



République algérienne démocratique et populaire



Ministère de l'éducation supérieure de la recherche scientifique

Université de Saad Dahleb_Blida1

Faculté de sciences de la vie et de la nature

Département des sciences alimentaires

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention Du diplôme de Master

Spécialité : Agro-alimentaire et contrôle de la qualité

Filière : Science Alimentaire

Domaine : Science de la Nature et de la vie

Thème

Essai d'élaboration d'un pain aux légumineuses « cas de Lupin blanc »

Réalisé par

DAHOU Selma et MERARBI Amira

Devant le jury :

Président	Dr. BENLEMMANE. S	MCB à l'Université Blida 1
Examineur	Dr. REBZANI F.	MCB à l'Université Blida 1
Promoteur	Dr. BOUGHERRA. F	MCB à l'Université Blida 1

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

On tient tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de mettre dans notre chemin des gens généreux et serviables, de nous enlever tous les obstacles et de nous donner le courage, la santé et la volonté pour réaliser ce travail.

ELHAMDOU LILLAH

*Nos sincères remerciements vont premièrement à notre promoteur Mr **BOUGHERRA.F**, pour sa grande disponibilité, son rigueur et pour l'esprit d'entraide, pour son soutien moral qui nous a permis de bien mener ce travail, son précieux conseils et pour son patience lors de la correction du manuscrit et une pédagogie exemplaire.*

*Nos vifs remerciements à Madame **BENLEMMANE.S** pour avoir accepté de présider notre jury, et à Madame **REBZANI** d'accepter d'examiner et de faire partie de notre jury.*

On s'exprime nos profonds remerciements à :

*Monsieur **YAGOUB.M** chef de production de l'entreprise SOPI, toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude et le respect pour son soutien moral, son encouragement et sa présence toute au long de ce travail. Mme **BOUHAZEM.N** chef de laboratoire et Mme **MOKDAD.M** responsable de laboratoire pour aide, conseils et tout le temps qu'elles nous ont consacré. Et à tous le corps administratif de groupe SOPI.*

*Madame **MADANI.M** chef de service de laboratoire de l'ITGC pour son accueil et son aide dans la réalisation des analyses, et tous les membres de l'institut.*

Tous les membres de l'ESSAIA.

*La boulangerie « **KAHIA** » pour les essais de panification.*

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes qui de loin ou de près ont contribué à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce travail:

A ma chère mère, SAIDA ,que je ne cesse de remercier pour tout ce qu'elle m'a donné, Elle m'a supporté 9 mois dans son ventre et a fait de moi la femme que je suis aujourd'hui, Que dieu la récompense pour tous ces bienfaits .

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect: Mon cher papa, Monsieur MERARBI MOHAMED, qui a toujours cru en moi et qui a été à mes côtés pour me soutenir et m'encourage dans les bas comme dans les haut.

A ma très chère cousine KHAOULA, qui a quitté ce monde, mais elle restera toujours dans mon cœur « اللهم ارحمها برحمتك الواسعة ».

A mon chère frère RAYAN et ma chère sœur MARIA pour leur amour, leur soutien moral et leur encouragement permanent.

A ma chère copine ROUAYA et ma très chère cousine KHADIDJA, qui n'ont cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité.

A toute ma famille paternelle et maternelle.

Sans oublier, à mon binôme SELMA pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

A tous les amis d'études promotion contrôle de qualité et à tous ceux que j'aime et m'aiment.

Amira





Dédicace

Arrivé au terme de mes études par la grâce de dieu.

*J'ai le grand honneur de dédier modestement le fruit de mes
longues années d'études tout d'abord :*

*A mes très chers parents, pour tout l'amour qu'ils m'ont
réservé et les sacrifices qu'ils m'ont consentis pour mon
éducation et la réussite de ma formation. Aucune dédicace ne
pourrait exprimer, à leur juste valeur, ma reconnaissance et
mon amour. Qu'ALLAH les garde pour moi sains et saufs.*

A ma sœur Yasmine, pour leur soutien et leur amour

A mon grand-père et ma grand-mère

*A mes chères tantes et mes oncles pour son soutien moral et
ses encouragements*

Et toute la famille maternelle et paternelle

A mes chères amies : Nesrine, Loubna et Camélia

*A mon binôme Amira, pour son soutien moral, sa patience et
sa compréhension tout au long de ce projet et à toute sa
famille*

*A tous la promotion agro-alimentaire et contrôle de qualité et
à tous ceux que j'aime et m'aiment.*

Selma



Résumé

Les légumineuses ont des propriétés nutritionnelles intéressantes et leur inclusion dans l'alimentation est encouragée, leur incorporation dans les produits de boulangerie pourrait être une bonne méthode pour augmenter la consommation. C'est dans cette optique que se situe le présent travail qui a pour objectif de formuler un nouveau pain en remplaçant partiellement la farine de blé par la farine de lupin blanc (5, 10, 15 et 20%), des analyses physico-chimiques, biochimiques et technologiques ainsi qu'un test dégustation ont été effectuées pour déterminer l'influence de cette incorporation sur la qualité de pain.

