitre
mm	Millimètre
N°	Numéro
Na	Sodium
MSDA	Manuel suisse des denrées alimentaires
ONIC	Office national interprofessionnel des céréales
P	Phosphore
PMG	Poids de mille grains
PS	Poids spécifique
Qx	Quintaux
R	Rapport taux de cendres
Sc	Seconde
SDS	Sodium dodecyl sulfate
SEF	Semoule extra fine
SG	Semoule grosse
SGM	Semoule grosse moyenne
SIFPAF	Syndicat des industriels fabricants de pâtes alimentaire de France
SSSE (3SE)	Semoule sassées super extra
SSSF (3SF)	Semoule sassée super fine
SSSG	Semoule sassée super grosse
SSSS	Semoule super sassée super
T	Triticum
Trs	Tours
Vit	Vitamine
µg	Microgramme
µm	Micromètre
%	Pourcentage

Résumé

La pâte alimentaire « Rechta » est un produit préparé par pétrissage, sans fermentation, de la semoule de blé dur additionnée d'eau. L'objectif de notre travail était de trouver une réponse qui pourrait révéler les caractéristiques culinaires et des paramètres de couleur des pâtes issues de mélange qui se rapprocherait le plus de celles des pâtes témoins à base de semoule de blé dur (Semoule Sassées Super extra ou 3SE), et aussi, pour exploiter les semoules fines issues de la production des pâtes alimentaire.

D'après les résultats obtenus, la Rechta fabriquée à partir de semoules issues de mélanges (90% 3SE ; 10% 3SF) et (70% 3SE ; 30% 3SF) est la plus rapprochée à celle de la Rechta témoins c'est à dire fabriquée à base de semoule de blé dur (3SE).

Mots clés : La pâte alimentaire « Rechta », Caractéristiques culinaires, Paramètres de couleur, Semoule Sassées Super Extra (3SE), Semoule Sassées Super Fine (3SF), Semoule Extra Fine (SEF).

المخلص

العجينة الغذائية «Rechta» هي عبارة عن منتج محضر عن طريق خلط سميد القمح الصلب والماء تم تحضيره عن طريق العجن، دون عملية التخمر. كان الهدف من عملنا هو العثور على إجابة يمكن أن تكشف عن خصائص الطهي ومعايير ألوان العجينة المحضرة عن طريق مزيج من السميد والتي ستكون أقرب إلى تلك العجينة المحضرة عن طريق سميد القمح الصلب (Extra Super Semoule Sassi أو 3SE) (الشاهد) ، وكذلك لاستغلال السميد الرقيق في عمليات إنتاج العجائن الغذائية.

وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، فإن «Rechta» المصنوعة من مزيج من السميد: (3SF) 10% ; 3SE 90% و (3SF) 30% ; 3SE 70% هي الأقرب إلى تلك العجينة «Rechta» المصنوعة من سميد القمح الصلب (3SE) الكلمات المفتاحية: العجينة الغذائية «Rechta» ، خصائص الطهي ،معايير اللون ، سميد ممتاز(3SE) ، سميد ناعم (3SF) ، سميد فائق الدقة (SEF).

Abstract

« Rechta » Pasta product is prepared by kneading, without fermentation, durum wheat semolina with water. The objective of our work was to find an answer that could reveal the culinary characteristics and color parameters of pasta from blends that would be closest to those of durum semolina pasta (Super Extra Sautéed Semolina or 3SE), and also, to exploit the fine semolina resulting from the production of pasta.

According to the results obtained, « Rechta » made from semolina from mixtures (90% 3SE, 10% 3SF) and (70% 3SE, 30% 3SF) is the closest to that of the Rechta say made from durum wheat semolina (3SE).

Key words : « Rechta » pasta, culinary characteristics, Color parameters, Super Extra Sautéed Semolina (3SE), Super Fine Sautéed Semolina (3SF), Extra Fine Semolina (SEF).

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Ils sont considérés comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama *et al.*,2005), leur production arrive jusqu'à 2 Milliards de tonnes [1].

En Algérie, les produits céréaliers, dont le blé, occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009).

Le blé dur (*Triticum durum Desf.*) est l'une des denrées alimentaires la plus largement cultivée dans la région méditerranéenne et elle est la source principale de la semoule pour la production des pâtes alimentaires, couscous industriel...etc. (Raffio *et al.*,2003).

A cet égard, l'Algérie importe actuellement environ 5.5 millions de tonnes de blé (dur et tendre) pour répondre à la demande, qui représentent 60% des besoins nationaux et environ 40% de la demande de produits de blé dur est importée sous forme de semoule (Kellou, 2008).

La qualité du blé dur est contrôlée au laboratoire avec des échantillons, dès son arrivée pour faire de bonnes semoules, il faut du bon blé dur.

La transformation du blé dur en semoule se fait de manière mécanique. Les grains de blé dur sont broyés en passant plusieurs fois de suite entre des cylindres, pour arriver à obtenir une semoule. La semoule de blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) est fréquemment consommée notamment dans les pays du pourtour méditerranéen.

Le procès de transformation du blé en semoule consiste à débarrasser d'abord le blé dur de ses impuretés avant de le stocker. Un deuxième nettoyage est recommandé pour éliminer les impuretés fines, puis les grains sont séparés selon leur taille, leur forme et leur poids.

Les grains de blé dur triés sont ensuite conditionnés en les humidifiant (Mouillage) afin d'éviter de briser le son durant la mouture. 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%. Les grains de blé sont mélangés en fonction de la qualité de semoule désirée.

Après la mouture du mélange, la semoule est récupérée puis conditionnée, plusieurs sous-produits sont générés à savoir les "finots" (semoules très fines), les "gruaux" (gros grains) et les "issues" comme le son et les pailles.

Dans un autre sens, l'industrie des pâtes alimentaires occupe un marché d'environ 124 millions de Dinars, ce qui représente 2% du marché économique. L'élargissement de ce marché qui ne cesse d'évoluer, demande une maîtrise parfaite des matières premières et de la conduite des procédés de fabrication et une optimisation des coûts industriels.

La fabrication des pâtes est simple, elle s'effectue même sans cuisson. La semoule est mélangée à l'eau puis malaxée pour donner une pâte à pâtes. Cette dernière passe ensuite dans un moule qui va donner aux pâtes alimentaires la forme souhaitée : spaghetti, coquillettes, tagliatelles...etc. Les pâtes sont ensuite séchées puis conditionnées avant d'être expédiées dans les magasins.

La qualité organoleptique d'une pâte alimentaire (aspect, coloration, qualité culinaire) est essentiellement le résultat de l'effet conjugué de la technologie de transformation d'une part, qualité et types des semoules utilisées d'autre part. Seul le type de semoule utilisée a été pris en compte dans cette étude.

Habituellement l'industrie des pâtes alimentaires utilise la semoule sassée super extra (3SE) pour obtenir des pâtes alimentaires de qualité supérieure.

À cet effet, nous envisageons la fabrication d'un type de pâte traditionnelle algérienne nommé «*Rehta*» à partir d'utilisation 03 types des semoules fines dans la fabrication. Ce dernier qui consiste d'ajouter un type de Semoule Sassées Super Fines (SSSF ou 3SF) avec des pourcentages différentes (10% ; 30% ; 50%) une fois à Semoule Sassées Super Extra (SSSE ou 3SE) et autre fois à Semoule Extra Fine (SEF). Les pâtes ont été fabriquées et testées du point de vue d'aspect visuel la (couleur acceptable) et des caractéristiques culinaire par rapport aux pâtes issues de la semoule de blé dur 3SE.

Ce travail s'intègre dans les programmes de recherche développés par Groupe Amor BenAmor : (ABA) et représente un des objectifs principaux d'un projet source d'avenir. Les objectifs visés sont les suivants :

- ✚ L'introduction de la semoule SEF comme semoule de la fabrication des pâtes alimentaires.
- ✚ L'étude des effets d'addition de semoule 3SF à base de farine de blé dur de différentes doses (10% ; 30% ; 50%) à semoule 3SE et à SEF sur la qualité finale de pâtes sèches (l'aspect visuel) et la qualité culinaire des pâtes.

Ce travail est structuré en deux parties :

- La première partie consiste en une synthèse bibliographique sur le blé dur et la technologie de transformation de blé dur à pâtes alimentaires.
- La deuxième partie est consacrée pour la partie expérimentale de notre travail. Elle décrit le matériel et les différentes méthodes mis en œuvre dans l'étude et les résultats obtenus et leur interprétation.

1. Historique du blé

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est à la base de la nourriture de l'homme (Ruel, 2006). C'est une espèce connue depuis la plus haute antiquité, dont il constitue la base alimentaire des populations du globe (Yves et Buyer, 2000).

Historiquement c'est une des premières céréales cultivées dans le monde. (Yves, 2011).

Le terme blé vient probablement du gaulois blato (à l'origine du vieux français blaie, blee, blaier, blaver, d'où le verbe emblaver, qui signifie ensemercer en blé) et désigne les grains qui broyés, fournissant de la farine, pour des bouillies (polenta), des crêpes ou du pain. On trouve sous le nom de blé des espèces variées: le genre *Triticum* (du latin *Tritus*, us= broiement, frottement): le blé moderne (froment), l'orge (*Hordeum*) et le seigle (*Secale* céréale), le blé noir (sarrasin).

C'est en l'an 300 ans avant J C, que les premiers procédés de panification ont été élaborés par les Egyptiens qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. L'homme sait alors produire sa propre nourriture, en même temps celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et en ces temps là, apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce au Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandent l'usage à travers l'Europe et devenue, un des constituant essentiel de l'alimentation humaine (Yves et Buyer, 2000).

2. Définition du blé dur

Selon Commission du Codex Alimentarius (2007), Le blé dur est constitué de grains provenant des variétés de l'espèce *Triticum durum* Desf.

Le blé dur ou "*Triticum durum*" (**Fig. 01**) se distingue du blé tendre, *Triticum aestivum*, par ses caractéristiques génétiques, morphologiques et physiologiques (Hélène, 2010)

Il constitue la première ressource en alimentation humaine et la principale source de protéines, il prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge (Mazouz, 2006).

Le blé dur est utilisé pour le roulage du couscous, la fabrication de galette, de certains pains traditionnels et de pâtes alimentaires. Il est pastifiable et panifiable (Calvel, 1984).



Figure 01 : blé dur [2].

3. Classification botanique :

Le blé est une céréale qui appartient à la classe des monocotylédones et à l'ordre des glumiflorales, dont le fruit est sec et indéhiscence, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments, (**Tab. 01**) présente la systématique du blé dur (*Triticum durum*) (Feillet, 2000).

4. Origine de blé dur

4.1. Origine génétique

Le blé dur comme le blé tendre appartiennent au genre *Triticum*. Ce genre comporte de nombreuses espèces autres que le blé, qui se répartissent en trois groupes distincts selon leur nombre de chromosomes :

- Le groupe diploïde ($2n = 14$ chromosomes) ou groupe de *Tritium monococcum* (engrain, en langage courant).
- Le groupe tétraploïde ($2n = 28$ chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum* (amidonnier), dans lequel on trouve *T.durum* (blé dur).
- Le groupe hexaploïde ($2n = 42$ chromosomes) ou groupe de *Triticum sativum*, auquel appartient *T.sativum* (blé tendre), ou encore appelé T.vulgare. (Gouasmi et Badaoui, 2017).

Tableau 01 : Classification botanique du blé dur (Feillet, 2000).

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Graminae et ou Poaceae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre et espèce	Triticum durum Desf.

4.2. Origine géographique

Selon les archéologues, la culture du blé dur est apparue entre 9000 et 7000 JC dans la région qui s'étend sur la Palestine, la Syrie, la Turquie, l'Iran et l'Iraq, dite le croissant fertile (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

Le blé est d'origine asiatique, précisément de Chine, il a été cultivé en extension considérable il y'a 4000 ans avant Jésus-Christ. Il a été la culture principale dans l'ancienne Egypte et Palestine (F.A.O, 2006).

Les blés cultivés sont apparus, il ya une dizaine de milliers d'années en Mésopotamie (Feillet, 2000). Levy et Feldman (2002), affirment que la domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du croissant fertile au proche orient et que le blé tétraploïde a été domestiqué dans le bassin de Jourdain et ensuite été diversifié dans les centres secondaires aux plateaux éthiopiens, le bassin méditerranéen et le Transcaucasie.

5. Structure

5.1. Composition histologique du grain

Le blé est un fruit sec et indéhiscant contenant la graine, appelé « caryopse ». La coupe longitudinale de grain révèle de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes : les enveloppes, le germe et l'albumen (amande) (Pomeranz, 1988).

D'un point de vue histologique, le grain de blé est formé de trois parties (Feillet, 2000) :

- ❖ Les enveloppes de la graine (péricarpe) sont formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa, cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17 %)
- ❖ Le germe (3%), composé du scutellum et d'un embryon lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe
- ❖ L'albumen est constitué d'une couche à aleurone et de l'albumen amylicé (81-83% du grain) au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses de cette dernière sont peu visibles.

5.2. Composition biochimiques

Les grains de céréales sont des organes végétaux particulièrement déshydratés (Cretois *et al.*, 1985). Le grain est constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) : les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet, 2000).

Cette composition joue un rôle déterminant dans la qualité des produits qui en dérivent. Elle est sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs tels que: le climat, la variété, la nature du sol et les techniques culturales (Boudreau et Menard, 1992 ; Amir *et al.*, 2004).

5.2.1. Glucides

Présentent sous forme de sucres simples ou composés, ils sont d'une grande importance car ce sont des sucres fermentescibles et assimilables par les micro-organismes tels que les levures.

Ils sont principalement constitués d'amidon, qui est un glucide complexe, environ 70% (Feillet, 2000). C'est un polymère de glucose, il est constitué des chaînes non ramifiées (amylose) : 25% et des chaînes ramifiées (amylo-dextrines) : 75%.

La cellulose qui est un glucide complexe, difficilement digestible, rentre dans la composition du péricarpe (Nique et Classeran, 1989).

On trouve également des glucides simples, environ 2% dont la majeure partie est localisée dans le germe et l'assise protéique (Fredot, 2005).

5.2.2. Protéines

Par ailleurs, d'une part sur le plan quantitatif la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante et d'autre part sur le plan qualitatif, elle est basée sur les différences de propriétés des protéines (Jintet *et al.*, 2006). Le grain de blé dur est constitué d'environ 12% de protéines. Ce sont des composés azotés que l'on rencontre sous forme simple (acides aminés) ou complexe (protéines).

Ils ont la propriété de lever par fermentation et sont très sensible à la température (Crus, 1989). Elles sont constituées par plus d'une cinquantaine de constituants classées d'après leurs propriétés de solubilité en quatre fractions :

Albumines hydrosolubles (9%), globulines solubles dans les solutions salées diluées (6%), prolamines et gliadines solubles dans les solutions alcooliques (45%), glutenines solubles dans les solutions acides diluées (40%).

Le gluten représente 90% des protéines et permet la panification par son élasticité lorsqu'il est mélangé avec l'eau. Il est constitué de glutenines et surtout de gliadines qui est l'agent responsable de la maladie cœliaque chez les personnes sensibles (Virling, 2008).

5.2.3. Lipides

Les grains du blé sont naturellement pauvres en lipides : Ils en contiennent seulement 2 %, essentiellement localisés dans le germe et l'assise protéique (Fredot, 2012). Cependant, leur composition qualitative est intéressante car plus de la moitié de ces lipides sont polaires. Ils vont ainsi se lier lors du pétrissage de la pâte aux protéines et aux glucides et permettre la rétention d'eau, l'extensibilité et l'élasticité de la pâte (Fredot, 2005).

Certains types ont un pouvoir moussant et contribuent à la fabrication d'un pain bien enveloppé (Patrick, 2006).

5.2.4. Vitamines

Toutes les céréales ont des caractéristiques similaires : absence de vitamines A, C et D et présence des vitamines du groupe B : B1, B2, B3, B6, B9 (Fredot, 2005).

Ce sont des éléments cliniques complexes jouant un rôle important dans la nutrition. Dans le grain, elles sont concentrées au niveau du germe et des enveloppes (Nadiaye, 1999).

Lors de la mouture, une partie des vitamines sera perdue dans les sons à cause de la forte concentration au niveau de germe et des enveloppes (Cruz, 1989).

5.2.5. Minéraux

Ils sont présents dans le grain en faible quantité à raison de 2 à 3 % de matière sèche du grain (Niquet et Lassernan, 1989).

Les céréales ont une teneur élevée en potassium (340mg/100g), en phosphore (400mg/100g), en magnésium et une faible teneur en fer, zinc, calcium (45mg/100g) et en sodium (8mg/100g) (Fredot, 2005).

ils sont souvent associés ou présents sous forme de sels tels que les phosphates, chlorures ou sulfates (Berhaut *et al.*, 2003).

5.2.6. Enzymes

Ce sont des substances complexes présentes en quantité négligeable, mais dont le rôle est très important, elles sont responsables des transformations que subissent les autres substances. (Niquet et Lassernan, 1989).

Les enzymes les plus importantes en technologie des céréales sont celles qui provoquent la dégradation des protéines, des lipides et des glucides (Adrian et Rebache, 1996).

➤ Les glucidases :

✚ β amylases qui transforment l'amidon en β - maltoses, c'est la plus importante des diastases du grain de blé. Elles se trouvent dans le grain sain, normal et inactivé par la chaleur.

✚ α amylases qui transforment l'amidon en dextrines, elles ne se rencontrent que dans le blé germé. Elles sont stables à la chaleur et peuvent survivre à des hautes températures atteignant 70 à 80°C (Fredot, 2005).

➤ Les protéases trouvées en quantité relativement faible, dont l'une d'elles coupe les chaînes polypeptidiques en leur milieu avec une production de molécules de masses encore élevée. L'autre agit pré de l'extrémité de chaînes et libère les acides aminés libres et les peptides.

➤ La lipase qui est une enzyme lipolytique trouve son activité concentrée dans la couche à aleurone et augmente au cours de la germination (Potus *et al.*, 1994).

5.2.7. Eau

Le grain du blé mûr est constitué de 13.5% d'eau (Feillet, 2000), cette faible teneur lui permet d'être stocké longtemps en évitant ainsi le développement des micro-organismes en particulier les moisissures (Fredot, 2005).

L'eau est présente dans le grain sous des formes différentes :

- L'eau de dissolution dans les vacuoles des cellules ; c'est une eau que l'on qualifie « libre ».
- L'eau d'inhibition associée aux colloïdes.
- L'eau de constitution très fortement fixée à la molécule (Godon, 1989).

Les principaux constituants du grain du blé ont été mentionnés au (**Tab. 02**) et (**Fig. 02**)

Tableau 02 : Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé (Feillet, 2000).

	% grain	Part du constituant dans le tissu			
		% albumen	% aleurone	% péricarpe	%germe
Amidon	68,9	82	0	0	0
Protéines	13,7	12	30	10	31
Fibres	10,2	2	49	83	9
Lipides	2,7	2	9	0	12
Minéraux	1,9	0,5	12	7	6
Sucre réducteurs	2,4	1,8	0	0	30

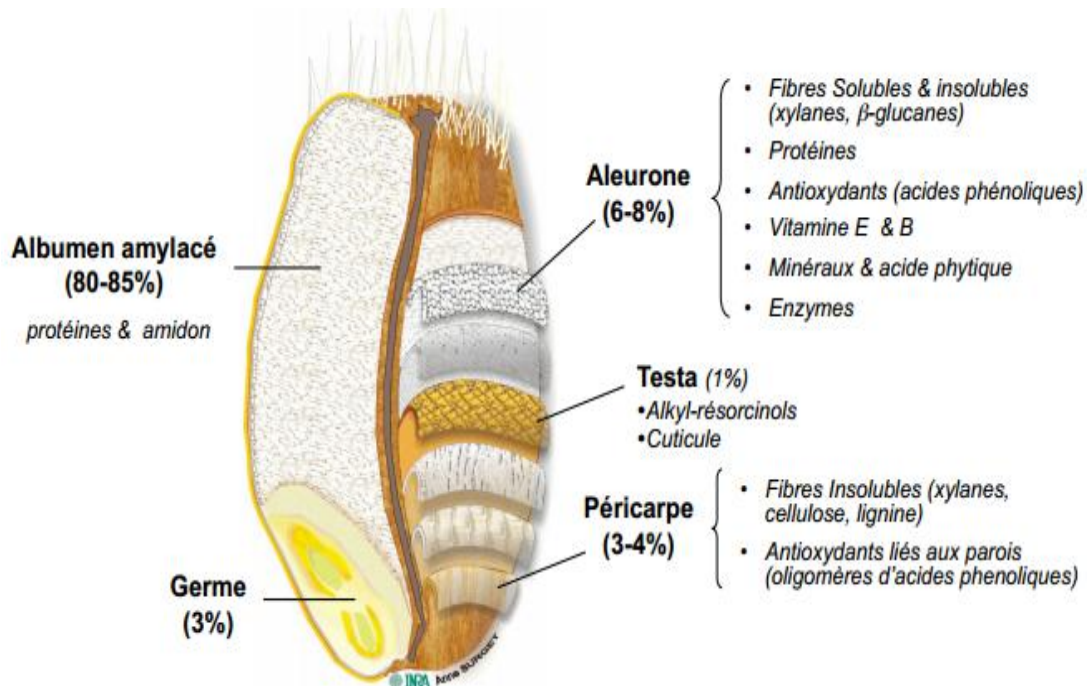


Figure 02 : Structure de grain de blé dur (Micard *et al.*, 2009).

6. Critères d'appréciation de la qualité du grain du blé dur

La qualité d'un blé dur est fonction de l'utilisation que l'on en fait, la presque unique destination du blé dur est l'obtention d'une semoule destinée elle-même à l'obtention de pain ou de galette, de couscous, et surtout de pâtes alimentaires (Trentesaux, 1995).

Il existe plusieurs critères pour l'appréciation de la qualité des grains de blé dur. Ils dépendent en partie de la variété et de techniques culturales :

6.1. Taux de moucheture

C'est une tache brune du péricarpe causée par des champignons, se traduit par une diminution de la qualité commerciale des semoules à cause de la présence de points noirs dans les semoules, qui diminuent leur qualité commerciale (**Fig.03**) (Anonyme1, 2006).



Figure 03 : Grain sain (à gauche), grains mouchetés (au centre et à droite)
(Anonyme1, 2006).