D'après les résultats obtenus, la qualité technologique a été modifiée dans les farines incorporées par rapport à celle de farine témoin. Ces dernières présentent des niveaux plus élevés d'humidité, de cendres, de protéines et de matières grasses que la farine de blé, alors que c'est le contraire par rapport aux glucides. A l'échelle organoleptique, un bon pain a été obtenu dans les quatre taux d'incorporation.

En fin, la farine de lupin blanc jusqu'à 20% peut être utilisée avec succès dans les produits de boulangerie. Cela pourrait être utilisé pour le développement de mélanges composites à partir de lupin blanc.

Mots clés : Lupin blanc, Blé tendre, Farine incorporée, Pain.

Abstract

Legumes have interesting nutritional properties and their inclusion in the diet is encouraged, their incorporation in bakery products could be a good method to increase consumption. In this sense, the present work aims to formulate a new bread by partially replacing wheat flour with white lupin flour (5, 10, 15 and 20%). Physicochemical, biochemical and technological analyses and a taste test were carried out to determine the influence of this incorporation on bread quality.

According to the results obtained, the technological quality was modified in the incorporated flours compared to the control flour. The latter had higher levels of moisture, ash, protein and fat than the wheat flour, while the opposite was true for carbohydrates. On the organoleptic scale, a good bread was obtained in all four incorporation rates.

Finally, white lupin flour up to 20% can be used successfully in bakery products. This could be used for the development of composite mixtures from white lupin.

Key words: white lupin, soft wheat, incorporated flour, bread.

Table des Matières

Remerciements	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des Annexes	
Liste des abréviations	
Introduction.....	01

Partie bibliographique

Chapitre I : Le lupin blanc

1.1.Historique.....	03
1.2.Variétés de lupin.....	03
1.3.La culture du lupin.....	04
1.4.La production mondiale de lupin.....	05
1.5.Lupin en Algérie.....	06
1.6. <i>Lupinus albus</i>	06
1.6.1. Définition et classification botanique.....	06
1.6.2. La valeur nutritionnelle de <i>Lupinus albus</i>	07
1.6.3. Facteurs antinutritionnels.....	13
1.6.4. Utilisation de lupin blanc.....	13
1.6.4.1.Engrais verts et culture de couverture.....	13
1.6.4.2.Alimentation animale.....	14
1.6.4.3.Alimentation humaine.....	14
1.6.5. La farine de lupin.....	15
1.6.6. Effet thérapeutique.....	15
1.6.6.1.Effet sur le cholestérol.....	15
1.6.6.2.Effet sur le diabète.....	16
1.6.6.3.Effet sur l'hypertension.....	16
1.6.6.4.Effet sur les maladies cardiovasculaires.....	16

Chapitre II : Blé tendre

2.1.Blé tendre.....	17
2.1.1. Généralité.....	17
2.1.2. Définition du blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>).....	18
2.1.3. Morphologie.....	18
2.1.4. Composition histologique et chimique de grain de blé.....	19
2.1.5. Technologie de transformation du blé.....	20
2.2.La farine.....	24

2.2.1. Définition.....	24
2.2.2. Composition biochimique de la farine.....	24
2.2.3. Caractéristiques physico-chimiques.....	26
2.2.4. Caractéristiques physiques.....	27
2.2.5. Caractéristiques rhéologiques.....	27
2.2.6. Les types de farine.....	28

Chapitre III : Panification

3.1.Définition de pain de consommation courante.....	29
3.2.Les ingrédients de base de pain.....	29
3.2.1. La farine.....	29
3.2.2. L'eau.....	29
3.2.3. Le sel.....	29
3.2.4. La levure.....	30
3.3.Les étapes de panification.....	30
3.3.1. Pétrissage.....	30
3.3.2. Pointage.....	31
3.3.3. Boulage et détente.....	31
3.3.4. Le façonnage.....	31
3.3.5. Incision superficielle des pâtons.....	32
3.3.6. L'apprêt.....	32
3.3.7. Cuisson.....	32
3.4.La valeur boulangère.....	33
3.5.La valeur nutritionnelle du pain courant.....	33
3.6.Consommation de pain en Algérie.....	33

Partie expérimentale

Chapitre VI : Matériels et méthodes

4.1.L'objectif du travail.....	34
4.2.Lieu de stage.....	34
4.3.Matériel végétal.....	34
4.3.1. Farine panifiable.....	34
4.3.2. Farine de lupin blanc.....	34
4.3.2.1.Transformation des graines.....	34
4.3.3. Protocole d'incorporation.....	34
4.3.4. Stockage et conservation.....	35
4.4.Méthodes d'analyses.....	35
4.4.1. Les analyses physico-chimiques.....	35
4.4.1.1.Taux d'humidité.....	35
4.4.1.2.Taux de cendre.....	36
4.4.2. Les analyses biochimiques.....	36
4.4.2.1.Teneur en gluten.....	36
a. Gluten humide.....	37
b. Gluten sec.....	38
4.4.2.2.Teneur en protéines.....	38
4.4.2.3.Teneur en lipides.....	40
4.4.2.4.Teneur en glucides.....	40
4.4.3. Les analyses technologiques.....	41
4.4.3.1.Indice de chute selon HAGBERG-PERTEN.....	41

4.4.3.2. Taux d'affleurement.....	42
4.4.3.3. Essai d'alvéographe Chopin.....	42
4.4.3.4. Test de Zeleny.....	44
4.5. Test de panification.....	44
4.6. Test de dégustation.....	45

Chapitre V : Résultats et discussions

5.1. Les résultats des analyses physico-chimiques.....	46
5.1.1. Taux d'humidité.....	46
5.1.2. Taux de cendre.....	47
5.2. Les résultats des analyses biochimiques.....	47
5.2.1. Teneur en gluten.....	47
a. Teneur en gluten humide.....	48
b. Teneur en gluten sec.....	49
5.2.2. Teneur en protéines.....	49
5.2.3. Teneur en lipides.....	51
5.2.4. Teneur en glucides.....	51
5.3. Les résultats des analyses technologiques.....	52
5.3.1. Indice de chute.....	52
5.3.2. Taux d'affleurement.....	53
5.3.3. Test d'alvéographe Chopin.....	54
5.3.4. Teste de Zeleny.....	56
5.4. Teste de panification.....	57
5.5. Test de dégustation.....	57
Conclusion.....	61
Les références bibliographiques.....	63
Les annexes.....	71

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau 01 : Le rendement de lupin d'hiver et lupin de printemps	05
Tableau 02 : Classification de <i>lupinus albus</i>	07
Tableau 03 : La nomenclature des protéines classées en fonction de coefficient de sédimentation	08
Tableau 04 : Profils d'acides aminés de lupin blanc (en g / 100 g de protéines), comparés au profil de la viande de bœuf et aux recommandations de l'OMS.	10
Tableau 05 : Composition nutritionnelle de la graine de <i>Lupinus albus</i> (dans 100 g).	12
Tableau 06 : Activité antitrypsine et hémagglutinante de quelques farines de légumineuses	13
Tableau 07 : Composition chimique du grain de blé	19
Tableau 08 : les spécifications techniques de la farine de blé tendre en matière de qualité physique	27
Tableau 09 : Différents types de farine de blé tendre en fonction du taux de cendres et du taux d'extraction	28
Tableau 10 : Taux d'incorporation des différents échantillons.	35

Liste des figures

Figure	Page
Figure 01 : A : <i>Lupinus albus</i> B : <i>Lupinus angusti-folius</i> C : <i>Lupinus luteus</i> .	04
Figure 02 : La production mondiale de lupin.	05
Figure 03 : <i>Lupinus albus</i> . (A) plante avec feuilles, fleurs blanches, (B) les graines.	06
Figure 04 : La structure globulaire de Globuline 11-12S (A) et Globuline 7S (B).	08
Figure 05 : Comparaison de la composition nutritionnelle (g / 100 g) de Lupin blanc et de la viande de bœuf.	09
Figure 06 : Les étapes d'obtention de farine du lupin.	15
Figure 07 : Utilisation de blé.	17
Figure 08 : Structure du grain de blé.	18
Figure 09 : Fonctionnement d'un moulin (réception, nettoyage, mouture et expédition).	21
Figure 10 : Diagramme de mouture du blé tendre.	23
Figure 11 : formation du réseau du gluten durant le pétrissage.	31
Figure 12 : Taux d'humidité des différents types de farines.	46
Figure 13 : Taux de cendre des différents types de farines.	47
Figure 14 : Teneur en gluten humide des différents types de farines	48
Figure 15 : Teneur en gluten sec des différents types de farines.	48
Figure 16 : Teneur en protéines des différents types de farines.	49
Figure 17 : Teneur en lipides des différents types de farines.	50
Figure 18 : Teneur en glucides des différents types de farines.	50
Figure 19 : Indice de chute des différents types de farines.	51
Figure 20 : Taux d'affleurement des différents types de farines.	52
Figure 21 : Travail de déformation (W) des différents types de farines.	53
Figure 22 : Gonflement de la pâte des différents types de farine.	54
Figure 23 : Rapport de configuration (P/L) des différents types de farine.	54
Figure 24 : Indice de Zeleny des différents types de farines.	55
Figure 25 : L'aspect des différents types de pains.	56
Figure 26 : La texture des différents types de pains.	57
Figure 27 : L'odeur des différents types de pains.	58
Figure 28 : La saveur des différents types de pains.	58
Figure 29 : La couleur de la croûte des différents types de pains.	59
Figure 30 : Le pain préféré des dégustateurs.	59