6.2. Taux de mitadinage

Pour satisfaire à la demande de l'industrie, le blé dur idéal doit être vitreux et non farineux, c'est-à-dire présenter très peu de mitadinage (**Fig. 04**). Or, collecteurs et transformateurs de blé dur observent régulièrement des teneurs en protéines trop basses et diversement liées avec des critères qualitatifs tels le mitadinage. (Anonyme1, 2006).

Selon le règlement communautaire n° 824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est un "grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse". Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains de blé normaux apparaissent totalement vitreux et translucides. Le taux de mitadin (exprimé en %) indique le nombre de grains partiellement ou totalement farineux dans un lot de grains. S'il est trop élevé, le rendement semoulier chute. La qualité commerciale type indique que moins de 20 % des grains doivent être mitadinés (Anonyme1, 2006).



Figure 04 : A gauche, coupe d'un grain vitreux, à droite coupe d'un grain totalement mitadiné (Anonyme1, 2006).

6.3. Poids de mille grains (PMG)

C'est une des composantes du rendement agronomique et rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur, c'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de cultures qui l'influencent de façon très significative. Le poids de mille grains permet de déterminer le poids moyen des grains en pesant mille graines. C'est la masse de 1000 grains entiers exprimée en gramme (M.S.D.A., 2004).

Le PMG, pour une même variété, est corrélé positivement au taux d'extraction de semoule. Dans les zones chaudes de culture du blé dur telle que l'Afrique du nord, les PMG sont moins importants. Ce déficit provient de la brièveté de la période de reproduction (Benbelkacem et Kellou, 2000).

6.4. Poids Spécifique (PS)

Le PS est une ancienne mesure qui permet de mesurer la masse de grains pour un volume donnée (kg/hl), c'est la masse volumique dite masse à l'hectolitre. Etant toujours prise en compte dans les transactions commerciales, c'est une analyse qui présente toujours un intérêt. Elle est considérée comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à

l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande est faible et le rendement semoulier important (Scotti, 1997).

6.5. Teneur en eau

L'eau est un des constituants de base du grain (environ 13%). L'intérêt de connaître précisément la teneur en eau d'une céréale ou de la farine est avant tout réglementaire. En effet, la réglementation impose une teneur en eau $<$ à 15% afin de faciliter la conservation et d'éviter une altération (Scotti, 1997).

6.6. Composants du grain en relation avec la qualité

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité.(El Hadeff, 2015).

6.6.1. Protéines

Les protéines sont des protides dont l'hydrolyse donne des acides aminés mais dont la molécule de grande taille, dite macromolécule, renferme des liaisons autres que les liaisons peptidiques (Godon, 1991).

Le grain de blé dur est constitué d'environ 12 % de protéines, qui sont essentiellement localisées dans l'albumen et la couche à aleurone.

C'est à Osborne (1907) que l'on doit la première classification des protéines. Il les a séparées en deux grands groupes suivant leur solubilité dans l'eau. (Linden et Lorient, 1994) : Les protéines solubles : représente 15 à 20 % des protéines totales (albumines solubles dans l'eau, globulines solubles dans les solutions salines) et les protéines de réserves : représentent 80 à 90 % des protéines totales (gliadines solubles dans les solutions alcooliques, gluténines solubles dans les solutions diluées d'acides ou de bases, ainsi que dans les détergents) (Hernandez *et al.*, 2004).

Les protéines de la semoule de blé dur interviennent à la fois dans le développement des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites et dans leurs états de surface (collant, état de surface) (Feillet, 1984).

D'après Kaan *et al.*, (1993) une teneur en protéine du grain élevée et stable est un caractère génétique d'importance capitale pour l'obtention de produits de qualité.

En (1966) Matweef, recommande un blé dur ayant une teneur en protéines supérieure à 13 % pour la production de bonnes pâtes car une teneur inférieure à 11 % donne des pâtes de mauvaise qualité.

6.6.2. Gluten

Le gluten est un complexe protéique viscoélastique que l'on peut obtenir par lixiviation sous un mince filet d'eau, d'un pâton formé de semoule ou de farine de blé et d'eau. Le gluten est constitué de 75 à 80 % de protéines, 5 à 7 % de lipides, 5 à 10 % d'amidon, de 5 à 8 % d'eau et des matières minérales en proportion plus faibles (Linden et Lorient, 1994).

Les composantes majeures du gluten sont les gliadines et les gluténines, qui représentent 70 % des protéines totales du blé. Ce sont les deux principaux groupes de protéines de l'endosperme, et varient suivant la variété de blé utilisée (Linden et Lorient, 1994).

6.6.3. Teneur en amidon

L'analyse de la teneur en amidon présente un intérêt nutritionnel vu que l'amidon est une source de glucides importante dans l'alimentation et un intérêt réglementaire dans le but de contrôler la pureté des amidons industriels (I.T.C.F et O.N.I.C, 1995).

L'amidon constitue le glucide le plus consommé dans le monde. C'est grâce à leur richesse en amidon que les céréales sont une source d'énergie. L'amidon a un rôle important dans la panification puisqu'il assure la dilution du gluten, fixe l'eau et constitue une source de sucres fermentescibles (Feillet, 2000). Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules, et sa capacité à former des liaisons non-covalentes (liaisons hydrogènes) avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte. (Eliasson *et al.*, 1995).

7. Importance du blé dur

7.1. Importance alimentaire

Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante à la fois pour la consommation humaine et pour l'alimentation du bétail. Elles fournissent 50% de l'apport énergétique moyen de l'être humain et 60% des matières premières utilisées dans la fabrication des aliments composés pour le bétail (Feillet, 2000).

Selon Troccoli *et al.*,(2000), Le blé dur (*Triticum durum*) occupe une importante place parmi les céréales dans le monde. Le grain du blé dur sert à la production des pâtes alimentaires, du couscous, et à bien d'autres mets comme le pain, le frik, et divers gâteaux.

Le grain de blé dur a une grande valeur nutritionnelle, suite à la richesse en protéine et la présence du gluten qui donne aux pâtes alimentaires une meilleure tenue à la cuisson (Hébrard, 1996) (**Tab.03**).

Tableau 03 : Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur (Hébrard, 1996).

Constituants	Quantité	Constituants	Quantité
Eau (g)	13	Ca (mg)	35
Energie (kj)	1383	Mg (mg)	100
Energie (kcal)	331	P (mg)	390
Glucides (g)	63	Na (mg)	5
Lipides (g)	2.5	K (mg)	-
Protides (g)	14	Fe (mg)	4.5
Fibres	9.5	Vit B1 (mg)	0.5
Vit B2 (mg)	0.09	Vit PP (mg)	6
Vit E (mg)	3	Biotine (mg)	0.01
Acide folique (mg)	0.04		

7.2. Importance économique

7.2.1- En Algérie

La consommation en Algérie augmente rapidement, principalement du fait de la croissance du nombre de consommateurs qui a doublé en vingt ans. La productivité nationale est assez faible puisqu'elle ne tourne qu'autour de 08 à 10 qx/ha et ceci se

répercute sur l'écart qui s'est creusé entre l'offre et la demande qui est énorme (Selmi, 2000).

L'Algérie importe annuellement entre 65 % et 70 % de ses besoins en céréales occupant de ce fait la première place en Afrique et le troisième importateur à l'échelle mondiale (F.A.O, 2005).

7.2.2. Dans le monde

Le blé est l'une des grandes plantes nourricières de l'humanité et sa production a accompagné la croissance démographique, avec un triplement entre 1961 et 2014. Avec environ 6 % de la production mondiale de blés, figure loin derrière le blé tendre. Selon le Conseil International des Céréales, la production de blé dur atteint en moyenne 38 millions de tonnes par an, avec de grandes variations (I.P.E.M.E.D, 2017).

1. Technologie de transformation du blé dur en semoule

1.1. Définition de la semoule

La semoule est définie par le Codex Alimentarius (2007) 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.

Selon S.I.F.P.A.F(2012), la semoule -du latin *simila* fleur de farine est un produit alimentaire plus ou moins granuleux, de couleur ambrée, extrait exclusivement des blés durs par une mouture industrielle spéciale dite de "semoulerie".

Elle est reconnue comme substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, pâtes alimentaires, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, de sa dureté, sa couleur unique, sa flaveur et sa qualité de cuisson (Petitot, 2009).

1.2. Caractéristiques principales de semoule

Les normes physiques de semoule sont :

- Taux de cendre : pour la semoule max 1% taux de cendres.
- Taux de protéines.
- Index de couleur.
- Index de d'humidité.
- Quantité de piqures brunes (provenant de la peau de blé).
- Quantité de piqures noires (provenant de l'ergot ou d'autres grains).
- La granulométrie : une semoule trop grosse va provoquer des

problèmes lors de la fabrication des pâtes alimentaires, une semoule trop fine aura perdu trop de bêta-carotènes (puisque au plus petite la granulométrie de la semoule, au plus petite sera la quantité de bêta-carotènes , telle façon que la couleur des pâtes alimentaires ne sera pas ambre-jaune mais risque de devenir jaune –blanche) (Taleb, 2017).

1.3. Procédé de transformation du blé dur en semoules : « semoulerie »

La semoulerie de blé dur appartient à la catégorie des industries de première transformation des céréales dans la mesure où elle utilise du blé dur provenant de l'agriculture. La semoule de blé dur est utilisée dans la fabrication des pâtes alimentaires sèches et du couscous (S.I.F.P.A.F, 2012).

D'après Feillet (2000), la transformation des blés en semoules se déroule en 03 étapes principales :

- ✓ Nettoyage.
- ✓ Conditionnement.
- ✓ mouture proprement dite.

1.3.1. Nettoyage

C'est une étape très importante en semoulerie qui doit être réalisée avec efficacité (Abecassis, 1987).

Les grains de blé doivent être débarrassés de toutes leurs impuretés avant d'être envoyés sur le premier broyeur (B) (Feillet, 2000).

Selon S.I.F.P.A.F (2012), les principaux objectifs de nettoyage sont :

- D'éliminer les corps étrangers (pailles, pierres, pièces métalliques etc.).
- D'éliminer graines contaminantes (grains d'autres céréales : avoine, maïs...etc).
- La décontamination microbiologique est un autre objectif parfois recherché.

Pour atteindre ces objectifs et éliminer les impuretés, il sera mis à profit toutes les différences existant entre le grain de blé dur (taille, forme, densité...) et les impuretés.

Le nettoyage des blés durs doit être effectué avec un soin tout particulier sous peine de voir apparaître des piqures colorées dans les semoules, très préjudiciables à la qualité des pâtes alimentaires. Les principales machines de nettoyage sont énumérées dans le tableau suivant (**Tab.04**) : (Feillet, 2000).

Tableau 04: Principales machines de nettoyage des blés avant broyage (Feillet, 2000).

Type de machine	Principe physique	Impuretés éliminées
Aiment	Champ magnétique	Métaux
Aspirateur	Densité et résistance à l'air	Pailles, glumes
Nettoyeur- séparateur et	Forme et dimension	Grosses et petites impuretés
Epierreur	Densité	Pierres
Brosse, époinçeuse, lavage	Nettoyage en surface	Poussières
Table densimétrique	Densité	Pierres, blés ergotés
Toboggan	Force centrifuge	Petites graines
Trieur de couleur	Couleur	Grain avariés

1.3.2. Conditionnement

En semoulerie, le conditionnement base sur trois paramètres : la quantité d'eau ajoutée, la température de traitement et la durée de repos du blé, en tenant compte de la variété de blé utilisé et de son humidité initiale (Gerard *et al.*, 1996).

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%.

L'humidification se fait de préférence en trois étapes avec des temps de repos courts (Jintet *et al.*, 2007).

D'après Feillet (2000), pour la fabrication de la semoule à partir de blé dur la durée de repos est de 9 à 10 heures mais ne doivent pas dépasser les 48 heures et de plus de ne pas ajouter plus de 4 à 5% d'eau en une seule fois.

1.3.3. Mouture

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 (Feillet, 2000).

1.3.3.1. Principe de la mouture

La mouture est une opération centrale de la transformation des blés en semoule, cette procédure consiste à séparer l'amande des enveloppes en commençant par isoler les parties les plus internes du grain et en se rapprochant progressivement de la périphérie, repose sur la mise en œuvre de deux opérations :

- ✚ une opération de transformation-dissociation des gains.
- ✚ une opération de séparation des constituants.

La première permet de dissocier l'amande et les enveloppes (broyage), de fractionner les semoules vêtues (désagrégage) ; la seconde assure la séparation des sons de produit sur la base de leur granulométrie (division par tamisage) et de leurs aérodynamiques (épuration par sassage) (Feillet, 2000).

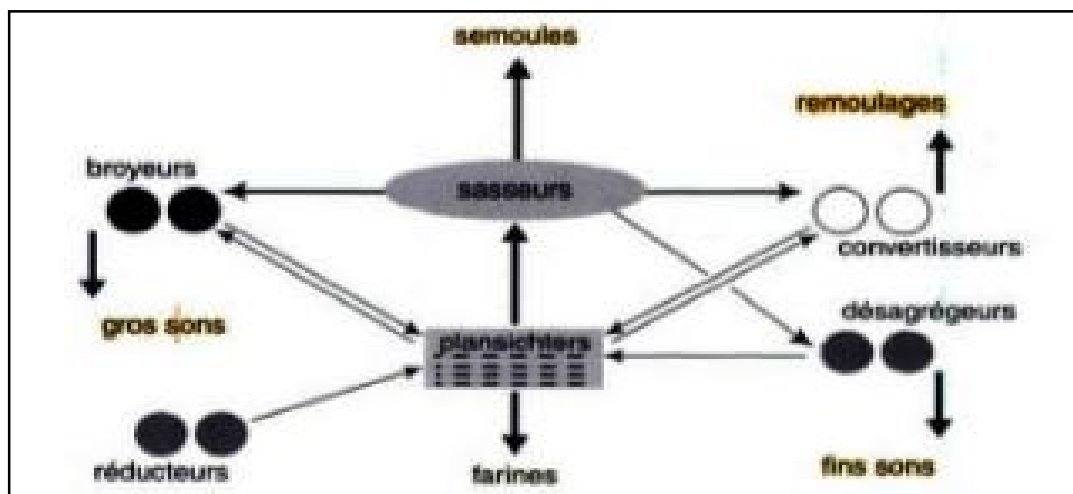


Figure 05 : Principe de mouture de blé dur (Feillet, 2000).

1.3.3.2. Différentes phases de la mouture

- **Broyage** : La première opération de la mouture est le broyage, durant lequel les enveloppes sont détachées de l'amande. Cette étape est destinée à réduire les dimensions des grains par la mise en jeu des appareils à cylindre cannelés (énergie mécanique) (Feillet, 2000).
- **Tamisage ou blutage** : C'est une opération basée sur la séparation des produits selon leurs dimensions (Feillet, 2000). L'opération de blutage que l'on appelle division a pour fonction de subdiviser le mélange de semoules en des classes de granulométrie homogène (Abecassis, 1991).

Cette opération s'effectue après chaque passage dans un appareil à cylindre (Doumandji *et al.*, 2003), formé d'un assemblage de tamis superposés et soumis à un mouvement rotatif et de va et vient permanent sous l'action d'un moteur excentrique (Feillet, 2000).

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 (les sons) (Doumandji *et al.*, 2003).

- **Sassage** : C'est une opération intermédiaire entre les broyages (Doumandji *et al.*, 2003), son but est de séparation des produits de mouture sur la base de leur taille et de leur densité (double tri) (Jintet *et al.*, 2007).

Selon Feillet (2000), les semoules sont maintenues en suspension par un courant d'air ascendant au dessus de tamis dont la largeur de mailles diminue au fur et à mesure de la progression des semoules. Celle-ci étant assurée par l'inclinaison et le mouvement de va et vient des tamis.

- **Désagrégage** : C'est une opération qui consiste à fractionner les semoules vêtues (Feillet, 2000) par désagrégateurs qui sont des appareils à cylindres munis de très fines cannelures (Abecassis, 1991), pour éliminer les fragments de son qui adhèrent à l'amande (les semoules refusées au niveau du sasseur sont appelées semoules vêtues) (Doumandji *et al.*, 2003).

1.4. Produits finis

A l'issue de la mouture, trois principaux produits sont obtenus : (Feillet, 2000).

- La semoule : environ 74 % du poids du blé de départ (S.I.F.P.A.F, 2012) représente le produit noble d'une semoulerie, correspond aux fragments d'amande dont la granulométrie est supérieure à 150 μ m (Feillet, 2000).

- Des gruaux ou La farine de blé dur : (environ 6 %) (S.I.F.P.A.F, 2012) est considérée d'un point de vue réglementaire un sous produit de mouture dont la granulométrie est inférieure à 150 μ m (Abecassis, 1987).

- Les sons : (environ 20 %) (S.I.F.P.A.F, 2012). La finesse des enveloppes de blé dur conduit à la formation de sons beaucoup moins larges que ceux de blé tendre.

Les sons sont récupérés à la fin de broyage (gros sons ou à partir des désagrégateurs et parfois des sasseurs (fin sons) (**Tab.05**) (Abecassis, 1987).

Tableau 05 : Principales opérations effectuées dans un moulin (Feillet, 2000).

Blutage	Séparation des produits de mouture, semoule, farine, sons) sur la base de leurs dimension (granulométrie)
Broyage	Dissociation progressive de l'albumen et des parties périphériques (enveloppe et couche à aleurone) des grains par écrasement et cisaillement des produits entre des cylindres cannelés
Sassage	Séparation des produits de mouture sur la base de leur forme, de leur taille et de leur densité
Déagréage	Rebroyer les semoules vêtues, et éliminer les fragments de son qui adhèrent à l'amande.

1.5. Classification de la semoule

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

1.5.1. Pureté

Selon Apfelbau *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.

1.5.2. Granulation

On distingue, selon la granulométrie, différentes catégories de semoule dont chacune est obtenue par une succession de plusieurs broyages (Feillet, 2000) :

❖ Semoules grosses (SG) : la dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 900 à 1100 μm , destinées aux usages domestiques (Madani, 2009) Cette semoule est destinée essentiellement à la fabrication du couscous de type gros (Feillet, 2000).

❖ Semoules grosses moyennes (SGM) : la dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 550 à 900 μm , elles sont vendues en l'état. (Feillet, 2000). Elles sont destinées à la fabrication de la galette, le couscous (Madani, 2009).

❖ Semoule sassées super extra (SSSE) : 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 (Feillet, 2000).

❖ Semoules sassées super fines (SSSF) : la dimension des particules de cette catégorie est comprise entre 140 à 250 μm , elles servent à la fabrication des pâtes dites courantes (Feillet, 2000). 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 (**Tab.06**) (Madani, 2009).

Tableau 06 : Classification de la semoule produite en France (Feillet, 2000).

Catégorie	Etendue granulométrique (μm)	Utilisation
SSSE	180-500	Pâtes alimentaires de qualité supérieure
SSSF	140-250	Pâtes alimentaires de qualité courante
MG SSSG SSSS	1120-1600 710-1120 450-710	Semoules vendues en l'état

1.6. Composition chimique de semoule et leurs rôles

La semoule est issue de l'endosperme amylicé (albumen) de grain de blé dur (Boudreau *et al.*, 1992) donc sa composition chimique est étroitement liée à celle du blé dur et au diagramme de mouture (nombre de passages d'extraction) (Christeleicard, 2000).

1.6.1. Protéines

Les protéines sont le deuxième élément en importance dans la semoule de blé. leur teneur varie de 8% à 16% selon l'espèce et le degré de maturité du grain (Boudreau *et al.*, 1992).

On peut classer les protéines de blé selon leurs caractères de solubilité. D'une part, les albumines et les globulines (15 à 20% des protéines totales) solubles dans les solutions salines diluées et d'autre part, les protéines du gluten (gliadines et gluténines) 80 à 85% restent insolubles (Virling, 2008).

La teneur en protéines est la partie responsable de la qualité culinaire, plus le pourcentage des protéines est élevé meilleure pour la qualité des pâtes cuites (Feillet, 1986).

✓ Les gliadines sont des protéines monomériques associées par des liaisons hydrogène et des interactions hydrophobes. Ils apportent au gluten des caractéristiques visqueuses. Ils (qui posséderaient des propriétés plastifiantes) confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité (Jintet *et al.*, 2007).

✓ Les gluténines sont des agrégats de monomères de haut poids moléculaire, liés par des liaisons hydrogène, des interactions hydrophobes et des ponts disulfures intermoléculaires. La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés très particulières des gluténines pour maintenir les granules d'amidons gélatinisés emprisonnés au cours de la cuisson (Wrigley *et al.*, 2006).

La quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (Feillet, 2000) et de la texture de la pâte (Sissons *et al.*, 2007).

1.6.2. Glucides

- **Amidon** : représente la majeure partie des glucides de l'albumen ; la zone centrale de l'amande en est plus riche que la partie périphérique (Virling, 2003), et peut atteindre 82% de la matière sèche de la semoule de blé (Bornet, 1993).

C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau, l'amidon absorbe environ 45 % de l'eau ajoutée à la semoule. Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules, et sa capacité à former des liaisons non covalentes avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte (Feillet, 2000).

D'après Kiger (1967) du point de vue technologique, cette fraction glucidique joue un triple rôle :

✓ Elle constitue la source d'aliments hydrocarbonés nécessaires à la levure, au cours de la fermentation.

✓ Elle intervient, par sa réaction avec les protides, dans la formation de la couleur, de l'odeur, de la saveur des produits cuits ; c'est l'un des éléments de la réaction de Maillard.

✓ Elle joue un rôle non négligeable dans les caractéristiques mécaniques et la texture des produits cuits

• **Pentosanes** : sont souvent appelés gommés ou mucilages. Ce sont les molécules les plus hydrophiles de la pâte. Ils agissent par leur capacité de fixation d'eau, leurs propriétés viscosifiantes, tensioactives et leur aptitude à réagir avec d'autres constituants de la pâte, en particulier les protéines (Feillet, 2000). Ils possèdent des propriétés épaississantes et contribuent également à donner des gels assez résistants. Les caractéristiques visqueuses de ces gels interviennent sur la tenue, l'extensibilité et l'aptitude au développement des pâtes en stabilisant les alvéoles gazeuses (Jeantet *et al.*, 2007).

1.6.3. Lipides

Les principales matières grasses de la semoule sont des acides gras (acide palmitique, stéarique, oléique, linoléique), des glycérides simples (principalement des triglycérides, mais également des mono et des diglycérides) et phospholipides (Feillet, 2000).