Liste des annexes

Annexe	Page
Annexe 01 : Photos originales de la préparation de matière première	71
Annexe 02 : Photos originales de la détermination de taux d'humidité	72
Annexe 03 : Photos originales de la détermination du taux de cendre	72
Annexe 04 : Photos originales de la détermination de la teneur en gluten	73
Annexe 05 : Photos originales de la détermination de teneur en protéines (méthode kjeldahl)	74
Annexe 06 : Photos originales de la détermination de teneur en lipides (méthode de soxhlet)	75
Annexe 07 : Photos d'alvéographe Chopin	76
Annexe 08 : Photos originales de test de Zeleny	76
Annexe 09 : Photos originales des étapes de panification	77
Annexe 10 : La fiche de dégustation	80
Annexe 11 : Alvéolage de la mie (l'aspect)	81

Liste des abréviations

AAE : Acide aminé essentiel

CEP : Coefficient d'efficacité protéique

FAO : l'Organisation de l'alimentation et l'agriculture

FLB: Farine de lupin blanc

FP: Farine panifiable

Ha : Hectare

ml : Millilitre

OMS: L'Organisation mondiale de la Santé

P/L : le rapport ténacité/extensibilité

W: La force boulangère

WASH: World Action on Salt & Health

Introduction

Introduction

Le pain, le blé et le boulanger : c'est une histoire presque aussi vieille que le monde. À l'origine, il y a le besoin de vivre et survivre en se nourrissant. De ce besoin est née l'élaboration des aliments. C'est une histoire simple, car, quoi de plus facile en effet que de fabriquer du pain, puisqu'il suffit de céréales et d'eau. Or ces matières premières se trouvent aujourd'hui presque partout dans le monde.

La consommation de pain a nettement augmenté en Algérie, précisant que, d'après les statistiques du FAO, l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, en collaboration avec la Fédération mondiale des boulangers, les Algériens consomment 48 600 000 pains chaque jour, occupant de ce fait, le premier rang des consommateurs de pain dans le monde (**Fedala N Et Al, 2015**). Alors la question qui se pose, ce pain contient-il les ingrédients de base et les éléments nutritionnels essentiels pour répondre aux besoins du corps humain?

Selon une étude, menée par l'organisation World Action on Salt & Health (WASH), en partenariat avec l'Université de Toronto, au Canada, le pain blanc contient généralement beaucoup trop de sel. Il est aussi réalisé avec les farines les plus pauvres du marché, on parle alors de calories "vides", qui n'apportent aucun de nutriments au corps. Il contient également du gluten, à l'origine de nombreuses maladies, et beaucoup de sucre (glucides), dont la trop importante consommation peut entraîner un surpoids ou une addiction. Enfin, cet aliment a un indice glycémique trop élevé, c'est-à-dire qu'il augmente la concentration de glucose dans le sang (**Marry L'abbe, 2016**).

D'après ces recherches, ils ont constaté que le pain blanc courant n'est pas le meilleur pour la santé et l'organisme humain. Ils ont suggérés de le remplacer par des nouveaux pains spéciaux à base des nouvelles farines riche en protéines, fibres, vitamines, éléments minéraux et aussi avec un indice glycémique bas.