Les lipides représentent environ 3,8% de la matière sèche de la semoule de blé (Ounane *et al.*, 2006). Ils sont essentiellement localisés dans le germe de blés. Selon Feillet (2000), Srivastava *et al.*, (2007) et Kumar *et al.*, (2011), Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et permettre d'augmenter la durée de conservation.

Ils constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte. Cette dernière est due à l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxygénases principalement au cours de l'hydratation et du malaxage (Sissons, 2008).

Les lipides libres (lipides apolaires) agissent principalement sur la viscosité des pâtes et sur leur temps de relaxation, ils affectent peu l'élasticité. Ce sont de très bons agents moussants (Feillet, 2000).

Les lipides polaires (lipides liés) (glycolipides et phospholipides) jouent le rôle d'agents lubrifiant et tensioactif en association avec le gluten et l'amidon par des liaisons hydrogènes créées lors du pétrissage (Vierling, 2003). Ils stabilisent les alvéoles gazeuses de la pâte et améliorent le volume du produit (Feillet, 2000).

1.6.4. Enzymes

Les enzymes sont présents en petite quantité dans les semoules, les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoxygénases et les amylases aussi la présence de phytases (une phosphatase), de peroxydase et de catalyses (Boudreau *et al.*, 1992).

Les enzymes les plus importantes sont les amylases, qui permettent la transformation de l'amidon en sucres qui pourront servir de substances nutritives pour les levures lors de la fermentation (Cherdouh, 1999).

1.6.5. Vitamines

La semoule contient beaucoup de vitamines intéressantes, la composition de la semoule en vitamines est récapitulée dans le tableau suivant (**Tab.07**) :

Tableau 07 : Composition de la semoule en vitamines (Vierling, 2003).

Vitamines	E	B1	B2	B3	B6	B9	C
Quantité (mg/100g)	14	0.48	0.20	5.1	0.5	50 µg/100g	/

1.6.6. Minéraux

La semoule contient 20% de matière minérale totale du blé (**Tab. 08**) à savoir : le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium et le soufre ; ce dernier est d'une certaine importance parce qu'il entre dans la composition de certains acides

aminés comme la méthionine et la cystéine (Doumandji *et al* ,2003). La mouture permet donc d'éliminer une grande partie (2/3 environ) (Fredot, 2005).

Tableau 08 : composition moyenne en minéraux de la semoule (en mg/100g de matières sèche) (Messaâdi et Samaï, 2016)

	Potassium	Phosphore	Fer	calcium	Magnésium
Semoule	193	143	01	20	40

1.7. Critères de qualité de la semoule

Les qualités de la semoule peuvent être divisées en deux catégories : celles qui se révèlent sur la semoule même, comme, surtout, sa coloration et celles qui nécessitent sa transformation en pâte compacte, crue ou cuite, pour pouvoir être appréciées (Ait Slimane, 2008).

Selon Kellou (2008) toutes les entreprises transformatrices du blé en Algérie déclarent que :

❖ **L'indice de coloration jaune** : est le premier critère de choix et a une grande importance pour les utilisateurs (consommateurs) ; ils ont justifié ça par l'expérience et le savoir faire des consommateurs ; plus la semoule est jaune et dorée plus sa qualité gustative et la couleur des produits finaux seront meilleures (Benbelkacem *et al.*, 1995).

❖ **Le taux de gluten** : est le 2ème critère en termes d'importance lors de l'achat des semoules. En effet, plus la semoule a une forte teneur en gluten plus la qualité des produits finaux sera meilleur notamment dans la fabrication des pains traditionnels Algériens. La teneur en protéines s'est donc révélé un facteur déterminant des propriétés rhéologique et culinaires des semoules (Kellou, 2008).

❖ **La teneur en cendre** est le 3ème critère (Kellou, 2008). En meunerie, la teneur en matières minérales varie dans le même sens que le taux d'extraction des semoules. La teneur en cendres de l'amande est d'environ 10 fois plus faible que celle des enveloppes, donc la teneur en cendres d'une semoule ne peut réellement servir de critère de sa pureté que dans la mesure où elle peut être ramenée à celle du grain entier par la détermination du rapport R (teneur en cendres des semoules / teneur en cendres des blés) et qui doit être inférieur à 0,5 (Ait slimane, 2008).

2. Technologie de transformation de la semoule en pâtes

2.1. Définition

Les pâtes alimentaires sont des produits à consommation courante dans nombreux pays (Wagner *et al.*, 2015), et prennent la deuxième place après le pain dans la consommation mondiale (Torres *et al.*, 2007).

Selon Alais *et al.*, (2003), les pâtes alimentaires sont le résultat de la dessiccation d'un pâton non fermenté, moins hydraté que celui du pain et obtenu à partir de semoule de blé dur. La structure de la pâte alimentaire semble être un réseau de gluten, composé par des protéines de réserve, gliadines (protéines monomériques) et gluténines (protéines agrégées par des liaisons disulfures).

Elles jouent un rôle important dans la nutrition humaine, et peuvent être facilement préparées, manipulées, cuites et stockées (Agama *et al.*, 2009).

2.2. Classification des pâtes alimentaires

Selon Tremoliere *et al.*,(1984) et Boudreau *et al.*,(1992), les pâtes alimentaires sont classées en deux groupes selon les machines utilisées pour leur fabrication :

2.2.1. Pâtes pressées ou tréfilées

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

2.2.2. Pâtes laminées

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

2.3. Types de pâtes

2.3.1. Pâtes alimentaires sèches

Les abaisses de pâtes ainsi formées peuvent tout d'abord être précuites pour être ensuite séchées ou être tout de suite séchées sans cuisson préalable. La perte au séchage s'élève à 13g/100g ($a_w < 0,65$). Les pâtes alimentaires sèches peuvent être stockées sans problème à température ambiante (Ugrinovits *et al.*, 2004).

2.3.2. Pâtes alimentaires fraîches

La perte au séchage des pâtes alimentaires fraîches se monte à >13 g/100 g (valeur $a_w > 0,65$). Leur durée de conservation dépend de la méthode de conservation employée. Il existe différents procédés pour prolonger la conservation des aliments : acidification, séchage partiel, stockage sous atmosphère inerte, emballage sous-vide, pasteurisation, stérilisation, réfrigération, congélation, etc (Brennan et Tudorica, 2007).

2.4. Constituants de la pâte

2.4.1. Semoule

La semoule de blé dur est considérée comme le témoin auxquels sont comparées les autres matières premières. Elle est reconnue comme substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, pâtes alimentaires, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, de sa dureté, sa couleur unique, sa saveur et sa qualité de cuisson (Feillet *et al.*, 1996 ; Petitot, 2009).

Après conversion en pâte, elle donne des produits avec des bonnes qualités culinaires et une stabilité à la cuisson (Sissons, 2008). L'Amidon (74-76 %) et les protéines (12-15 %) sont des constituants majeurs de la semoule de blé dur (Turnbull, 2001 ; Duranti, 2006).

La qualité technologique d'une semoule pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. Ces deux caractéristiques

sont influencées par la composition biochimique et l'état physique (granulométrie) des semoules, eux même liés à l'origine histologique des produits (Abecassis, 1991).

2.4.2. Eau

Selon S.I.F.P.A.F (2012) l'eau utilisée pour permettre le malaxage de la semoule se trouve alors, complètement évaporée et qu'après dessiccation, le taux résiduel et réglementaire d'humidité des pâtes, soit 12,5% s'avère légèrement inférieur à celui de la semoule mise en œuvre (14 à 15%).

Elle gonfle le grain d'amidon et favorise l'assouplissement et l'allongement du gluten ce qui donne à la pâte ses propriétés de plasticité. Elle fournit aux molécules (protéines et enzymes) la mobilité nécessaire pour réagir et elle participe elle-même aux réactions (Guinet et Godon, 1994).

2.5. Procédé de transformation des semoules en pâtes

Aujourd'hui, le procédé de fabrication continu est réalisé à l'aide de l'automatisation. Il donnant lieu à une productivité haute (2-5 tonnes/h). Il comporte trois étapes fondamentales (Feillet, 2000 ; Petitot *et al.*, 2010)

- ✓ L'hydratation/ malaxage de la semoule.
- ✓ Formage ou façonnage (extrusion/ laminage).
- ✓ Séchage.

2.5.1. Hydratation / malaxage

La quantité d'eau ajoutée à la semoule varie généralement de 25 à 34 Kg pour 100 Kg de semoule. Elle dépend de la teneur initiale en humidité de la semoule et de la forme finale des pâtes. L'absorption d'eau a lieu en dessous de 50 C° (Petitot *et al.*, 2009).

Le mélange des constituants des pâtes s'effectue dans un malaxeur qui tourne à 120tours/min pendant 20 minutes (Petitot *et al.*, 2010).

Le malaxage ne développe pas la pâte et ne modifie que très partiellement les propriétés physico-chimiques des protéines (Feillet, 1986).

2.5.2. Formage ou façonnage

Selon Abecassis *et al.*, (1994) le façonnage des pâtes est assuré soit par laminage, soit par extrusion.

- **Extrusion**

La pâte est forcée à travers une matrice sous vide à haute pression (80-120 Kg/cm) pour donner aux pâtes la forme désirée par développement de la pâte. Le sous vide aide à minimiser l'oxydation des pigments, réduit les réactions de décomposition enzymatiques et oxydatives, et diminue l'apparition de bulles dans la pâte (Belitz *et al.*, 2009).

Les forces mécaniques peuvent mener à un endommagement modéré des granules d'amidon. Une élévation locale de la température (>à 60°C), due aux forces mécaniques peut aussi provoquer la gélatinisation de l'amidon (Petitot *et al.*, 2009).

- **Laminage**

Dans le processus de laminage, la pâte est pétrie et laminée en feuille entre deux cylindres rotatifs, trois à cinq paires de rouleaux sont utilisés jusqu'à ce que la feuille atteigne l'épaisseur désirée. La feuille est ensuite coupée en brins de largeur et de longueur souhaitée (Petitot *et al.*, 2009).

Les deux techniques utilisées sont différents au niveau de l'énergie mécanique dont elle employée pour le formage de la pâte (Abecassis *et al.*, 1994).

L'énergie transférée à la pâte est plus élevée avec le procédé d'extrusion qu'à celui de laminage et une partie de celle-ci est dissipée sous forme de chaleur.

En outre, lors de l'extrusion, la pâte est soumise à un stress de cisaillement alors pendant le laminage, un stress élongationnelle a été appliqué. Ces différences de ces paramètres (le stress, la chaleur et la pression) peuvent entraîner la formation des pâtes de structures différentes (Petitot *et al.*, 2010).

2.5.3. Séchage

Le séchage a un impact profond sur les caractéristiques finales du produit, surtout en termes d'aspect et de comportement à la cuisson. Pendant le séchage, le transfert de chaleur et de masse se produisent, ce qui mène à la déshydratation du produit. (Gallegosinfante *et al.*, 2010).

Mercier *et al.*,(2011) rapportent que ces phénomènes de transport sont hautement liés aux propriétés des matériaux telles que la teneur en eau, la densité, le rétrécissement et la porosité des pâtes.

2.5.4. Conditionnement

Le produit fini est finalement conditionné dans des sacs en cellophane ou polyéthylène. Le conditionnement est désigné pour protéger le produit contre la contamination, l'endommagement pendant le chargement et le stockage et pour afficher favorablement le produit parmi d'autres produits (Sissons, 2004).

2.6. Structuration des constituants des pâtes au cours de procédé de fabrication

2.6.1. Phase d'hydratation et de malaxage

Au cours du malaxage, certains grumeaux hydratés hétérogènes sont formés, les particules non hydratées restent présentes dans certaines régions de mélange (Aalami *et al.*, 2007)

L'hydratation limitée de la semoule et une faible énergie apportée lors du malaxage (Icard Verniere, 1999) empêcherait le développement d'un réseau protéique (Mastuo *et al.*, 1978).

2.6.2. Phase de façonnage

2.6.2.1. Extrusion

La pâte est soumise à des forces de pression et de cisaillement conduisant à la formation d'une structure compacte avec des granules d'amidon profondément concentrée dans une matrice protéique et alignée le long de la direction d'écoulement (Mastuo *et al.*,1978).

Les granules d'amidon ont des formes et des tailles irrégulières et semblaient être légèrement enflés (Tudorica *et al.*, 2002).

Le réseau protéique commence à se développer entraînant l'agrégation des polymères de gluténines, probablement à travers la formation de ponts disulfures, et conduisant à une perte de solubilité des protéines dans le SDS. Cette insolubilisation des protéines a déjà été observée par Dexter *et al.*, (1977) et Icard Verniere en 1999.

Selon Dexter et Mastuo en 1977, l'extrusion a conduit à une perte de solubilité de la fraction globuline sans affecter l'albumine, fraction gliadine et gluténine. Cette perte de solubilité ne pouvait pas être expliquée par polymérisation, car aucun changement n'induit dans les ponts disulfures et aucun changement dans la distribution moléculaire des protéines ont été détectés.

2.6.2.2. Laminage

L'augmentation des niveaux de passage à travers les rouleaux de laminoir (de 3 à 45 passes) résulte une distribution uniforme et homogène des protéines et des granules d'amidon dans la pâte. A l'échelle moléculaire, il a induit une plus grande solubilité de gluténine dans le SDS qui due à la désagrégation et la dépolymérisation des protéines (Kim *et al.*, 2008).

Ainsi un endommagement de l'amidon modéré a été observé (Zaradetto *et al.*, 2005).

2.6.3. Phase de séchage

Lamacchia *et al.*, (2007) ont analysé les protéines des pâtes sèches par HPLC, ils ont observé une diminution progressive des petites et grandes protéines monomériques avec une augmentation de la taille moléculaire des protéines polymériques en parallèle avec l'augmentation de la température de séchage de 60 à 90 °C. Les ponts disulfures sont les principales liaisons formées au cours de séchage des pâtes.

Selon Favier *et al.*, (1996), les gluténines sont très sensibles à la chaleur, à 80°C, ils forment des ponts disulfures intermoléculaires et deviennent insolubles.

Egalement, les gliadines sont impliqués et forment des ponts disulfures avec le complexe gluténine (Singh *et al.*, 2004)

Sous une vue par microscopie en lumière polarisée, les granules d'amidons sont représentées par des différents niveaux de croix de biréfringence : des pâtes séchées à des faibles températures, la plupart des granules d'amidons conservent leur biréfringence (Altan *et al.*, 2005), alors environ 20% des granules d'amidon de pâtes séchées à des hautes températures et très hautes températures sont partiellement ou complètement perdu leur biréfringence (Güler *et al.*, 2002)

2.7. Rôle des constituants biochimiques dans la qualité culinaires des pâtes alimentaires

2.7.1. Rôle des protéines

Au cours de la cuisson, les protéines forment un réseau insoluble piégeant et retenant dans ses mailles les autres composants et spécialement les granules d'amidon gonflés et en cours de gélatinisation (Feillet, 1984) cité par Bahchachi(2002).

Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (Bloksma, 1990).

Très extensibles quand elles sont hydratées, les gliadines (qui posséderaient des propriétés plastifiantes) confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité. La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés très particulières des gluténines pour maintenir les granules d'amidons gélatinisé au cours de la cuisson (Wrigley *et al.*, 2006).

Le contenu en protéines et la force du gluten jouent un rôle prépondérant dans la détermination de la qualité des pâtes notamment la qualité culinaire. Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent au cours de la pastification, de former un réseau tridimensionnel imperméable, la quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (Feillet, 2000).

2.7.2. Rôle des lipides

Bien que leur teneur dans les semoules ne dépasse pas 2 à 3 %, les lipides jouent un rôle important en pastification, du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon. Les lipides constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte. Elle est établit au cours de la période de fabrication des pâtes en raison de l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxygénases principalement au cours de l'hydratation, malaxage, extrusion et pendant l'étape de séchage (Sissons, 2008).

Mastuo *et al.*,(1986) et Sisson en 2008 prouvent que ces lipides essentiellement non polaires ont des effets sur la qualité des pâtes en terme de viscosité et la délitescence. Elimination des lipides totaux et lipides non polaires augmentent le caractère collant des pâtes et les pertes à la cuisson (Sissons, 2008).

Au cours de l'étape de malaxage de la pâte, les lipides libres interagissent avec les composants de la semoule essentiellement les protéines ce qui conduit à l'amélioration de la force du gluten. Le processus de mélange accélère la formation des liaisons hydrophobes des lipides non polaire avec les composants solubles dans l'acide comme le gluténine, gliadine, albumines et les composants non azotés (Chung, 1986).

Tandis que les lipides polaires interagissent principalement avec les glutenines. Les lipides polaires libres peuvent également se lier à la gliadine par des liaisons hydrophiles. Ces liaisons améliorent les interactions de protéines ce qui fournissent un meilleur support structural pour le réseau du gluten (Chung *et al.*, 1978). Attribue leur mode d'action à un phénomène physico-chimique suivant : L'oxydation des acides gras polyinsaturés, catalysé par la lipoxygénase provoque un réarrangement des liaisons disulfures au sein du réseau protéique et par conséquence améliore la qualité du gluten (Feillet, 2000).

2.8. Interaction des lipides avec les constituants du grain

2.8.1. Interaction lipide – fraction protéique

Selon Wehrli et Pomeranz en 1970, les lipides se lient aux gluténines par l'intermédiaire des phospholipides et aux gliadines par le biais des glycolipides (les monogalactosyldiglycérides et les digalactosyldiglycérides).

Les lipides liés aux gliadines sont exclusivement des lipides polaires et le digalactosyldiglycérade est le glycolipide prédominant suivis par le monogalactosyldiglycérade (Chung, 1986).

2.8.2. Interaction lipide – amidon

Selon Morrison (1988), les lipides complexés à l'amidon sont si intimement liés au sein des granules d'amidon qu'ils ne semblent pas avoir de rôle actif dans la pâte, sauf au niveau de la gélatinisation de l'amidon lors de la cuisson. Par contre les lipides non complexés à l'amidon participent à des processus chimiques et physiques en panification. Au cours du pétrissage, les lipides joueraient le rôle d'agent de liaison entre l'amidon et les protéines par l'intermédiaire de phospholipides.

L'étude de l'interaction glycolipide-protéine par (Wehrli et Pomeranz, 1970) sur l'amidon natif et gélatinisé et sur l'interaction glycolipides-gliadines montre que les glycolipides se lient aux gliadines et à l'amidon gélatinisé par des liaisons hydrogènes (hydrophiles) et aux gluténines par des liaisons hydrophobes.

2.9. Qualité des pâtes alimentaires

Selon Renaudin (1951), la qualité des pâtes alimentaires dépend essentiellement de celle des matières premières employées, de l'eau ayant servi à la fabrication et des soins apportés dans la préparation, au séchage et à la conservation.

Les propriétés qui déterminent la qualité des pâtes alimentaires sont leur aspect à l'état cru et leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (Feillet, 2000).

2.9.1. Qualité organoleptique

Les critères d'évaluation de la qualité organoleptique des pâtes alimentaires recherchés par le consommateur final sont l'aspect avant la cuisson et la tenue après la cuisson (Trentesaux, 1995).

❖ Aspect des pâtes alimentaires

Feillet (2000) rapporte que les caractéristiques qui déterminent l'aspect des pâtes alimentaires sont :

- Gerçures : ce sont des fêlures de la pâte sèche dues à un mauvais réglage du séchoir.
- Piqûres : elles peuvent être blanches, brunes ou noires.
- Texture superficielle des pâtes: qui dépend de la nature des moules utilisés.
- Couleur des pâtes : elle doit être uniforme.

2.9.2. Qualité culinaire des pâtes alimentaires

Feillet (1986) et Porceddu (1995) sont montrés que la qualité culinaire des pâtes est évaluée par :

- Les temps de cuisson qui varient avec le format de la pâte. Pour celles du même format, ils varient avec la qualité de la pâte. Ces temps de cuisson sont déterminés en fonction du gonflement, de la texture et de l'état de surface.
- Le gonflement de la pâte pendant la cuisson qui est calculé par différence entre le poids des pâtes avant et après cuisson.
- La texture du produit cuit est caractérisée par la fermeté et la masticabilité après cuisson.
- L'état de surface est caractérisé par le collant (prise en masse ou degré d'adhésion) et l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (délitescence).

L'état de cuisson doit être « *al dente* », c'est-à-dire que les pâtes doivent résister légèrement sous la dent et garder un niveau de fermeté (Vierling, 1999).

2.9.3. Qualité hygiénique

Elle est considérée comme excellente, ne pose pas de problème particulier, bien que les micro-organismes trouvent un milieu favorable à leur développement au cours du séchage (maintien de produits réhydratés à 40-50°C pendant plusieurs heures). Généralement, seules des bactéries saprophytes, dont la présence ne constitue aucun danger (Feillet, 2000).

2.9.4. Qualité nutritionnelle

L'apport protéique est loin d'être négligeable, puisque 100 g de pâte contiennent de 10 à 12 g de protéines et que cette valeur passe de 12 à 14 g dans le cas des pâtes aux œufs. Ces protéines sont déficientes en acides aminés indispensables, en

lysine notamment. Rappelons que le séchage à haute température diminue l'apport de lysine disponible et altère de ce fait légèrement la valeur nutritionnelle des produits obtenus (Feillet, 2000).

1. Site d'étude

▪ Usine Amor Benamor

Cette étude a été réalisée au niveau des moulins Amor Benamor qui se situe à El Fedjoudj (Guelma au Nord-Est Algérien). Créé en Septembre 2000, Les moulins Amor Benamor (MAB) s'étendent sur une superficie de 42.500m², constituent un important complexe industriel avec une capacité de production journalière moyenne 480 tonnes.

Au niveau national le groupe Amor Benamor (ABA) est le premier producteur des semoules, couscous et pâtes alimentaires.



Figure 06: Présentation satellite du site d'étude (les moulins MAB - El Fedjoudj - Guelma) (Google Earth).



Figure 07: Photos du Moulin Amor Benamor (El Fedjoudj - Guelma) [3].

Notre étude a été appliquée exactement au niveau de l'unité de production des pâtes alimentaires ; cette unité est composée par 12 lignes de production des différentes formes des pâtes alimentaires (Couscous ; Pâtes courtes ; Pâtes longues ; Pâtes spéciales).

Tableau 09: Représentation des types de pâtes et la capacité de production de chaque ligne

Ligne	Types des pâtes /capacité de production (kg/h)
B	Couscous /1200 depuis 2009
C	Couscous /2400 depuis 2011
D	Couscous /2400 depuis 2011
F	Couscous /1200 depuis 2016
H	Couscous /1200 depuis 2016
F	Couscous /3500
A	Pâtes courtes /4000-6500 depuis 2009
G	Pâtes courtes /1200 depuis 2017
J	Pâtes courtes/3500 depuis 2017
K	Pâtes courtes /3500 depuis 2017
E	Pâtes longues /3500 depuis 2011
S	Pâtes spéciales /200-500 depuis 2014

La fabrication de la « Rechta » est réalisée au niveau de l'unité de production des pâtes alimentaires dans la ligne de production des pâtes longues. Dans notre cas, on a utilisé la méthode traditionnelle à cause des petites quantités utilisées.

2. L'objectif d'étude

L'objectif recherché à travers cette étude, consiste à trouver une réponse qui pourrait révéler les caractéristiques culinaires et des paramètres de couleur des pâtes issues de mélange qui se rapprocherait le plus de celles des pâtes témoins à base de semoule de blé dur (Semoule sassées super extra ou 3SE).

Pour cela; nous avons utilisés trois types de semoules comme matières premières qui se différent entre elles soient par les caractéristiques technologiques ou les caractéristiques physicochimiques .Ces semoules sont:

- ✚ Semoule 3SE (Semoule sassée super extra).
- ✚ Semoule SEF (Semoule sassée extra fine).
- ✚ Semoule 3SF (Semoules sassée super fine).

Les formules utilisées sont basées sur l'ajout d'un type de semoule de blé dur (3SF) à un autre type de semoule de blé dur (SEF ou 3SE) avec des pourcentages variables afin d'obtenir plusieurs mélanges (échantillons ou essais). Ces dernières sont utilisées pour fabriquer des pâtes alimentaires de type longue qu'on l'appelle « Rechta ».

Le but de cette expérience est d'arriver à satisfaire d'une part le consommateur du point de vue qualité/prix, et d'une autre part, exploiter les semoules fines issues de la production des pâtes alimentaire.

Plusieurs paramètres ont été évalués dans cette étude, il y en a ceux qui sont :

- relatifs aux caractéristiques de matière première (la semoule) : granulométrie, humidité, coloration de la semoule et indice de gluten.
- relatifs aux caractéristiques de la pâte fabriqué «Rechta» : humidité de la pâte après séchage, coloration de la pâte et cuisson (ou "*Al dente*").

3. Matière première (Semoule)

❖ Semoule de blé dur

La semoule est définie comme étant le produit obtenu à partir des grains de blé dur (*Triticum durum*) par un procédé de mouture au cours duquel le son et le germe sont essentiellement éliminés et le reste est broyé à un degré de finesse adéquat (AFNOR, 1991). A cette étude la semoule représente la matière première qui est produite dans les moulins MAB. Et selon son utilisation on a :

- ✓ Semoule Extra Fine (SEF) : destinée à la fabrication des pâtes alimentaires de qualité courantes et de couscous.

✓ Semoule Sassée Super Extra (SSSE ou 3SE) : semoule ordinaire destinée à la fabrication des pâtes alimentaires moyennes.

✓ Semoule Sassée Super Fine (SSSF ou 3SF) : semoule très fine (semoulette), à un aspect farineux, elle a fait l'objet de plusieurs recherches dont le but de son incorporation dans la farine panifiable

❖ Préparation des essais (échantillons)

La matière première a été préparée au niveau du laboratoire de la qualité des pâtes alimentaires. Les mélanges utilisés sont à base de trois (03) types de semoule : semoule SEF, 3SE et 3SF (**Tab. 10**). Ci-dessous nous présentant les huit essais correspondant aux mélanges préparés :



Figure 08 : Photos du laboratoire d'étude (Photos prise par Mechri).

✓ Quatre essais à base du mélange SEF et 3SF

- L'essai n°01 : 100% SEF.
- L'essai n° : 90% SEF plus 10% 3SF.
- L'essai n°3 : 70% SEF plus 30%3SF.
- L'essai n°4 : 50% SEF plus 50% 3SF.

✓ Quatre essais à base du mélange 3SE et 3SF

- L'essai n°01 : 100% 3SE.
- L'essai n° 02 : 90% 3SE plus 10% 3SF.
- L'essai n°3 : 70% 3SE plus 30%3SF.
- L'essai n°4 : 50% 3SE plus 50% 3SF.

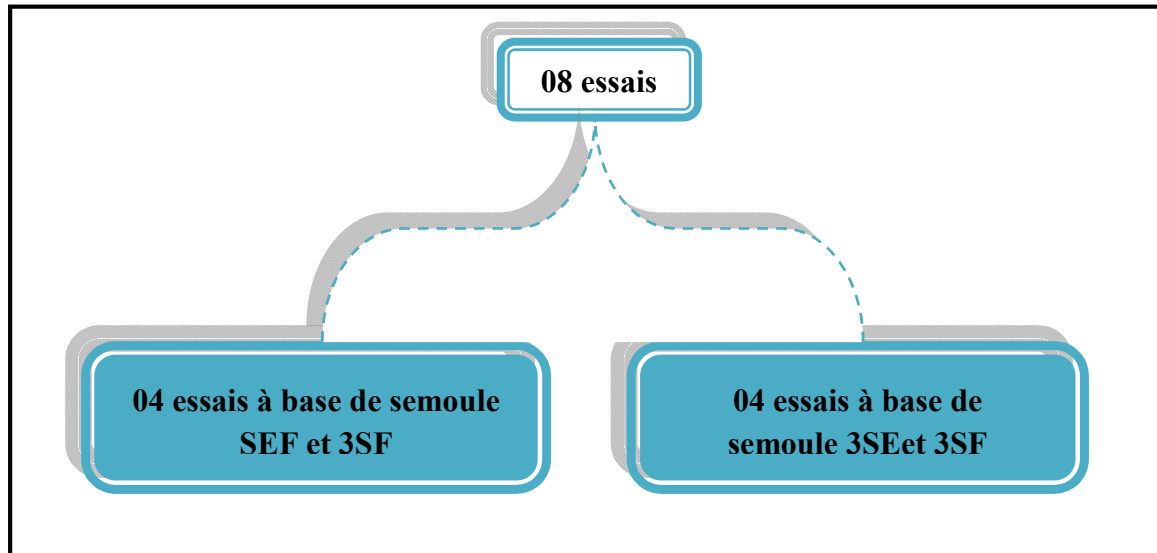


Figure 09 : Présentation du nombre des essais utilisés.

❖ **Matériel utilisé**

- Balance (PRECISA: min 0.5g et max 4200g, suisse).
- Spatule.
- Plat.

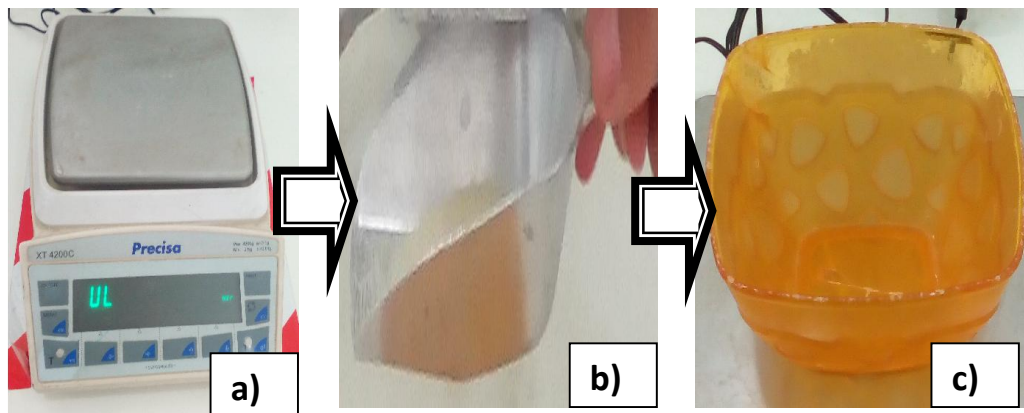


Figure 10: Matériel utilisé pour la préparation des essais (Photos prise par Boumzaout).

a) Balance.

b) Spatule.

c) Plat.

Le poids utilisé pour chaque essai est de 1.5kg ; cette quantité est partagée en deux : 500g pour faire des analyses de la semoule et le reste (1kg) est utilisé pour la fabrication de la « Rechta ».

Pour 100% de semoule extra fine (SEF) et 100% de semoule sassée super extra (3SE) sont pesés de manière simple et facile; par rapport aux autres, nous avons fait quelques calculs (**Tab. 11**) avant de commencer à mesurer ou peser chaque essai avec

Tableau 11 : Les poids des semoules utilisés.

N° des essais	Semoule extra fine (g)	Semoule 3SF (g)
01	1500	/
02	1350	150
03	1050	450
04	750	750
N° des essais	Semoule 3SE (g)	Semoule 3SF (g)
01	1500	/
02	1350	150
03	1050	450
04	750	750

4. Paramètres de qualité de la matière première (la semoule)

4.1. Mesure de la granulation (AFNOR NF 03-721)

➤ **Définition** : La granulométrie est l'étude de la distribution de la taille des particules. C'est une caractéristique fondamentale en relation directe avec toutes les opérations unitaires de broyage, de séparation, de mélange et de transfert mais aussi avec les phénomènes d'échange et de réactivité, qu'ils soient physiques (migration d'eau, séchage, solubilisation), chimiques (oxydation) ou enzymatique (digestion des aliments) (Melcion, 2000). Les granulométries des semoules utilisées sont :

- Semoule 3SE :500µm-180µm.
- Semoule SEF: 250µm -140µm.
- Semoule 3SF:< 150 µm.

La méthode utilisée à cette étude est le tamisage. Donc c'est une méthode la plus fréquente, la plus simple et la moins onéreuse, cette méthode est réalisée à l'aide d'un tamiseur ROTACHOC (CHOPIN Technologies, Villeneuve la Garenne-France).

➤ **Intérêt** : Classifier les semoules selon leur utilisation finale.

➤ **Principe** : Cette appareil est constitué d'une série de tamis en inox empilés les uns sur les autres, et qui est placée sur une plateforme directement reliée à l'axe du moteur. Cette plateforme donne alors un mouvement excentrique à l'ensemble des tamis, provoquant ainsi le passage du produit à travers des mailles des différents tamis (600 µm, 500 µm, 450 µm, 355 µm, 250 µm, 200 µm, 150 µm).

➤ **Appareillage :**

- ✓ Spatule
- ✓ Plat en verre profond
- ✓ Balance (PRESICA : min 0.5g et max 4200g, Suisse).
- ✓ Tamiseur ROTA CHOC.
- ✓ Tamis granulométriques.

➤ **Mode opératoire :** Une homogénéisation de l'échantillon à tamiser est une étape préalable et indispensable dans le but d'obtenir un échantillon représentatif, car un classement densimétrique peut se produire à l'intérieur de l'échantillon de semoule, ce classement se manifeste par une sédimentation des fines particules dans le fond du sac et il est susceptible d'influencer les résultats du tamisage.

Un échantillon de 100g est placé dans le tamis du haut de l'appareil qui est placé sur la plateforme du moteur dont les différents réglages sont effectués (vitesse de rotation = 180 trs/min, durée de tamisage = 10 min).

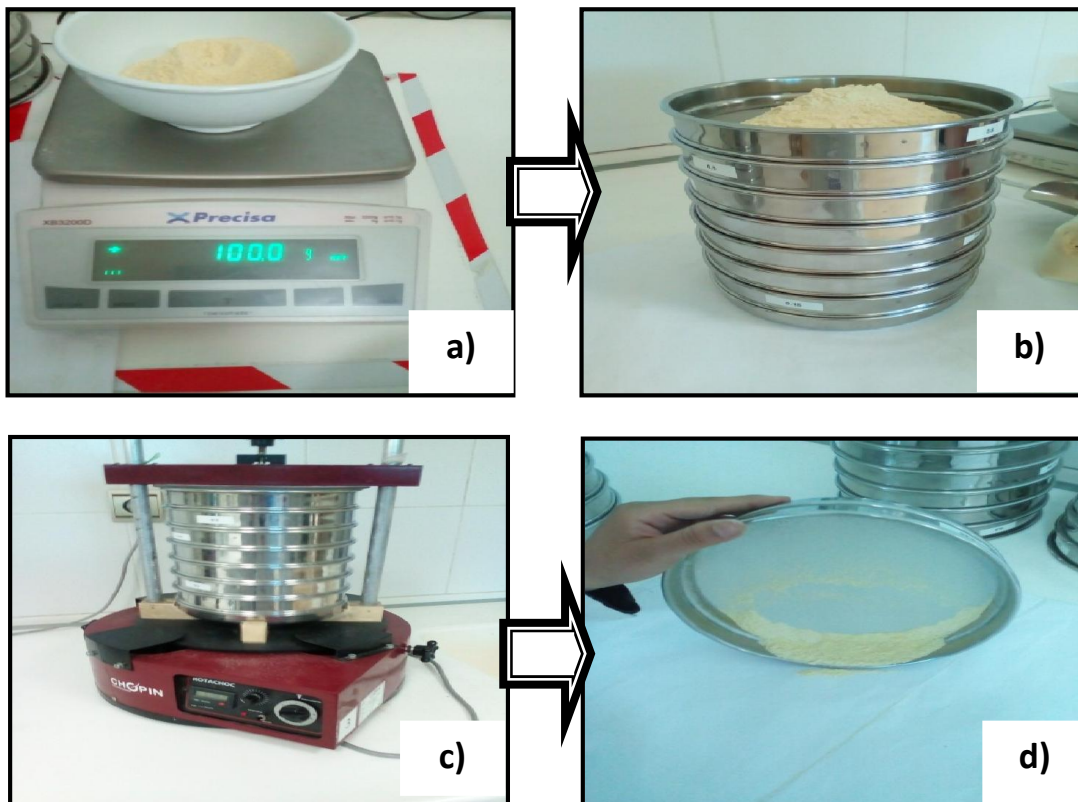


Figure 12 : Analyse de granulation de matière première (Photos prise par Mechri).

- a) Pesage de semoule. b) Placement de semoule dans les tamis.
c) Installation des tamis sur la plateforme de moteur.
d) Pesage de la semoule de chaque tamis.

4.2. Mesure de l'humidité (AFNOR NFV 03-707)

Il n'existe pas de définition universelle pour le terme d'humidité. La définition est souvent influencée par le principe physique de mesure utilisé pour déterminer l'humidité.

➤ **Définition** : L'humidité d'une matière englobe toutes les substances qui s'évaporent par chauffage en entraînant une perte de poids de l'échantillon. La perte de poids est mesurée par une balance et interprétée comme taux d'humidité. Par conséquent, cette notion d'humidité concerne outre l'eau, d'autres pertes de masses comme les solvants organiques, alcools, graisses, huiles, composants aromatiques et produits de décomposition et de combustion, évaporés. (Anonyme, 2002)

➤ **Intérêt** : La détermination de la teneur en eau (humidité) à un triple intérêt :

- Analytique : puisqu'elle conditionne la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche.
- Technologiques : déterminée les conditions de stockage des produits et joue un rôle très important dans la conservation du produit.
- Intérêt commercial et réglementaire : Les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de teneur en eau.

➤ **Principe** : Les méthodes thermogravimétriques sont des méthodes de pesage-séchage, où les échantillons sont séchés jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids stable. La perte de masse est interprétée comme humidité libérée. Le séchage se termine lorsque le poids atteint un équilibre, c'est-à-dire lorsque la pression de vapeur de la substance humide équivaut à la pression de vapeur ambiante. Plus basse est cette pression de vapeur ambiante, moins il restera d'humidité dans la substance à l'équilibre. En réduisant la pression, on abaisse la pression de vapeur ambiante et on renforce ainsi le séchage. (Anonyme, 2002)

La mesure se fait par séchage à 130 °C par un Dessiccateur halogène (HG 63 ou HG53, Mettler Toledo, Suisse) selon le principe thermogravimétrique à pression atmosphérique. La perte de masse observée est équivalente à la quantité d'eau présente dans le produit

➤ **Appareillage** :

- ✓ Dessiccateur halogène HG63

✓ Spatule

➤ **Mode opératoire :** La mesure de la teneur en eau est réalisée sur une quantité de 3g du produit dispersée dans le porte échantillon d'un humidimètre réglé à une température de 130°C. Le résultat est affiché directement sur l'écran de l'appareil après 25min

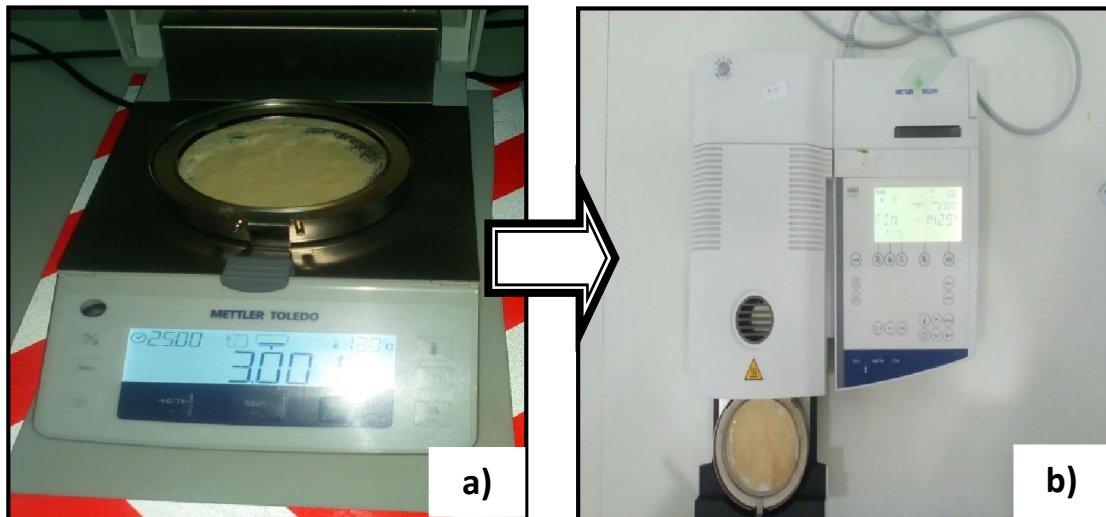


Figure 13 : Analyse d'humidité de matière première (Photos prise par Mechri).
a) Dessiccateur halogène HG63. b) Dessiccateur halogène HG65.

4.3. Mesure de la couleur

➤ **Définition :** La mesure de la coloration de la semoule est d'un intérêt surtout commerciale. Elle est considérablement influencée par les blés mis en œuvre (teneur en pigment caroténoïdes et en lipoxygénase) et les conditions de mouture (Salmi *et al.*, 2015).

➤ **Intérêt :** Le consommateur cherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée qui ne présente pas des piqures.

➤ **Principe :** Le principe repose sur l'analyse de l'énergie lumineuse réfléchi par un échantillon de semoule (où pâte alimentaires) de granulométries homogène. Il se caractérise par 03 composantes : l'indice de jaune et l'indice de brunet indice de clarté qui sont déterminés à l'aide d'un colorimètre de type Konica Minolta modèle CR-410 (KONICA MINOLTA, Japon).

➤ **Appareillage :**

- ✓ Colorimètre CR-410
- ✓ Tube de projection lumineuse CR-A33e.

- ✓ Baguette en plastique.
- ✓ plaque en verre.



Figure 14 : Matériel utilisé pour déterminer la couleur de matière première (Photos prise par Mechri).

- **Mode opératoire :** La mesure est fait avec un chroma mètre de type KONICA MINOLTA CR-410.

Une quantité de semoule a été posé dans une baguette en plastique jusqu'au remplissage ; en utilisant une plaque en verre pour rendre la surface de semoule régulière (**Fig. 15a**) ; puis placer le tube de projection sur la baguette en plastique et le chroma- mètre sur le tube enfin Appuyer sur la touche « mesurer». Le résultat est affiché directement sur l'écran de l'appareil.

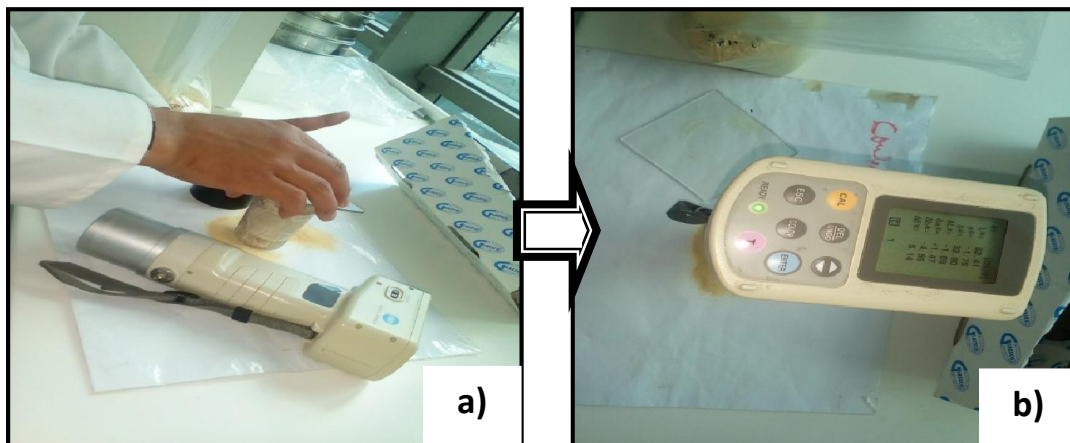


Figure 15 : Mesure de la couleur de matière première (Photos prise par Mechri).
a) Remplissage la baguette par la semoule. b) Affichage de résultat.

4.4. Mesure de la teneur en gluten

- **Définition :** Le gluten est le composant fonctionnel des protéines. Ses propriétés déterminent les caractéristiques de la pâte et influencent la qualité du produit

final. Le gluten est obtenu par une lixiviation, afin de se débarrasser de l'amidon. La totalité du gluten obtenu est le **gluten humide**. Le **gluten sec** est obtenu après élimination de l'eau à l'aide du « glutork ».

➤ **Intérêt** : Le gluten a un intérêt principalement technique, il représente la fraction insoluble des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement de la pâte.

➤ **Principe** : l'extraction du gluten est réalisée par malaxage mécanique et lavage d'une mélange de semoule avec une solution d'eau salée à l'aide d'un Système Glutomatic puis le pesé.

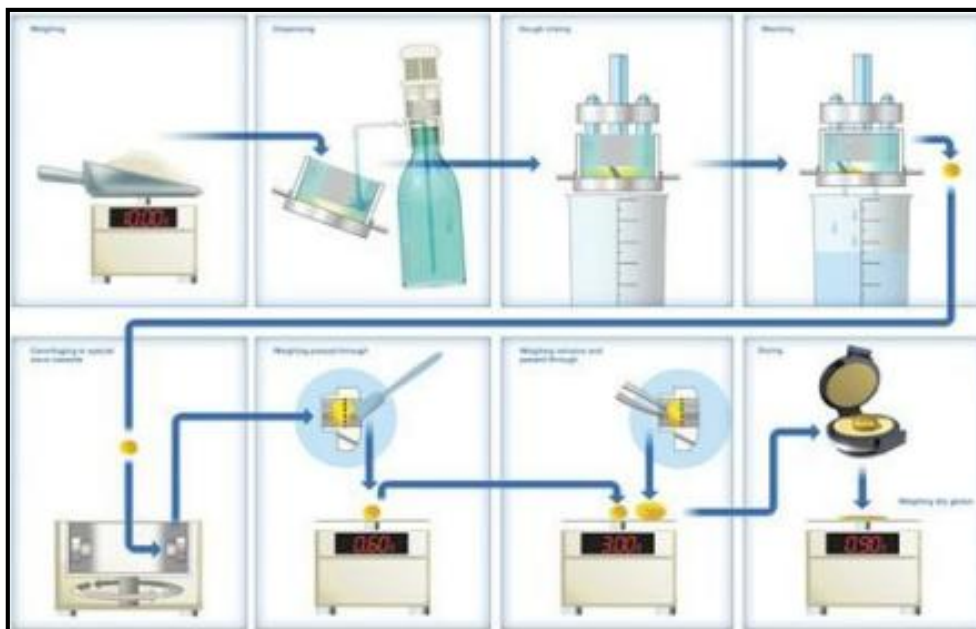


Figure 16 : Illustration des étapes de la méthode de mesure de gluten [4].

➤ **Appareillage**

- ✓ Glutomatic.
- ✓ Balance de précision à 0.01.
- ✓ Bêcher de récupération de l'eau de lavage 600ml.
- ✓ 02 Chambres de lavage 88µm pour la farine lisse
- ✓ Casette tamis Gluten Indice 88 µm.
- ✓ Pipette automatique.
- ✓ Pince.
- ✓ Pissette d'eau distillée.
- ✓ Centrifugeuse à vitesse de rotation fixée avec précision (vitesse = 6000 trs/min).
- ✓ Glutork 2020. Plaque chauffante.

➤ **Mode opératoire** : Pour des résultats fiables l'utilisation d'eau distillée est préconisée, aussi, une solution de Chlorure de Sodium à 20 g/l préparer quotidiennement.

a) **Gluten humide** : La détermination de la teneur en gluten humide se base sur l'extraction du gluten à partir de 10 g de semoule est déposée dans chaque chambre de lavage du Glutomatic équipée d'un tamis.

L'extraction se fait par l'ajout d'une solution saline (4.8ml de Na Cl à 2%) à l'aide d'une pipette automatique dans chaque chambre et par un malaxage mécanique suivit d'une lixiviation automatique grasse à un système glutomatic.

Après 5 min de malaxage le gluten est délicatement récupéré, la boule de gluten est lavée et placée à l'intérieur de la cassette de centrifugation (vitesse = 6000 trs/min).

La partie du gluten restant sur la filière (gluten résiduel) est ensuite retirée et peser avec la partie ayant traversé la filière de façon à connaître le poids total de gluten (gluten humide).elle est pesée et calculée comme suit :

$$\text{GH (\%)} = (\text{Moyenne de la masse des 02 pâtons humide} * 100) / 10$$

b) **Gluten index** : L'indice de Gluten ou le Gluten Index est la quantité de gluten résiduel par rapport au poids total du gluten humide en pourcent. Elle est calculée :

$$\text{GI (\%)} = (\text{masse de pâton humide} - \text{la masse de gluten fiable}) * 100 / \text{masse pâton humide}$$

c) **Gluten sec** : La détermination du gluten sec se fait par séchage de la totalité du gluten humide.

La masse du gluten humide est mise 4min dans une plaque chauffante à 150°C. Après séchage on pèse le gluten. Le gluten sec est calculé comme suit et donné en pourcent :

$$\text{GS(\%)} = (\text{Moyenne des masses pâtons sec} * 100) / 10.$$

5. Paramètre de qualité des pâtes alimentaires « *Rechta* »

5.1. Fabrication de la pâte alimentaire « *Rechta* »

La *Rechta* est une pâte alimentaire traditionnelle Algérienne. En raison de l'absence de la ligne de production industrielle, la fabrication est opérée dans les conditions habituelles avec la même condition et employé dans la production des pâtes alimentaires traditionnelles. Nous avons réalisé des fabrications de « *Rechta* » au niveau de laboratoire d'unité de la production des pâtes alimentaires à l'usine ABA. Les principales étapes de fabrication ont été réalisées selon diagramme de fabrication au dessus.

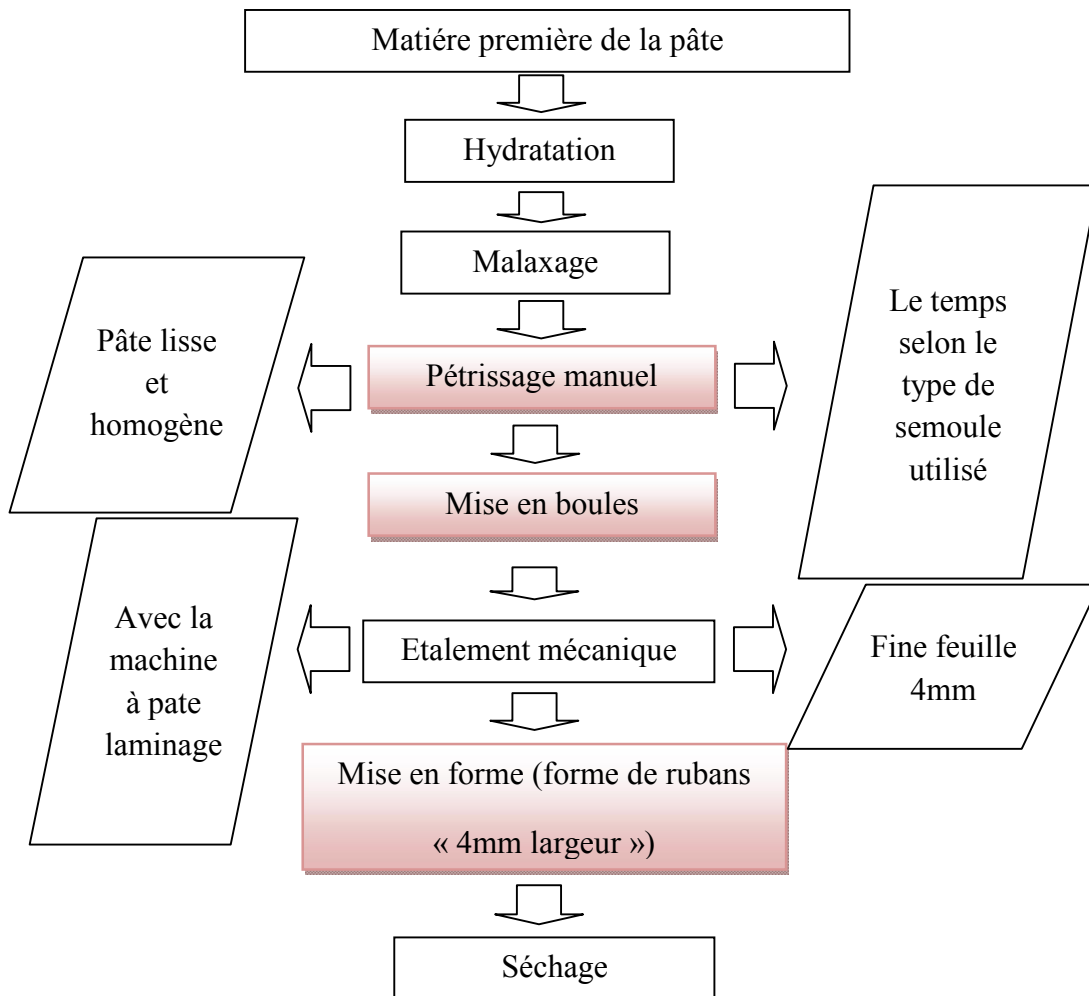


Figure 19 : Diagramme de fabrication «*Rechta*».

5.1.1. Matériels utilisés dans la fabrication « Rechta »

a) **Récipient en bois** : « guessâa » est utilisée couramment pour le pétrissage des pâtes boulangères ou pastières traditionnelles (chekhchoukha, trida, etc). Dans le cas de notre étude, « guessâa» a été utilisée au cours de la phase d'hydratation et de malaxage.

b) **Rouleau à pâtisserie** : utilisé pour étaler la pâte.

c) **Machine à pâte de type laminage** : C'est une machine ménagère de marque MARCATO. Elle comporte différentes parties. Partie laminage avec des rouleaux de passage numéroté de 1 à 9, partie de découpage en différentes formes.

d) **Eprouvette gradué en plastique à 1000 ml (1L)** : utilisé pour l'eau (l'eau utilisée est tiède).



Figure 20 : Matériel utilisé dans la fabrication (Photos prise par Boumzaout).

5.1.2. Etapes de fabrication

a) **Hydratation/ Malaxage** : A chaque fois que la pâte est préparée et quel que soit l'essai ; nous avons posé la semoule d'essais à poids 1 kg dans une guessâa ensuite ajouté l'eau progressivement avec malaxage et l'homogénéisation par les mains jusqu'à obtenir une pâte solide.

Mais la quantité d'eau ajoutée est variée selon la semoule d'essai le tableau suivant montre cela :

Tableau 12 : La quantité d'eau ajouté dans chaque essai.

Essai	Quantité d'eau à ajouter (ml)
100 % SEF	430
90 % SEF; 10% 3SF	430
70 % SEF; 30% 3SF	430
50% SEF; 50% 3SF	430
100 % 3SE	490
90 % 3SE ;10% 3SF	470
70% 3SE; 30% 3SF	470
50% 3SE;50%3SE	450

**Figure 21 :** Processus d'hydratation et malaxage (Photos prise par Mechri).

b) Pétrissage de la pâte : Après le malaxage et hydratation de semoule, nous avons obtenu une pâte qu'elle est mise au repos sous plastique pendant 10 min pour éviter le séchage et aussi pour faciliter le pétrissage de la pâte par les mains mais le temps de cette opération presque 20 min pour toutes les essais. C'est-à-dire : « le temps de pétrissage est varié selon le type de semoule ». A la fin du pétrissage, nous avons obtenu une pâte lisse ; homogène et souple.

**Figure 22 :** Processus de pétrissage manuel (Photos prise par Mechri).

c) Mise en forme : La pâte obtenue après pétrissage est découpée en petites boulettes pour faciliter le processus d'étalement manuel à l'aide de rouleau à pâtisserie. À l'aide de machine (étalement mécanique), un laminage grossier (ouverture numéro 4) est appliqué sur chaque feuille de pâte. A la fin nous avons obtenu des feuilles fines à l'épaisseur 4 mm. Les feuilles laminées sont ensuite découpées avec un emporte-pièce attaché au laminoir consacré à la fabrication des pâtes traditionnelles de type « Rechta ».

d) Séchage : La pâte obtenue « Rechta » est placée dans des tamis des pâtes spéciales avec les étiquetages de chaque tamis par le type de semoule utilisé et séchée dans des chambres des pâtes spéciales.

Les échantillons sont ensuite stockés dans des sacs en plastique à l'abri de l'humidité et à température ambiante.

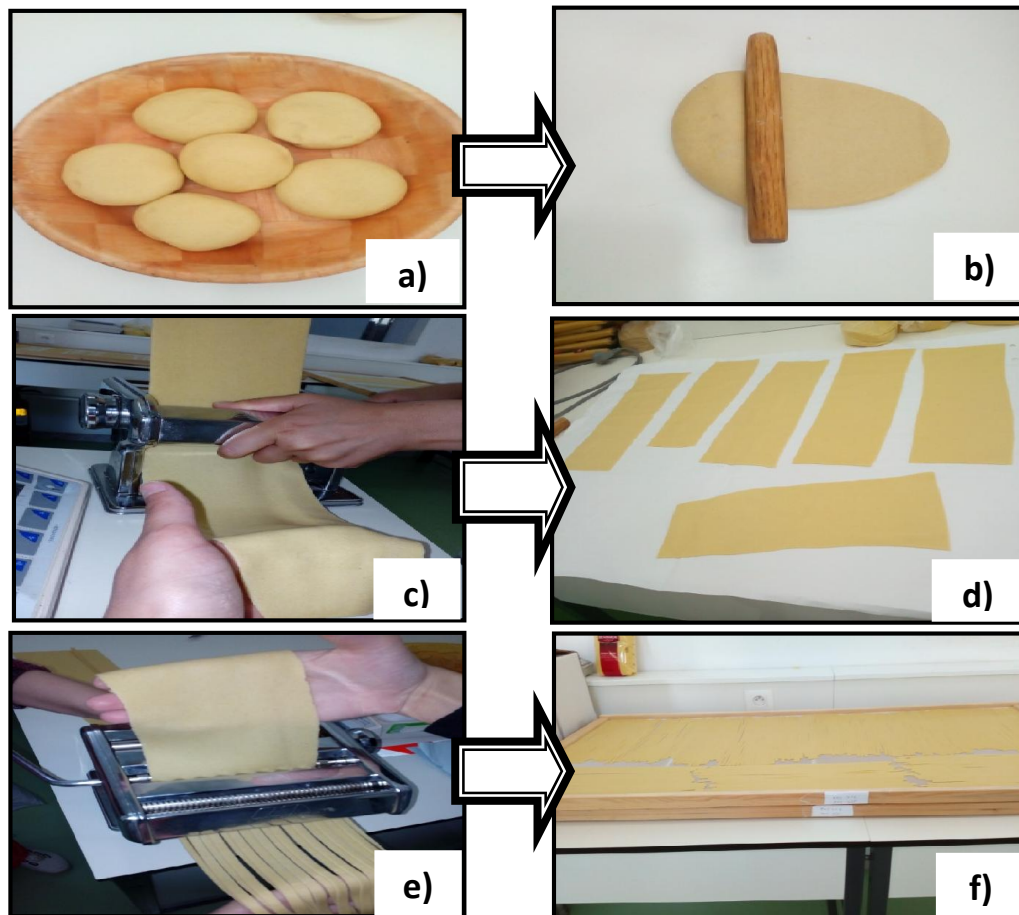


Figure 23 : Etapes de fabrication de la pâte « Rechta » (Photos prise par Mechri).

a) Mise en boules.

b) Etalement manuelle.

c) Etalement mécanique par la machine.

d) Mise en repos.

e) Découpage des feuilles de la pâte.

f) Placement sur les tamis.

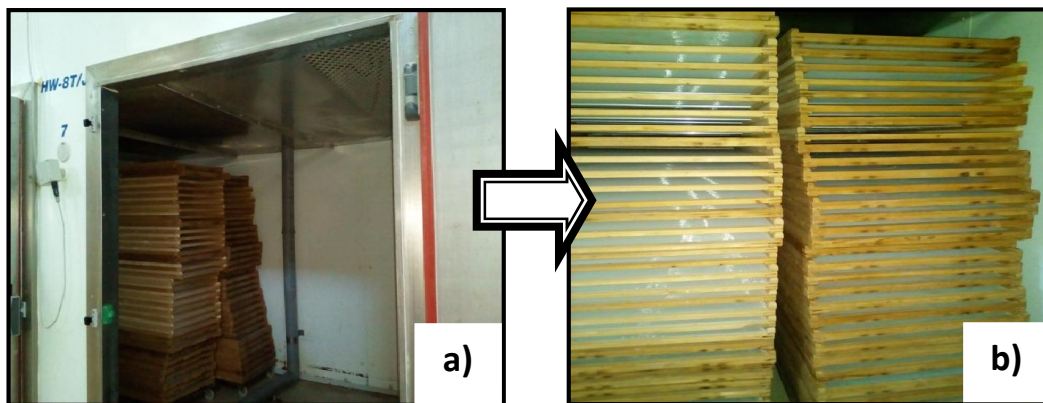


Figure 24 : Séchage de la pâte (Photos prise par Mechri).
 a) chambre de séchage. b) Placement des tamis dans la chambre.

6. Appréciation de la qualité du produit fini « Rechta »

Les propriétés qui définissent la qualité des pâtes alimentaires sont déterminées à travers leur aspect à l'état cru, leur comportement durant et après la cuisson, leur valeur nutritionnelle et leur état hygiénique (Nasehi *et al.*, 2011).

Mais dans notre étude, nous sommes concentrés sur les bases suivantes :

6.1. Aspect de produit fini « Rechta »

Il est déterminé par des paramètres :

❖ **Couleur de la pâte** : La couleur de la pâte après séchage est un paramètre fondamental pour le consommateur et aussi pour l'entreprise à partir de le commerce du produit final.

➤ Appareillage

- ✓ Broyeur
- ✓ Tamis
- ✓ Colorimètre CR-410
- ✓ Tube de projection lumineuse CR-A33e.
- ✓ Baguette en plastique.
- ✓ plaque en verre.

➤ **Mode opératoire** : Même principe de détermination la couleur du matière première mais la différence entre les deux méthodes (la couleur de semoule et la couleur de la pâte) c'est la matière utilisé. A l'aide une broyeur, nous avons broyé sur N°5 de taille des particules une quantité de la pâte séché de chaque essai (la quantité broyé (**Fig.25**) doit être suffisante et les particules homogènes pour remplir la baguette

en plastique) ensuite utilisé un tamis pour enlever les petites particules comme la poussière et continué la même manipulation de détermination la couleur de la semoule à l'aide de colorimètre CR-410.les images suivantes sont montrées le processus de broyage une quantité de la pâte séché .

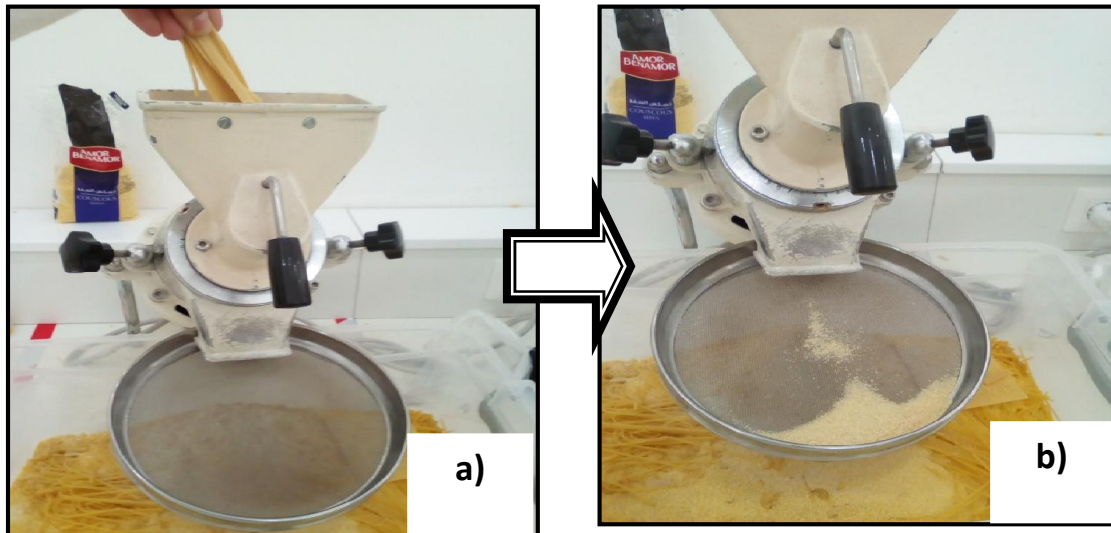


Figure 25 : Broyage de la pâte sèche (Photos prise par Mechri).
a) Pâte avant broyage. b) Pâte après broyage.

- ❖ **Piqûres :** Selon les types suivantes : blanche, noir et brun.
- ❖ **Texture superficielle du produit fini « Rechta »**
- ❖ **Dimension du produit fini :** Ce paramètre permet de détecter les malformations et les irrégularités dans la fabrication de la pâte dont on sélectionne quelques brins au hasard et on a mesuré à l'aide d'un pied à coulisse.

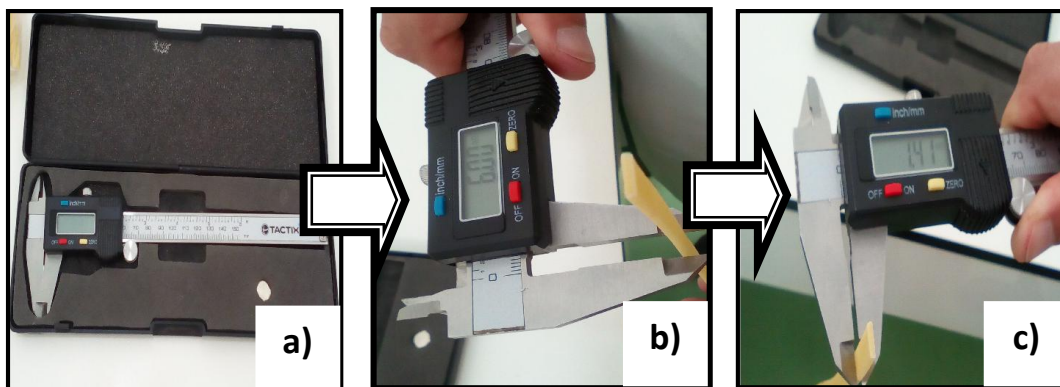


Figure 26 : Détermination de la dimension de la pâte sèche (Photos prise par Mechri).

a) Pied à coulisse. b) Largeur de la pâte sèche. c) L'épaisseur de la pâte sèche.

6.2. Humidité de produit fini « Rechta »

Après le séchage des pâtes alimentaires de chaque essai, il faut mesurer l'humidité de chaque essai.

➤ **Appareillage**

- ✓ Broyeur.
- ✓ Dessiccateur halogène HG63 ou HG65.
- ✓ Spatule.

➤ **Mode opératoire :** Le principe de mesure l'humidité des pâtes alimentaires aussi c'est même principe de mesure l'humidité de semoule mais après le séchage de la pâte, nous avons broyé une petite quantité (presque égal 3 g) de la pâte à l'aide d'un broyeur, la quantité obtenue a été plus fin ensuite continue avec utilisation de dessiccateur halogène.

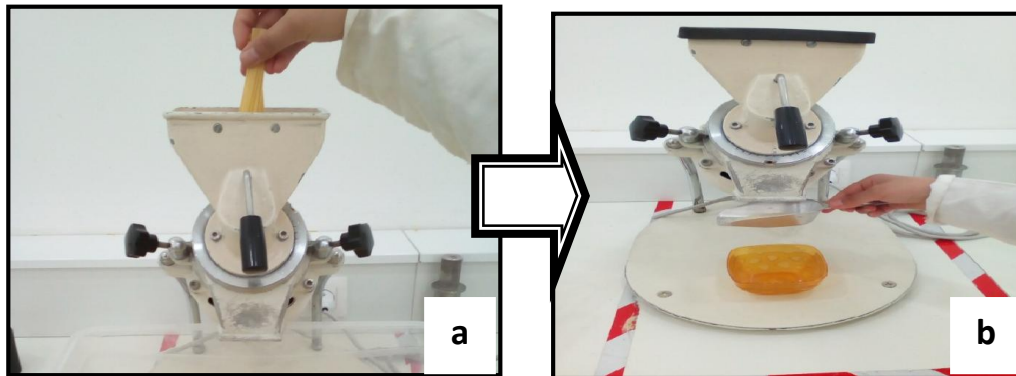


Figure 27 : Broyage de la pâte sèche (Photos prise par Boumzaout).
 a) Pâte avant broyage. b) Pâte après broyage.

6.3. Qualité culinaire du produit fini « Rechta »

6.3.1. Le temps optimal de cuisson

➤ **Définition :** Les temps minimal, optimal et maximal de cuisson ce qui correspond respectivement à :

- la durée à partir duquel l'amidon est gélatinisé.
- le temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée,
- le temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson (Abecassis, 2011).

➤ **Intérêt :** L'état de délitescence des pâtes, c'est à dire l'état de désagrégation superficielle de la pâte cuite.

➤ **Principe :** Ecraser la pâte cuites entre deux plaques en verre. La disparition d'une ligne centrale blanche est révélatrice de l'état de cuisson minimum

➤ **Appareillage**

- ✓ Deux plaques en verre.
- ✓ Chronomètre.
- ✓ Plaque chauffante.

✓ Balance

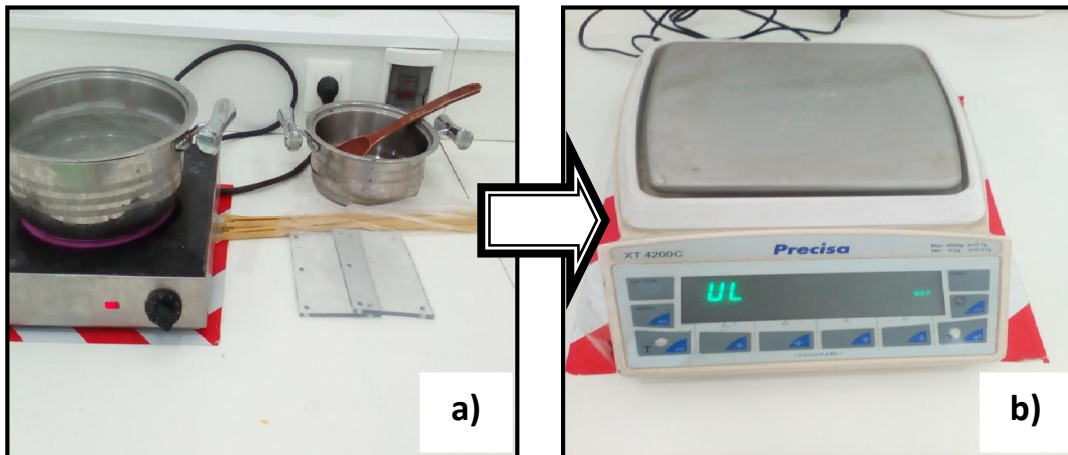


Figure 28 : Matériel utilisé pour déterminer le test de cuisson
(Photos prise par Mechri).

a) Matériel utilisé dans test de cuisson. **b)** Balance pour peser pâte sèche.

➤ **Mode opératoire** : La cuisson des pâtes est déterminée selon le protocole suivant : un échantillon de 100 g de pâtes est plongé dans 2 litres d'eau distillée chauffée à 15 min. À des intervalles de temps réguliers (soit toute 1 minute), un brin de pâte est prélevé entre deux lamelles en verre pour évaluer la cuisson des pâtes.

6.3.2. Etat de l'eau

Après la cuisson de la pâte, nous avons séparé la pâte cuite de l'eau dans laquelle elle a été cuite et met la dans un éprouvette graduée pour déterminer la couleur, l'état d'eau et la quantité d'eau restante de la cuisson.

6.3.3. Consistance de la pâte

Ce paramètre de qualité culinaire de la pâte a été évalué par le pressage modéré d'une petite quantité de la pâte cuite entre les doigts de la main pour voir le degré du collant de la pâte alimentaire cuite. Plus le collant est faible, plus la pâte est meilleure. (Fig.29f)

6.3.4. Indice de gonflement (Poids à la cuisson)

Le gonflement renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites. La procédure de préparation des échantillons pour la détermination de l'indice de gonflement est la même que celle décrite dans la section de détermination du temps optimum de cuisson.

1. Résultat des paramètres de qualité de la matière première

1.1. Granulation

La granulométrie de la semoule affecte les propriétés d'absorption des pâtes et par conséquent la qualité du produit fini (Dick et Matsuo, 1988). D'après Feillet (2000), le comportement des matières premières au cours de leur transformation, notamment la quantité d'eau absorbée ainsi que la vitesse d'hydratation en dépend pour beaucoup. Elle joue aussi un rôle important dans le comportement de la pâte lors de son hydratation, ce qui influence l'aspect et la fermeté du produit fini (Petitot *et al.*, 2009).

Les granulométries des semoules utilisées dans cette étude sont [500µm-180µm], [250µm -140µm] et [:< 150 µm] respectivement pour les semoules : 3SE, SEF et 3SF. Selon la FAO (1995), les semoules de blé dur utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires sont en général d'une granulométrie supérieure ou égale à 212 µm.

D'après nos résultats, on a constaté que l'augmentation de la quantité du passant du premier groupe d'essai à base de semoule 3SE (sauf essai de 100% 3SE et 100% SEF) est en relation directe avec l'ajout de la semoule 3SF c'est-à-dire à chaque fois on rajoute ce dernier la quantité du passant augmente. Cette quantité de passant reste toujours inférieure à la quantité du 3SF incorporé. Par contre la quantité du passant issu du deuxième groupe d'essai qui est à base de semoule SEF, est presque le double par rapport au premier groupe d'essai. Car la granulométrie du SEF est très proche de celle du 3SF.

Aussi, on a remarqué que la présence de son présente dans les deux groupes d'essais est récupérée dans les tamis de 355µm -200µm pour les deux essais soit à base de 3SE et 3SF ou SEF et 3SF.

La présence de ce dernier est influencée sur l'aspect et la texture superficielle des pâtes alimentaires (produit fini) c'est-à-dire : au cours d'hydratation, le son n'est pas soluble donc modifie la couleur de la pâte au cours de la fabrication et après le séchage aussi l'apparition des piqûres brunes et la texture devient rugueuse dans le produit fini.

1.2. L'humidité

Selon le tableau 1 (Voir annexe 1), le taux d'humidité trouvé varie entre 14.07% et 14.29%, donc inférieur à $\leq 14,5\%$ qui correspond à la réglementation national (JORA, 2007) et internationale (*Codex alimentarius*, 1995) (**Fig. 30**).

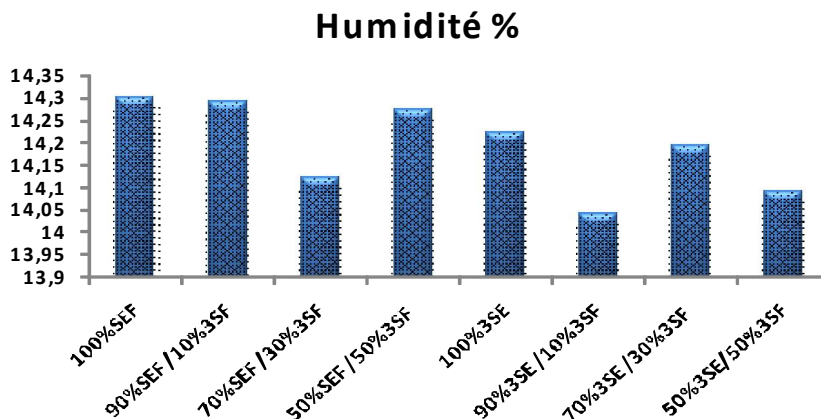


Figure 30 : Variation de l'humidité de la matière première dans chaque mélange.

1.3. La couleur

A partir du résultat obtenue, on a remarqué que il ya des variations entre les indices de couleur « a* ; b* ; l* » des matières premières. Ces variations représentent pour l'indice de brun « a* » une augmentation progressive de la valeur de suite à l'ajout du 3SF aux 3SE et SEF. Plus on augmente le pourcentage du 3SF plus l'indice de brun « a* » augmente (**Fig. 31**). Représentent aussi, une diminution progressive des valeurs de l'indice de jaune « b* ». Les valeurs de l'indice de clarté « l* » n'ont pas dépassées l'intervalle normalisé selon les normes utilisées par le Moulin Amor Benamor.

A titre d'exemple, la valeur de « a* » de l'essai 100% SEF est de 1.75, alors que les valeurs des essais [90%SEF+10%3SF], [70%SEF+30%3SF] et [50%SEF+50%3SF] sont respectivement 1.94, 2.06 et 2.14 (Voir annexe 1). Presque la même variation est observée pour le deuxième groupe d'essai.

Les variations de l'indice de jaune «b*» ont montrées pour l'essai 100% SEF une valeur de 32.9, alors que les valeurs des essais [90%SEF+10%3SF], [70%SEF+30%3SF] et [50%SEF+50%3SF] sont respectivement 31.50, 29.20 et 27.31 (Fig. 31).

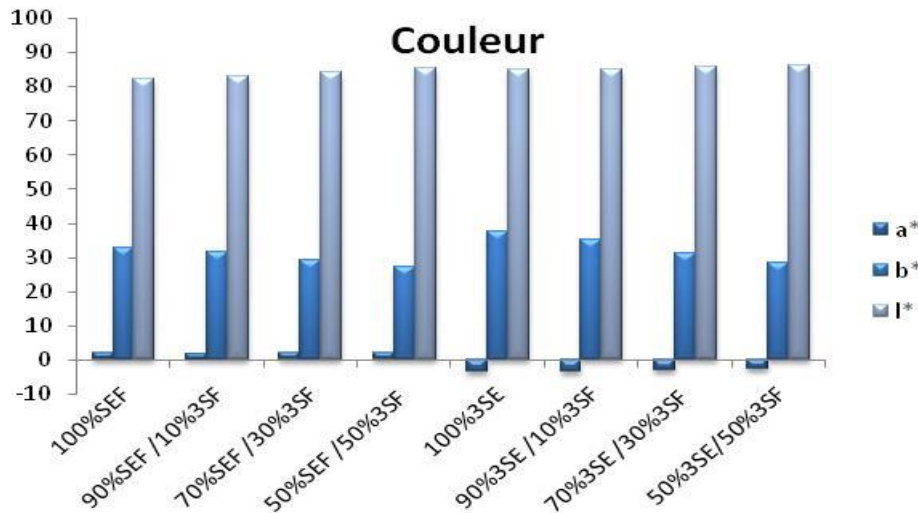


Figure 31 : Variation des indices de couleur à chaque essai.

Les semoules 3SF sont des semoules à granulométrie < 150 μ m, proviennent au cours de la mouture, des couches périphériques (les enveloppes) du grain essentiellement le tégument séminal qui contient les colorants brun d'où sa couleur jaune marron. (Madani, 2009 ; Benbelkacem *et al.*, 1995; Abecassis, 1991).

Donc, le brunissement des semoules des essais suite à l'augmentation de la valeur d'indice de brun « a* » et de la diminution de la valeur de l'indice de jaune « b* », est à l'origine l'origine de l'ajout du 3SF.

1.4. Gluten

D'après Hebrard *et al.* (2016) dans la semoule de blé dur, les particules le plus fines sont originaires des parties périphériques (L'aleurone) du grain. En conséquence, elles se distinguent par des teneurs plus élevées en protéines, pentosanes, amidon endommagé et cellules de la couche à aleurone.

D'après les résultats obtenus du dosage du gluten, nous avons observé que une variation du pourcentage entre le gluten humide (GH), le gluten sec (GS) et le gluten index (GI) des différents essais, à chaque fois qu'on ajoute une quantité de 3SF à

l'essai on observe une diminution du GH et du GS, au contraire pour le GI qui augmente au fur et mesure qu'on rajoute du 3SF.

Les essais à base de semoule 100% SEF le GH est de 58.2% (Fig. 32). A 10% de 3SF rajouté, le GH deviendra 46.9%. A 30% et 50% de 3SF rajouté, les valeurs de GH diminue encore de plus en plus (44.5% et 43.4% respectivement). La même diminution est observée aux mélange avec le 3SE (deuxième groupe d'essai). Et de la même façon agit l'ajout du 3SF sur les variations des pourcentages du GS.

Par contre les pourcentages des GI ont augmentés progressivement à chaque fois qu'on rajoute du 3SF aux différents essais.

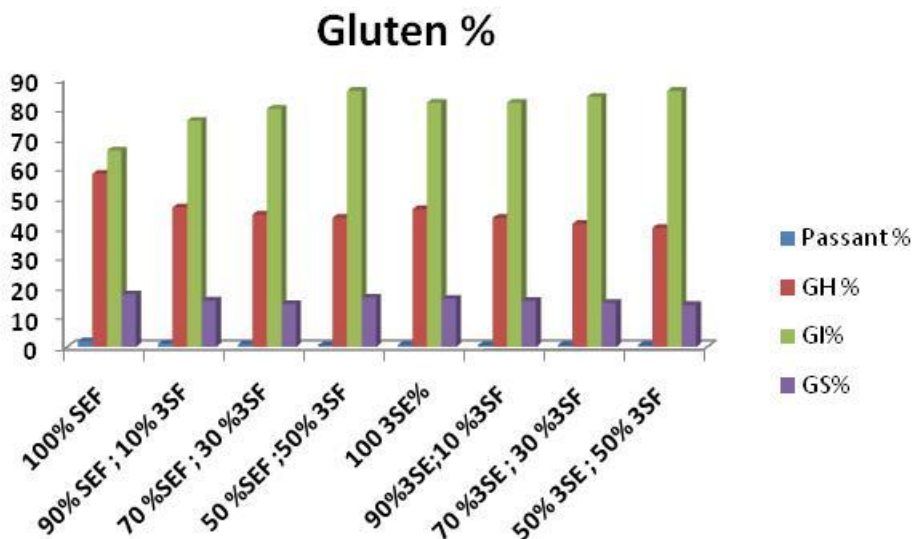


Figure 32: Variation des taux de gluten des différents essais.

Donc, les résultats expérimentaux indiquent que 3SF de blé dur est riche en gluten.

2. Paramètre de qualité du produit fini « Rechta ».

2.1. Préparation de la « Rechta » à partir des différents essais

➤ **Hydratation** : Durant cette étape, on n'a constaté que l'absorption de l'eau par les particules des huit essais se fait de manière différente :

- L'essai préparé à partir de semoule 100% 3SE a absorbé une grande quantité d'eau, cette dernière est diminuée avec l'ajout progressif de 3SF.

- L'essai préparé à partir de semoule 100% SEF a absorbé une quantité d'eau inférieure à celle des essais préparés à partir de 3SE, et la quantité d'eau va rester constante avec l'ajout progressif de 3SF.

➤ **Malaxage** : La pâte préparée de semoule 3SE (100%) possède une texture homogène et lisse. Par contre si on rajoute progressivement des teneurs variables de 3SF (10% ; 30% ; 50%) on obtient une pâte à l'intérieure humide mais sèche à l'extérieure. Même observation constatée pour les essais à basse de semoule SEF et 3SF.

➤ **Pétrissage** : Toute l'élasticité de la pâte et le temps de pétrissage sont augmentés avec la diminution de granulométrie de chaque essai.

2.2. Appréciation de la qualité du produit fini « Rechta »

2.2.1. Aspect visuelle du produit fini « Rechta »

L'aspect des pâtes alimentaires est déterminé par trois paramètres : la couleur, le nombre et l'origine des piqûres et état de surface des pâtes sèches. Les piqûres brunes sont dues à la présence de particules de sons, mais les piqûres noires proviennent des grains mouchetés. Les points blancs et état de surface des pâtes sèches dépendent des conditions de fabrication (Feillet, 2000).

Le types de piqûres et la texture du produit fini « Rechta » observé durant notre travail sont résumé dans le tableau ci-dessou.

Tableau 13 : Résultat de l'aspect visuel du produit fini « Rechta » de chaque essai après le séchage.

Essais	Type de piqûres	Texture superficielle	Couleur visuelle	Dimensions	
				Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
100%SEF	Blanche et brun	Rugueux	Jaune marron	1.37	6.06
90%SEF /10%3SF			Jaune marron		
70%SEF/30%3SF			Jaune peu sombre		
50%SEF/50%3SF			Jaune sombre		
100%3SE	Blanche		Jaune ambré		
90%3SE/10%3SF	Blanche et brun		Jaune ambré		
70%3SE /30%3SF			Jaune peu sombre		
50%3SE /50%3SF			Jaune sombre		

❖ Couleur de la pâte

En comparant l'échantillon de la semoule 100% SEF avec les autres échantillons qui ont déjà été préparé avec un mélange de semoule (SEF+3SF) par les différents combinaisons (90%+10% ; 70%+30% ; 50%+50%) on trouve que les valeurs des indices «l*» et «b*» diminuent par rapport aux valeurs de l'indice «a*» qui augmente (Fig.33). La même constatation est observée dans les préparations des essais à partir du 100% 3SE.

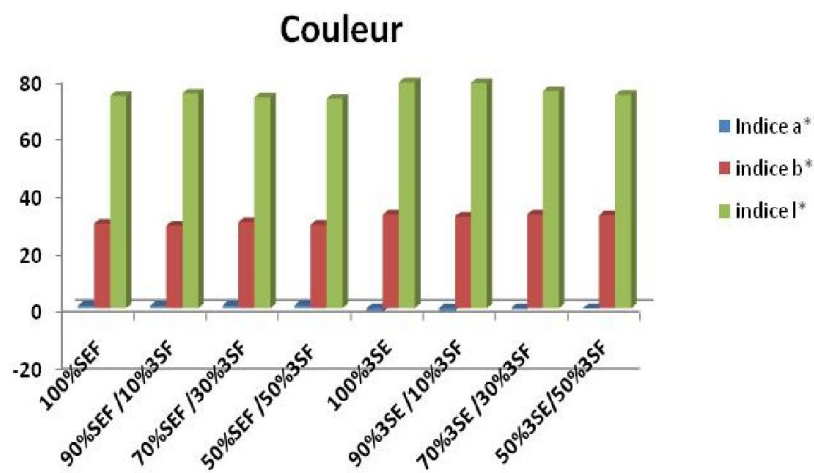


Figure 33 : Résultat de la couleur du produit fini «Rechta».

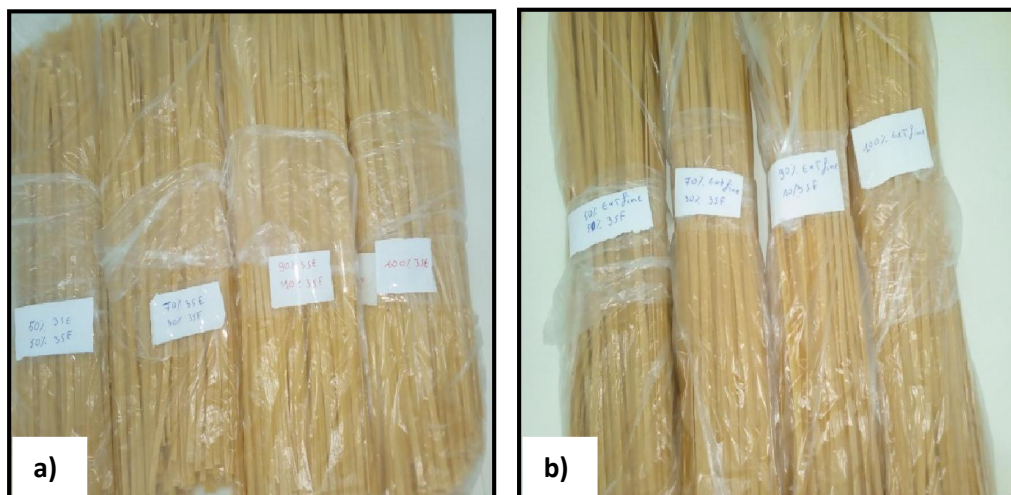


Figure 34 : Photos du produit fini « Rechta » après le séchage (Photos prise par Mechri)

2.2.2. Humidité du produit fini « Rechta »

Les résultats enregistrés du taux d'humidité du produit fini sont démontrés dans la figure 34. Les valeurs trouvées de tous les essais sont comprise entre 11% à 12,5% ce qui est acceptable selon les normes utilisées par le Moulin Amor Benamor

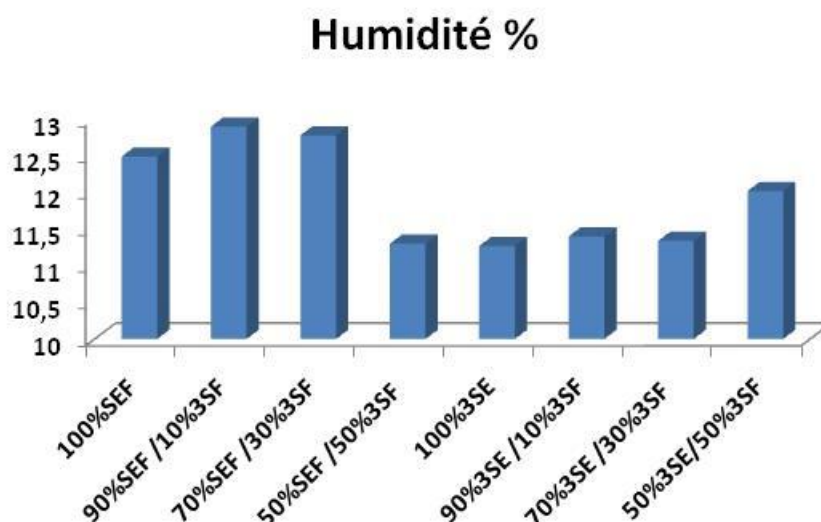


Figure 35 : Résultat d'humidité de produit fini. « Rechta »

2.2.3. Qualité culinaire de produit fini. « Rechta »

2.2.3.1. Temps optimal de cuisson

Lors de l'écrasement des pâtes entre deux plaques en verre dans les trois premières minutes qui suivent la cuisson, on observe une ligne blanche épaisse qui disparaît après chaque minute de plus jusqu'à la disparition totale de cette dernière. A ce moment là, ce temps correspond au temps optimal de cuisson (Tab. 14) qui se traduit par une gélatinisation de l'amidon.

Tableau 14: Résultat du temps optimal de cuisson (TOC) de la pâte

Essai	100% SEF	90%SEF /10%3SF	70%SEF /30%3SF	50%SEF /50%3SF	100% 3SE	90%3SE /10%3SF	70%3SE /30%3SF	50%3SE /50%3SF
TOC	10min 30sc	10min 40sc	11min 5sc	11min 50sc	10min 50sc	10min 55sc	11min	11min 10sc

D'après le tableau, le TOC de la pâte est augmenté à chaque fois qu'on rajoute 3SF au SEF ou 3SE.

Cette différence de temps de cuisson des pâtes pourrait s'expliquer, selon Dexter et Marchylo (1996) et Clarke *et al.* (1998), par l'augmentation de la quantité du gluten qui est provoquée par une lente gélatinisation de l'amidon. Et selon Clarke *et al.* (1998) et Edwards ; *al.* (2001) et Bechere *et al.* (2002) confirment que la haute teneur en protéines ou plutôt la forte teneur en toutes substances azotées, ainsi que la force et l'élasticité élevées du gluten influencent la résistance des pâtes trop cuites.

2.2.3.2. Résultat de test de cuisson

Pendant la cuisson de la pâte préparée à base de 100%SEF ou 100%3SE, aucune molécule d'eau n'est libérée, mais par contre, pendant la cuisson des pâtes issus des différents essais, nous avons observé que le groupe d'essai mélangé avec du 3SF, il y eut une libération de d'eau de cuisson. Pour cela la couleur d'eau a été modifiée par rapport à l'eau de cuisson de la pâte témoin et la pâte qui est préparée à la base de semoule 100%SEF. Aussi on a observé la formation des bévules (**Fig.36**) dans l'eau après la cuisson de la "Rechta", ces bévules sont dûes à la solubilisation de 3SF dans l'eau pendant la cuisson.



Figure 36 : photos de la formation des bévules dans l'eau de cuisson (Photos prise par Mechri)

Tableau 15 : Résultat des tests de cuisson du produit fini "Rechta"

Essais	Test de cuisson	
	Aspect d'eau	Consistance
100 % SEF	Jaunâtre	Ferme Résistante Légèrement collante
90% SEF ; 10% 3SF	Jaune claire	Ferme Résistante Légèrement collante
70% SEF ; 30%3SF	Jaunâtre	Ferme Résistante Légèrement collante
50% SEF ; 50% 3SF	Début d'apparition des bévules blanches	Ferme Résistante Peu collante
100 % 3SE	Blanchâtre	Ferme Résistante Peu collante
90 % 3SE ; 10% 3SF	Blanchâtre	Ferme Résistante Peu collante
70% 3SE ; 30% 3SF	Blanchâtre début d'apparition des bévules	Ferme Résistante Peu collante
50% 3SE ; 50%3SE	Blanchâtre	Ferme Résistante Peu collante

2.2.3.3. Indice de gonflement (Poids à la cuisson)

On remarque que l'indice de gonflement (IG) est minimal dans l'échantillon préparé à base de la semoule 100% SEF, puis il augmente avec l'addition de 3SF dans les essais (90%+10% ; 70%+30% ; 50%+50%) préparé par le mélange SEF+3SF. Cet indice augmente aussi dans les essais (100% ; 90%+10% ; 70%+30% ; 50%+50%) préparé par le mélange 3SE+3SF.

Donc, le gonflement nous renseigne sur la capacité d'absorption d'eau des pâtes cuites. Il est déterminé par la différence de poids entre la pâte avant et après la cuisson. Singh *et al.* (2006) ont montré que la force de gonflement indique la capacité de l'amidon à s'hydrater sous des conditions spécifiques (temps/température) (Fig.37).

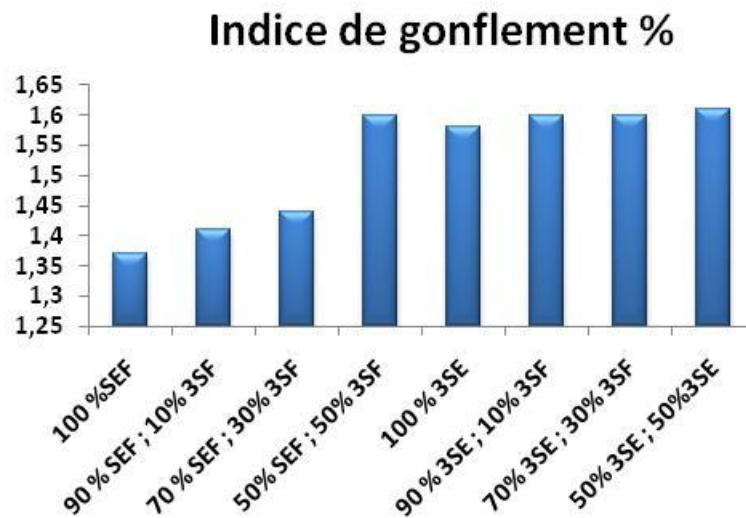


Figure 37 : Résultat de l'indice de gonflement

Conclusion

Cette étude est établie au niveau des moulins Amor benamor qui se situe à El Fedjoudj, wilaya de Guelma. L'objectif de notre travail consiste, dans un premier temps, d'utiliser de semoules fines dans la fabrication des pâtes alimentaires de type "Rechta". Puis dans un deuxième temps de déterminer l'impact de ces semoules sur la qualité technologique et les propriétés culinaires du produit fini (la Rechta) en comparant à un témoin qui est à base de semoule de blé dur (Semoule Sassées Super extra ou 3SE).

Les résultats des paramètres physico-chimiques et technologiques des matières premières ont relevés que l'ajout progressif de 3SF soit à base de semoule SEF ou à base de semoule 3SE a eu un impact direct sur la granulométrie, la couleur et le taux de gluten.

Pour la deuxième étude, les analyses physico-chimiques, technologiques et organoleptiques effectuées sur le produit fini «Rechta», ont relevées que les paramètres déjà cité, ont influencés la couleur et les propriétés rhéologiques (viscoélasticité, ténacité et extensibilité) de produit fini «Rechta» pendant la cuisson.

La Rechta fabriquée à partir du mélange (90% 3SE ; 10% 3SF) et (70% 3SE ; 30%3SF) est plus proche a celles de la Rechta "témoins" fabriquée à base de semoule de blé dur (3SE).

📖 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 📖

A

AALAMI M., RAO U., et LEELAVATHI K., (2007). Physical chemical and biochemical characteristics of Indian durum wheat varieties: Relationship to semolina milling and spaghetti making quality. *Food chemistry*. 102 (4). 993-1005 p.

ABECASSIS J. (1987). *La mouture d'essai du blé dur : Recherche et applications industrielles*. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ecole nationale supérieure de meunerie et des industries céréalières. 158p.

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 .362-393p.

ABECASSIS J., ABBOU R., CHAURAND M., MOREL M., et VERNOUX P., (1994). Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder and on pasta quality. *Cereal Chemistry*. (71). 247-253 p.

ABECASSIS J., (1995). Les industries de première transformation. Ed. Tech & Doc. Paris.362-396 p.

ABECASSIS J., (2011). Innovations pour améliorer la qualité des productions et des produits céréalières. UMR-IATE Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes INRA, CIRAD, SUPAGRO, UM II Montpellier, France.20 p.

ADRIAN L., et REBACHE H., (1996). Caractéristiques et intérêt des enzymes. *Revue de l'apic, industries des céréales*.

AFNOR., (1991). Association Française de Normalisation. Norme Codex pour la semoule et la farine de blé dur. 178 p.

AGAMAACEVEDO E., ISLAS-HERNANDEZ J., OSORIO-DIAZ,P., RENDONVILL-ALOBOS R., UTRILLA-COELLO R.G., ANGULO O., et BELLO-PEREZ L.A., (2009). Pasta with unripe banana flour: Physical, texture, and preference study.*Journal of food science*. 74(6). 263-267p.

AIT-SLIMANE S., (2008). *Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie*. Thèse de doctorat Option : Biologie végétale et Amélioration des Plantes, Université de Annaba. 151 p

ALAIS C., LINDEN G., et MICLOT L., (2003). Biochimie alimentaire.Ed. MASSON. 245p.

ALTAN A., MASKAN M., (2005). Microwave assisted drying of short-cut (ditalini) macaroni: drying characteristics and effect of drying process on starch properties. *Food Research International*. 38 (7). 787-796 p.

AMIR Y., DJABRI D., GUELLIL H., YOUYOU A., (2004). Influence of environmental factors on the quality of wheat grown in north Algeria, *JFAE (Finland)*. 2(2) .315-319 p.

ANONYME 1., (2006). Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur: vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. Colloque régional du 21 juin 2006 « Campus INRA-AGRO Montpellier ». 1- 4p

Anonyme 2., (2002). METTLER TOLEDO brochure d'application détermination du taux d'humidité. 05 -15-15 p.

APFELBAU M., APERTMULER L., FORAT G., BEGON M., et NILLUS P., (1981). Dictionnaire pratique de diététique et de nutrition. Ed .Masson, Paris. 615 p

B

BAHCHACHI N., (2002). *Incorporation de gluten de maïs dans la fabrication de deux produits céréaliers traditionnels: Trida et Couscous.* Thèse de magister: option biochimique et technologie alimentaire DINATAA. Université Mentouri, Constantine, Algérie. 134 p.

BECHERE E.R., PENA J., et MITIKU D., (2002). Glutenin Composition, Quality Characteristics, and Agronomic Attributes of Durum Wheat Cultivars Released in Ethiopia. *African Crop Science Journal*. 10(2). 173-182 p.

BELITZ H.D., GROSCH W., et SCHIEBERLE P., (2009). Food chemistry, 4th revised and extended. Ed. Berlin (DE): Springer. 52-86 p.

BENBELKACEM A., BRINIS L., et SADLI F., (1995). La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie.(Options Méditerranéennes CIHEAM, Série A, Séminaires Méditerranéen. 61-65 p.

BENBELKACEM A., et KELLOU K., (2000). Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. In: *Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L.* Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: Ciheam. 105-110 p.

BERHAUT P., BRAS A., NIQUET G., et GRIAUD P., (2003). Stockage et conservation des grains à la ferme, ARVALIS, Institut du végétale, Ed. Tec et Doc, Paris. 108 p.

BLOKSMA A.H., (1990). Dough structure, dough rheology and baking quality. Cereal Foods World. (35). 237-244 p.

BORNET F., (1993). Technologies des amidons, digestibilité et effets métabolique, Ed.Nut, Diét. 1620 p.

BOUDREAU A., et MENAR G., (1992). Le blé Eléments fondamentaux et transformation ».Coordonnateurs. Ed .Les presses de l'Université Laval, Canada. 439 p.

BOUJNAH M., ABECASSIS J., BAKHELLA M., AMRI A., OUASSOU A., NACHIT M., CHAURAND M., et JAOUHARI A., (2004). Mise au point de tests directs de laboratoire pour l'évaluation de la valeur boulangère des farines de blé dur. Alawamia. 1 (3). 111 p

BRENNAN C.S., et TUDORICA C.M., (2007). Fresh pasta quality as affected by enrichment of non starch polysaccharides. Journal of Food Science.72(9).659-665 p.

C

CALVEL R., (1984). La boulangerie moderne. Ed. EYROLLES. Paris. 460 p.

CHERDOUH A.,(1999). *Caractérisation biochimique et génétique des protéines de réserve des blés durs Algériens (Triticum durum Desf.) : relation avec la qualité.* Thèse de magistère, Université de Constantine, Algérie. 73 p.

CHRISTELE-ICARD V., (2000). De la semoule du blé dur aux pâtes alimentaires : évènements physiques et biochimiques. Industries Agricoles et Alimentaires. 117 p.

CHUNG O.K., POMERANZ Y., et FINNEY K.F., 1978). Wheat flour lipids in bread making. Cereal Chemistry .(55). 598-618 p.

CHUNG O.K., (1986). Lipid-protein interactions in wheat flour dough, gluten and protein fractions. Cereal Foods World .(31). 242-256 p.

CLARKE J.M., Marchylo B.A., KOVACS M.I.P., NOLL J.S., MCAIG T.N., et HOWES N.K., (1998). Breeding durum wheat for pasta quality in Canada. Euphytica. 100.163-170 p

CODEX ALIMENTARUS., (2007). Commission du Codex Alimentarius et le programme FAO et OMS sur les normes alimentaires : Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales, norme codex pour la semoule et la farine de blé dur. codex stan 178-1991 (rév. 1-1995).65 p

CRETOIS A., (1985). Valeur technologique de quelques variétés de blé. Industries des céréales. 26(20). 32 p.

CRUZ J.F., (1989). Conservation des grains en région chaudes. 2ème édition.5-13 p.

D

DEXTER J.E., et MASTUO R.R., (1977). Changes in semolina proteins during spaghetti processing. *Cereal chemistry*.54 (4). 882-894 p.

DEXTER J.E., et MARCHYLO B.A., (1996). Meeting the durum wheat quality requirements of an evolving processing industry: Past, Present and Future trends. Canadian Grain Commission Grain Research Laboratory 1404 - 303, Main Street Winnipeg, Manitoba, R3C 3G8 Presented at the Pavan Mapimpianti 50th Anniversary Durum Wheat and Pasta Seminars, Bassano Del Grappa, Italy. 23-26 p.

DJERMOUN A., (2009). La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques, *Revue Nature et Technologie*.(1). 45-53 p.

DOUMANDJI A., DOUMANDJI B., et DOUMANDJI S., (2003). Technologie de transformation de blé et problèmes dus aux stocks, Ed : Ophice des publications universitaires. Alger. 65 p.

DUBCOVSKY J., et DVORAK J., (2007). Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat under Domestication. *Science* 316 [Issue 5833]. 1862 p.

DURANTI M., (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*. 77 (2). 67-82 p.

E

EDWARDS N.M., PERESSINI D., Dexter J.E., et MULVANEY S.J., (2001).

Viscoelastic properties of durum wheat and common wheat of different strengths. *Rheological Acta*.(40).142-53p.

ELHADEF E., (2015). *Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie.* Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magister en agronomie .Spécialité : Génétique et Amélioration des Plantes .Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ferhat Abbas Sétif. 35 p.

ELIASSON A.C., CUDMUNDSSON M., et SVENSON G., (1995). Thermal behaviour of wheat starch in flour relation to flour quality, *Lebensm.-wiss. U. Technol.* (28). 227-230 p.

F

F.A.O, (1995). Food and Agriculture Organisation. Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, CODEX STAN 178-1991. 65 p.

FAVIER J., SAMSON M.F., AUBLED C., MOREL M.H., et ABECASSIS J.

(1996). Thermal kinetics of dough proteins insolubilisation determined by size exclusion high performance liquid chromatography. *Sciences des aliments*. 16 (6). 573-591 p.

FEILLET P., (1984). The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. *Science Alimentaire*.(4). 551-566 p.

FEILLET P., (1986). L'industrie des pâtes alimentaires : Technologies de fabrication, Qualité des produits finis et des matières premières. *Ind. Agric. Aliment.* (103). 979-98 p.

FEILLET P., et DEXTER J.E., (1996). Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. *Pasta and Noodle Technology*, Ed. AACC, St Paul, Minnesota. 95-131 p.

FEILLET P., (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. Ed .INRA. 57-281-303-308 p.

FREDOT E., (2005). Connaissance des aliments. Ed. TEC et DOC. Lavoisier-Paris. 157-199 -397 p.

FREDOT E., (2012). Connaissance des aliments : bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. 3ème édition , Lavoisier, Tec & Doc, Paris. 613 p.

G

GALLEGOSINFANTE A., ROCHAGUZMAN N., GONZALEZLAREDO R., OCHOA-MARTINEZ L., CORZO N., et BELLOPEREZ L., (2010). Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris L.*). *Food Chemistry*. (119). 1544-1549 p.

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. 2ème édition.250p.

GODON B., (1991). Composition biochimique des céréales: grains d'avoine, blé, maïs orge, seigle, triticale. Ed, TEC & DOC APRIA, Paris. 75 p.

GOUASMI R., et BADAoui N., (2017). *Etude biochimique de l'influence du séchage sur la valeur nutritionnelle de deux variétés de blé dur Algériennes (Bousseleme et Siméto)*, Mémoire de Master, Département de Technologie, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana , Algérie. 8 p

GUINET R., et GODON B., (1994). La panification française. Ed ,Lavoisier, TEC & DOC, Paris. 552 p.

GÜLER S., et KOKSEL H., (2002). Effect of industrial pasta drying temperature on starch properties and pasta quality. Food Research International. 35 (5). 421-427p.

H

HEBRARD D., OULAHNA L., GALET J., FAGES M.F., SAMSON M.H., MOREL J., et ABECASSIS J., (2016). Etude morpho-granulométrique et structurale des semoules de blé dur propriétés d'hydratation et d'agglomération 2(125611) .495 p.

HEBRARD J.P., (1996). Blé dur: objectif qualité, nutrition des pâtes épatantes. Document édité à l'occasion du colloque: perspectives blé dur, Toulouse, Labège, organisé par: ITCF-ONIC-INRA- ITCF. 6-7 p.

HELENE F., (2010). Couscous, boulogr et pelenta : transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed .KARTHALA. 427- 477 p.

HERNANDEZ,J.A.Z.,SANTIVERI,F.,MICHELENA,A., et PENA,R.J.(2004). Durum wheat (*Triticum turgidum* L.) carryng the 1BL/1RS chromosomal translocation: agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy .30 p.

I

ICARD-VERNIERE C., (1999). De la semoule de blé dur aux pâtes alimentaires fraîches: événements physiques et biochimiques. Montpellier: Université Montpellier II. 183p.

I.P.M.E.D, (2017). Institut de Prospective Economique du Monde méditerranéen. Blé dur : De l'organisation des filières à la structuration d'un réseau méditerranéen. (18). 4 p.

I.T.C.F, (2001). Institut Technologique des Céréales et des Fourrages. Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique ITCF. Laboratoire qualité des céréales.

I.T.C.F et O.N.I.C, (1995). Institut Technologique des Céréales et des Fourrages et Office National Interprofessionnel des Céréales. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique. 268 p.

J

JINTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P., et BRULE G., (2006). Science des aliments biochimie, microbiologie, procédés et produits, Ed .Tec et Doc Lavoisier.Paris. volume(1). 381 p.

JINTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P., et BRULE G., (2007). Science des aliments biochimie, microbiologie, procédés et produits, Ed .Tec et Doc Lavoisier, Paris, volume(2),383 p.

JORA, (2007). Journal Officiel de la République Algérienne Les prix à la production et aux différents stades de la distribution des semoules de blé dur,n° 07-402. 8 p.

K

KAAN F., BRANLARD G., CHIHAB B., BORRIES C., et MONNEVEUX P., (1993). Prebreeding and breeding durum wheat germplasm (*Triticum durum Desf.*) for quality products. 30-33 p.

KELLOU R., (2008). *Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité qualité-méditerranéen le cas coopérative sud céréales*, groupe coopératif accitan et Aucoop, Thèse de master en science IAAMM .université de Montpellier. 160 p.

KIGER J.G., (1967). Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de régime. Ed .DUNO, Paris. 676 p.

KIM E.H.J., PETRIE J.R., MOTOI L., MORGENSTERN M.P., SUTTON K.H., et SIMMOND L.D., (2008). Effect of structural characteristics of the protein matrix in pasta on in vitro starch digestibility. Food Biophysics.3(2) .229-234 p.

KUMAR P., YADAVA R.K., GOLLEN B., KUMAR S., VERMA R.K., et YADAV S., (2011). Nutritional Contents and Medicinal Properties of Wheat. Life Sciences and Medicine Research, LSMR-22

L

LAMACCHIA C., DILUCCIA A., BAIANO A., GAMBACORTA G., LAGATTA B., et PATI S., (2007). Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behavior.Journal of cereal science. 46 (1). 58-63p.

LEVY A.A., et FELDMAN M., (2002). The impact of polyploidy on grass genome evolution. Plant Physiol. (130). 1587-1593 p.

LINDEN G. et LORIENT D., (1994). Biochimie agro-industrielle: Valorisation alimentaire de la production agricole. Éd, Masson. 70-80 p.

M

MADANI M., (2009). Qualité technologique de quelques céréales (blé tendre, blé dur, orge et triticale) C/S du laboratoire de technologie de l'ITGC. 20p.

MASTUO R.R., DEXTER J.E., BOUDREAU A., et DAUN J.K., (1986). The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry*. (63). 484-489 p.

MATWEEF M., (1966). Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires. (In French) *Bull. ED .ENSMIC*. 213 p.

MAZOUZ L., (2006). *Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (Triticum durumdes f.) dans l'étage bioclimatique semi-aride*. Mémoire de Magister. Département d'Agronomie. Faculté des Sciences. Université El Hadj Lakhdar Batna, Algérie. 66p.

MELCION J.P., (2000). La granulométrie de l'aliment: principe, mesure et obtention. *INRA Prod.Anim*. Paris.13(2) .81-89p.

MESSAADI H., et SAMAI S., (2016). Etude comparative d es paramètres physico-chimiques, technologiques, rhéologiques et microbiologiques des différentes marques de semoule mises sur le marché de la commune de Tébessa. Mémoire de Master. Spécialité qualité des produits et sécurité alimentaire. Domaine Science de la nature et de la vie. 12 p.

MERCIER S., VILLENEUVE S., MONDOR M., et MARCHAIS L.P., (2011). Evolution of porosity and shrinkage and density of pasta fortified with pea protein concentrate during drying. *LWT Food Science and Technology*. (44). 883-890 p.

MICARD V., ABECCASSIS J., HEMERY Y., LULLIENPELLERIN V., PETITOT M., ROUAU X., (2009). Produits Céréaliers : Influence des procédés sur leurs propriétés nutritionnelles. Montpellier. 3 p.

MOLKHOU P., (2007). Intolérance et allergie au blé, *Journal de pédiatrie et de puériculture*. (20). 228-232p.

MORRISON W.R., (1988). wheat chemistry and technology. Vol I. Pomeranz Y. Ed. AACC. St. Paul. Mn. 373-439p.

M.S.D.A, (2004). Manuel Suisse des Denrées Alimentaires. Céréales, produits de l'industrie meunière, pré-mélanges de farine, farines instantanées :14 Céréales, produits de l'industrie meunière. 1-10 p.

N

Nadiaye D.S.B., (1999). Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux, Coopérative Autrichienne pour le développement. 61p.

NASEHI B., JOOYANDEHH., NASEHI R., (2011). Quality Attributes of Soy-pasta During Storage Period. *Pakistan Journal of Nutrition*. 10(4) .307-312 p.

NIQUE G., et LASSERAN J.C., (1989). Stockage et conservation des grains à la ferme Guides pratiques. 50 p.

O

OUNANE G., CUQ B., ABECASSIS J., YESLI A., et OUNANE S.M., (2006). Effect of physicochemical characteristics and lipid distribution in Algerian durum Wheat Semolina on the technological quality of couscous. *Cereal chem.* (83) .377-384 p.

P

PATRICK J.F., (2006). *Influence des fractions de mouture de blé tendre (farines patente, de coupure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits.* Thèse de doctorat en sciences et Technologie des Aliments. Université Laval-Québec. 293p.

PETITOT M., (2009). *Pâtes alimentaires enrichies en légumineuse. Structuration des constituants au cours du procédé : impact sur la qualité culinaire et les propriétés nutritionnelles des pâtes.* Thèse de doctorat en sciences agronomiques de Montpellier. 246 p.

PETITOT M., BROSSARD CH., BARRON C., LARRÉ C., MOREL M.H., et MICARD V., (2009). Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects of the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry.* (116). 401-412 p.

PETITOT M., BOYER L., MINIER C., et MICARD V., (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International.* (43). 634–641 p.

POMERANZ Y., (1988). Chemical composition of kernel structures. *Wheat : chemistry and technology, I.* 97-158 p.

PORCEDDU E., (1995). Durum wheat quality in the Mediterranean countries. 11-30 p.

POTUS J., (1994). *Les enzymes in la panification françaises.* Ed .Tec et doc Lavoisier .Paris. 300 p.

R

RAFFIO A., PASQUELONE A., SINESI F., PALETTI F., QUAGLIA G., et SIMOINE R., (2003). Influence of durum wheat cultivar on the sensory profile and staling rate of altamura bread. *European food research and technology.* (218). 49-55p.

RENAUDIN C., (1951). La fabrication industrielle de pâtes alimentaires. 2^{ème} édition, Ed. DUNOD. Paris. 406 p.

ROUDAUT H., LEFRANCQ E., (2005). Alimentation théorique, Série science des aliments, centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine. 305 p.

RUEL T., (2006). Document sur la culture du blé, Ed .Educagri. 18p.

S

SALMI M., MERBAH S., (2015). *Etude de la qualité globale de semoules du commerce Algérien.* Mémoire d'Ingeniorat en Agronomie. FAC agro Biologie. Spécialité: Technologie Alimentaire. 47 p.

SCOTTI G., (1997). Analyses physicochimiques, partie I, analyse physiques des grains du blé tendre et du blé dur, chap (5). 76-119 p.

SELMI R., (2000). Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. Revue Afrique Agriculture. (280) .30-23 p.

S.I.F.P.A.F, (2012). Syndicat des Industriels Fabricants de Pâtes Alimentaire de France. Guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP dans l'industrie de la semoulerie de blé dur. (5912). 34-35 p.

Sissons M.J., (2004). Pasta. In C. Wrigley; H. Corke, & C. Walker (Eds.), Encyclopedia of Grain Science. Oxford: Academic Press

SINGH H., et MACRITCHIE F., (2004). Changes in proteins induced by heating gluten dispersions at high temperature. Journal of cereal Science. 39 (2). 297-301 p.

SISSONS M.J., (2008). Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. Food Global Science Books. 2 (2). 75- 90 p.

SISSONS M.J., SOH H.N., et TURNER M.A., (2007). Role of gluten and its components in influencing durum wheat dough properties and spaghetti cooking quality. Journal of the Science of Food and Agriculture. (87)1874-1885 p.

SLAMA A., BENSALÉM M., BENNACEUR M., et ZID E.D., (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT). Université. Elmanar. Tunisie. 62 p.

SRIVASTAVA A.K., SUDHA M.L., BASKRAN V.K., et LEELAVATHI K. (2007). Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. Eur Food Res Technol. Springer-Verlag Edition. (224). 365–372 p.

T

TALEB B., (2017). Fabrication des pâtes alimentaires courtes au niveau de moulin AMOR BEN AMOR. Rapport de stage. 20 p.

TORRES A., FRIAS J., GRANITO M., et VIDAL-VALVERDE C. (2007).

Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation." *Food chemistry*. 101(1). 202-211 p.

TREMOLIERE J., SERVILES Y et ACQOT R., (1984). Manuel d'alimentation humaine tome 2, les aliments. 9^{ème} édition. E.D.E.S.F. Paris. 540 p.

Trentesaux E., (1995). Evaluation de la qualité du blé dur. *In : Di Fonzo N. (ed.) , Kaan F. (ed.) , Nachit M. (ed.) .* Durum wheat quality in the Mediterranean region. *Options Méditerranéennes :Série A. Séminaires Méditerranéens.* (22). 53- 59 p

TUDORIC C.M., KURI U., et BRENNAN C.S., (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 50(2). 347-356p.

TURNBULL K., (2001). Quality assurance in a dry pasta factory, Blackwell Scientific, Oxtord. 181-221 p.

U

UGRINOVITS M., ARRIGONI E., DOSSENBACH A., HÄBERLI G.,

HANICH H., RYCHENER M., THORMANN M., et STALDER U., (2004). Pâtes alimentaires et pâtes alimentaires composées, chapitre 20 (MSDA).1-4 p.

V

VIRLING E., (2003) .Aliment et boisson, Filières et produits, 2^{ème} Edition. Doin .270 p.

VIERLING E., (2003). Aliments et boissons : filières et produits. Série dirigée par GUY Leyral, 2^{ème} édition, France. 270p.

VIRLING V., (2008). Aliments et boissons, filières et produits, Ed. Doin. 277 p.

W

WAGNER M., DELLAVALLE G., ABECASSIS J., BULEON A., LOURDIN D., et MOREL M., ET CUQ B., (2015). Détermination des propriétés rhéologiques de pâtes alimentaires en cours de cuisson. Presented at Poster. Actes du 44^{ème} colloque du Groupe Français de Rhéologie, Strasbourg

WEHRLI H.P., et POMERANZ Y., (1970). A note on the interaction between glycolipid and wheat flour macromolecules. *Cereal Chem.* (47).160-174 p.

WRIGLEY C., BRKES F., et BUSHUK W., (2006). Gliadin and Glutenin: The unique balance of wheat quality (1st Edn), AACC International, MN. 3-32 p.

Y

YVES C., (2011). Biodiversité des céréales Origine et évolution.5 p.

YVES H., et BUYER J., (2000). L'origine des blés. Pour les sciences hors série (26).
60-62 p.

Z

ZARDETTO S., DALLAROSA M., (2005). Study of the effect of lamination process on pasta by physical chemical determination and near infrared spectroscopy analysis. Journal of Food Engineering. 74 (3). 402-409 p.

Webographie

[1] <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>.Date de consultation: 13/05/2019.

[2] <http://www.agrimaroc.ma/la-culture-du-ble-dur-besoins-et-contraintes/>

[3] <http://www.amorbenamor.com/nos-filiales/moulins-amor-benamor> 13-04-2015).

[4] <https://www.perten.com/fr/Produits/Glutomatic/La-methode-Gluten-Index/>

GLOSSAIRE

- ❖ **Antiquité:** (Du latin *antiquitas*, temps très anciens) est l'une des grandes périodes de l'histoire. Elle concerne les pays autour de la mer Méditerranée.
- ❖ **Hébreux :** Appartiennent à un peuple qui a marqué l'histoire de l'humanité. C'est le premier peuple monothéiste de l'humanité.
- ❖ **Croissant fertile :** Désigne les zones géographiques situées au Moyen-Orient caractérisées par la fertilité de leurs terrains, qui forment sur la carte un croissant s'étendant de la Mésopotamie jusqu'au Nil.
- ❖ **Mésopotamie :** Signifie (terre entre deux fleuves) et se trouve dans le pays de Sumer entre le Tigre et l'Euphrate.
- ❖ **Indéhiscence :** (En parlant d'un fruit ou d'une de ses parties) qui ne s'ouvre pas naturellement à la maturité et que la radicle est obligée de rompre à la germination des graines.
- ❖ **Colloïdes :** Est la suspension d'une ou plusieurs substances, dispersées régulièrement dans une autre substance, formant un système à deux phases séparées.
- ❖ **Aérodynamiques :** Est l'étude des forces exercées par l'air sur un objet.
- ❖ **Moteur excentrique :** Le moteur est alimenté par une source de tension réglable ce qui permet de faire varier sa vitesse de rotation.
- ❖ **Grumeaux :** Petite masse coagulée (dans un liquide, une pâte).
- ❖ **Biréfringence :** Propriété qu'on certains corps transparents de diviser en deux le rayon lumineux qui les pénètre.
- ❖ **Masticabilité :** Relatif à la texturométrie, mesure de la texture des produits alimentaires, analysant l'adhésion, la masticabilité, la cohésion, la fermeté, la friabilité, la dureté, l'élasticité et la viscosité.
- ❖ **Aldente :** Traduction française du terme italien *aldente* est (à la dent), sous-entendu qui soit ferme sous la dent.
- ❖ **AFNOR NF 03-721 :** Méthode de détermination du taux d'affleurement des semoules de blé dur. Il s'applique aux échantillons de semoule de blé dur obtenue uniquement par mouture sans agglomération ultérieure ayant une teneur en eau supérieure à 10%.
- ❖ **AFNOR NFV 03-707 :** Méthode de référence pratique pour la détermination de la teneur en eau dans les céréales et les produits céréaliers, à l'état de grain, grain broyés, semoule ou farine.

❖ **Essais** : (Echantillon) opération par laquelle on s'assure des qualités, des propriétés ou de la manière d'utiliser.

Annexe 01

Tableau 01 : Résultat d'analyse de l'humidité et la couleur des matières premières.

Essais	Humidité	Les indices de couleur		
		a*	b*	l*
100% SEF	14,3	1,75	32,9	82,41
90%SEF;10%3SF	14,29	1,94	31,50	82,93
70%SEF;30%3SF	14,12	2,06	29,20	84,27
50%SEF;50%3SF	14,27	2,14	27,31	85,31
100%3SE	14,22	-3,32	37,54	84,83
90%3SE;10%3SF	14,04	-3,20	35,13	85,01
70%3SE;30%3SF	14,19	-2,88	31,09	85,61
50%3SE;50%3SF	14,09	-2,71	28,36	86,35

Tableau 02 : Résultat d'analyse des taux en gluten de chaque essai

Les essais %	Passant %	Gluten humide %	Gluten index%	Gluten sec%
100% SEF	1,94	58,2	66	17,7
90%SEF;10%3SF	1,09	46,9	76	15,6
70%SEF;30%3SF	0,88	44,5	80	14,7
50%SEF;50%3SF	0,59	43,4	86	14,4
100%3SE	0,70	46,3	82	16,2
90%3SE;10%3SF	0,60	43,5	82	15,5
70%3SE;30%3SF	0,66	41,4	84	14,8
50%3SE;50%3SF	0,62	40	86	14,1

Tableau 03 : Poids des pâtes au cours de la fabrication et après le séchage.

Les essais	Date de fabrication	Poids de la pate à fabriqué (g)	Poids des déchets de la pate fabriqué(g)	Poids de la pate après le séchage (g)
100% SEF	09/04/2019	1050g	380g	646g
90%SEF;10%3SF	10/04/20119	1110g	300g	711g
70%SEF;30%3SF	10/04/20119	1203g	297g	687g
50%SEF;50%3SF	11/04/2019	1253g	247g	735g
100%3SE	14/04/2019	1274g	226g	802g
90%3SE;10%3SF	14/04/2019	1282g	218g	765g
70%3SE;30%3SF	15/04/2019	1133g	367g	713g
50%3SE;50%3SF	15/04/2019	1168g	332g	676g

Tableau 04 : Résultat d'analyse du l'humidité et la couleur de produit fini

Les essais	Humidité	Les indices de couleur		
		a*	b*	l*
100 %SEF	12,49	0,9	29,66	74,3
90 % SEF ; 10% 3SF	12,9	0,82	28,98	75,05
70 % SEF ; 30% 3SF	12,78	0,89	30,1	73,75
50% SEF ; 50% 3SF	11,3	1,01	29,25	73,32
100 % 3SE	11,27	-1,24	32 ,67	79,07
90 % 3SE ; 10% 3SF	11,4	-1,03	32	78,86
70% 3SE ; 30% 3SF	11,34	-0,28	32,71	75,95
50% 3SE ; 50%3SE	12,02	-0,13	32,49	74,64

Tableau 05 : Résultat de calcule d'indice de gonflement.

Les essais	Poids de la pâte cuite (g)	l'indice de gonflement (IG) (%)
100 %SEF	237	1,37
90 % SEF ; 10% 3SF	241	1,41
70 % SEF ; 30% 3SF	244	1,44
50% SEF ; 50% 3SF	260	1,6
100 % 3SE	258	1,58
90 % 3SE ; 10% 3SF	260	1,6
70% 3SE ; 30% 3SF	260	1,6
50% 3SE ; 50%3SE	261	1,61

Annexe 02

NORME CODEX POUR LA SEMOULE ET LA FARINE DE BLÉ DUR

CODEX STAN 178-1991

1. CHAMP D'APPLICATION

1.1 La présente norme s'applique à la semoule de blé dur, y compris la semoule complète de blé dur et la farine de blé dur destinées à la consommation humaine directe, dérivées du blé dur (*Triticum durum*Desf.), préemballées et prêtes à la vente au consommateur ou destinées à un emploi dans d'autres produits alimentaires.

1.2 Elle ne s'applique pas:

- à des produits préparés à partir de blé ordinaire (*Triticum aestivum*L), de blé ramifié (*Triticum compactum*Host) ou de mélanges de ces derniers, ou de mélanges de ces blés avec du blé dur (*Triticum durum*Desf)
- à la farine ou semoule de blé dur destinés à un emploi industriel non alimentaire ou à des aliments pour animaux.

2. DESCRIPTION

Définition du produit : La semoule de blé dur et la farine de blé dur sont les produits obtenus à partir des grains de blé dur (*Triticum durum*Desf) par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés, le reste étant 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.

3. FACTEURS ESSENTIELS DE COMPOSITION ET DE QUALITÉ

3.1 Facteurs de qualité – critères généraux

3.1.1 La semoule de blé dur et la farine de blé dur, ainsi que tous produits nutritifs leur étant ajoutés, doivent être sains et propres à la consommation humaine.

3.1.2 La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être exemptes d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants.

3.1.3 La semoule de blé dur et la farine de blé dur devront être exemptes de souillures (impuretés d'origine animale y compris les insectes morts) en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine.

3.2 Facteurs de qualité – critères spécifiques

3.2.1 Teneur en eau 14,5 % m/m maximum

Une teneur moindre en eau peut être exigée pour certaines destinations, compte tenu du climat, de la durée du transport et de celle du stockage. Les gouvernements acceptant la norme sont priés d'indiquer et de justifier les critères applicables dans leur pays.

4. CONTAMINANTS

4.1 Métaux lourds : La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être exemptes de métaux lourds en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

4.2 Résidus de pesticides : La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être conformes aux limites maximales de résidus fixées par la Commission du Codex Alimentarius pour ce produit.

4.3 Mycotoxines : La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être conformes aux limites maximales de mycotoxines fixées par la Commission du Codex Alimentarius pour ce produit.

5. HYGIÈNE

5.1 Il est recommandé que le produit visé par les dispositions de la présente norme soit préparé et manipulé conformément aux sections appropriées du Code d'usages international recommandé Principes généraux d'hygiène alimentaire(CAC/RCP 1-1969) et des autres Codes d'usages recommandés par la Commission du Codex Alimentarius applicables à ce produit.

5.2 Dans la mesure où le permettent les bonnes pratiques de fabrication, le produit doit être exempt de matières indésirables.

5.3 Lorsqu'il est soumis à des méthodes appropriées d'échantillonnage et d'examen, le produit doit être:

- exempt de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé;
- exempt de parasites susceptibles de présenter un risque pour la santé;
- exempt de substances provenant de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

6. CONDITIONNEMENT

6.1 La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être emballées dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit.

6.2 Les récipients, y compris les matériaux d'emballage, doivent être fabriqués avec des matériaux sans danger et convenant à l'usage auquel ils sont destinés. Ils ne doivent transmettre au produit aucune substance toxique, ni aucune odeur ou saveur indésirable.

6.3 Lorsque le produit est emballé dans des sacs, ceux-ci doivent être propres, robustes et solidement cousus ou scellés.

7. ÉTIQUETAGE

Outre les dispositions de la Norme générale Codex pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées (CODEX STAN 1-1985), les dispositions spécifiques ci-après sont applicables:

7.1 Nom du produit : Le nom du produit déclaré sur l'étiquette doit être «semoule de blé dur», «semoule complète de blé dur» ou «farine de blé dur».

7.2 Étiquetage des récipients non destinés à la vente au détail : Les renseignements sur les récipients non destinés à la vente au détail doivent figurer soit sur le récipient, soit dans les documents d'accompagnement, exception faite du nom du produit, de l'identification du lot et du nom et de l'adresse du fabricant ou de l'emballer qui doivent figurer sur le récipient. Cependant, l'identification du lot et le nom et l'adresse du fabricant ou de l'emballer peuvent être remplacés par une

marque d'identification, à condition que cette marque puisse être clairement identifiée à l'aide des documents d'accompagnement.

NORME CODEX POUR LA SEMOULE ET LA FARINE DE BLÉ DUR

CODEX STAN178-1991 (REV. 1-1995))

1. Champ d'application

1.1. La présente norme s'applique à la semoule de blé dur, y compris la semoule complète de blé dur et la farine de blé dur destinées à la consommation humaine directe, dérivées du blé dur (*Triticum durum* Desf.), préemballées et prêtes à la vente au consommateur ou destinées à un emploi dans d'autres produits alimentaires.

1.2. Elle ne s'applique pas:

- à des produits préparés à partir de blé ordinaire (*Triticum aestivum* L.), de blé ramifié (*Triticum compactum* Host.) ou de mélanges de ces derniers, ou de mélanges de ces blés avec du blé dur (*Triticum durum* Desf.)
- à la farine ou semoule de blé dur destinés à un emploi industriel non alimentaire ou à des aliments pour animaux.

2. Description

Définition du produit : La semoule de blé dur et la farine de blé dur sont les produits obtenus à partir des grains de blé dur (*Triticum durum* Desf.) par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés, le reste étant 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.

3. Facteurs essentiels de composition et de qualité

3.1 Facteurs de qualité – critères généraux

3.1.1 La semoule de blé dur et la farine de blé dur, ainsi que tous produits nutritifs leur étant ajoutés, doivent être sains et propres à la consommation humaine.

3.1.2 La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être exemptes d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants.

3.1.3 La semoule de blé dur et la farine de blé dur devront être exemptes de souillures (impuretés d'origine animale y compris les insectes morts) en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine.

3.2 Facteurs de qualité – critères spécifiques

Teneur en eau 14,5 % m/m maximum

Une teneur moindre en eau peut être exigée pour certaines destinations, compte tenu du climat, de la durée du transport et de celle du stockage. Les gouvernements acceptant la norme sont priés d'indiquer et de justifier les critères applicables dans leur pays.

4. Contaminants

4.1 Métaux lourds : La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être exemptes de métaux lourds en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

4.2 Résidus de pesticides : La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être conformes aux limites maximales de résidus fixées par la Commission du Codex Alimentarius pour ce produit.

4.3 Mycotoxines : La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être conformes aux limites maximales de mycotoxines fixées par la Commission du Codex Alimentarius pour ce produit.

5. Hygiène

5.1 Il est recommandé que le produit visé par les dispositions de la présente norme soit préparé et manipulé conformément aux sections appropriées du Code

d'usages international recommandé .Principes généraux d'hygiène alimentaire (CAC/RCP 1-1969) et des autres Codes d'usages recommandés par la Commission du Codex Alimentarius applicables à ce produit.

5.2 Dans la mesure où le permettent les bonnes pratiques de fabrication, le produit doit être exempt de matières indésirables.

5.3 Lorsqu'il est soumis à des méthodes appropriées d'échantillonnage et d'examen, le produit doit être:

- exempt de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé;
- exempt de parasites susceptibles de présenter un risque pour la santé;
- exempt de substances provenant de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

6. Conditionnement

6.1 La semoule de blé dur et la farine de blé dur doivent être emballées dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit. Les récipients, y compris les matériaux d'emballage, doivent être fabriqués avec des matériaux sans danger et convenant à l'usage auquel ils sont destinés. Ils ne doivent transmettre au produit aucune substance toxique, ni aucune odeur ou saveur indésirable.

6.3 Lorsque le produit est emballé dans des sacs, ceux-ci doivent être propres, robustes et solidement cousus ou scellés.

7. Etiquetage

Outre les dispositions de la Norme générale Codex pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées (CODEX STAN 1-1985), les dispositions spécifiques ci-après sont applicables:

7.1 Nom du produit : Le nom du produit déclaré sur l'étiquette doit être «semoule de blé dur», «semoule complète de blé dur» ou «farine de blé dur».

7.2 Étiquetage des récipients non destinés à la vente au détail : Les renseignements sur les récipients non destinés à la vente au détail doivent figurer soit sur le récipient, soit dans les documents d'accompagnement, exception faite du nom du produit, de l'identification du lot et du nom et de l'adresse du fabricant ou de l'emballleur qui doivent figurer sur le récipient. Cependant, l'identification du lot et le nom et l'adresse du fabricant ou de l'emballleur peuvent être remplacés par une marque d'identification, à condition que cette marque puisse être clairement identifiée à l'aide des documents d'accompagnement

Remarque: Pour les normes de la pâte alimentaire "Rechta" qui est utilisé dans notre travail sont restées confidentielle pour l'administration du Moulins Amor Benamor et n'ont pas voulu nous les donner.