Les légumineuses à grains, sont essentielles à l'alimentation humaine dans de nombreuses régions du monde (**Roy F et al, 2010**). Les légumineuses sont uniques pour une alimentation humaine en termes de profil nutritionnel. Ils sont riches en protéines, glucides, fibres alimentaires, certains minéraux et vitamines et ils sont également faibles en gras (**Iqbal A Et Al. 2006**), (**Rochfort S Et Al.2007**) (**Tosh Sm Et Al.2010**)

Les protéines de légumineuses, en raison de leurs compositions, sont considérées comme un bon complément aux aliments à base de céréales, car les protéines de légumineuses et de céréales sont complémentaires en ce qui concerne leurs acides aminés essentiels. Les protéines de légumineuses sont riches en lysine et déficientes en acides aminés soufrés, tandis que les protéines de céréales sont déficientes en lysine, mais contiennent des quantités adéquates d'acides aminés soufrés (**EGGUM BO ET AL,1983**).En plus d'être nutritives, les protéines de légumineuses sont hautement fonctionnelles et présentent des propriétés telles que la solubilité, la gélification et la liaison à l'eau, jouant un rôle crucial dans la formation de la structure et la sensation en bouche des produits finis. Parmi les légumineuses testées en tant qu'agents d'enrichissement protéique des produits de boulangerie, sous la forme de diverses préparations protéiques (par exemple, farine, isolat de protéines, etc.), figurent le soja, le pois chiche, le pois et le lupin (**Gomez M Et Al, 2008**) (**Doxastakis G Et Al, 2002**) (**Kiosseoglou**

Introduction

V Et Al, 2011) (Paraskevopoulou A Et Al, 2010) (Ribotta Et Al, 2005) (Sadowska J Et Al, 2003).

La farine de lupin est un nouvel ingrédient alimentaire dérivé de l'endosperme du lupin, une légumineuse à grains. Il contient 40 à 45 % de protéines, 25 à 30 % de fibres, ainsi que du sucre et de l'amidon négligeables (Evans Aj Et Al, 1993). Il peut être incorporé dans les aliments riches en glucides, ce qui entraîne une augmentation significative des protéines et des fibres, une réduction des glucides raffinés et peu de changement dans l'acceptabilité du produit (Lee Yp Et Al, 2006).

Le but de ce travail était de déterminer l'effet du remplacement partiel de la farine de blé par de la farine de lupin blanc sur la qualité des pains.

Partie

bibliographique

Chapitre I

Le lupin blanc

Chapitre I : Le lupin blanc

Le lupin blanc « *Lupinus albus* » est l'une des plus anciennes cultures agricoles largement utilisées dans le monde. Le lupin est une plante précieuse sur le plan économique et agricole (Sujak Et Al., 2006) (Gulewicz Et Al., 2008). Ses graines sont employées comme source de protéines de l'alimentation humaine et animale dans diverses parties du monde, non seulement pour leur valeur nutritive, mais aussi pour leur capacité d'adaptation à des climats et des sols marginaux. La consommation humaine de lupin a augmenté ces dernières années (De Cortes Sanchez Et Al., 2005).

1.1. Historique

Les anciens Grecs se sont référés appeler lupin comme « Thermes » alors qu'il est appelé «Turmus » dans la plupart des pays arabes et l'Inde, la plante est nommée « Termiye » ou «Acibakla » en Turquie(Yorgancilar Et Al.,2009).

Le lupin blanc est originaire du sud-est de l'Europe et de l'Asie occidentale ou des types sauvages sont encore présents. Sa culture est connue depuis l'antiquité en Grèce, en Italie et en Egypte. Dans nos jours, c'est un légume sec secondaire cultivé au tour de la méditerranée et la mer noir, dans la vallée de Nil jusqu'au Soudan et Ethiopie (Faluyi M A, 2000).

1.2. Variétés de lupin

Trois espèces de lupin doux peuvent être cultivées. Elles ont des noms de couleur qui ne correspondent pas forcément à celles de leurs fleurs.

- Le lupin blanc (*Lupinus albus*) a des fleurs blanches ou bleues (figure 01 A). Il est à maturité tardive.
- Le lupin bleu ou lupin à feuilles étroites (*Lupinus angusti-folius*) à des fleurs blanches, bleues ou roses et ses graines sont plus petites, presque rondes, et blanches ou mouchetées de brun (figure 01 B). Il est à maturité précoce. Il est cultivé à grande échelle en Australie et à petite échelle dans quelques pays d'Europe du Nord, en Allemagne principalement (Terres Inovia, 2019).
- Le lupin jaune (*Lupinus luteus*) est à fleurs jaunes (figure 01 C). Il est cultivé à petite échelle pour ses graines dans quelques pays d'Europe de l'Est, et à plus grande échelle

comme fourrage ou engrais vert. Ses fleurs sont d'un beau jaune vif et ses petites graines rondes sont mouchetées de brun et peuvent se confondre avec celles des lupins à feuilles étroites (**Terres Inovia, 2019**).

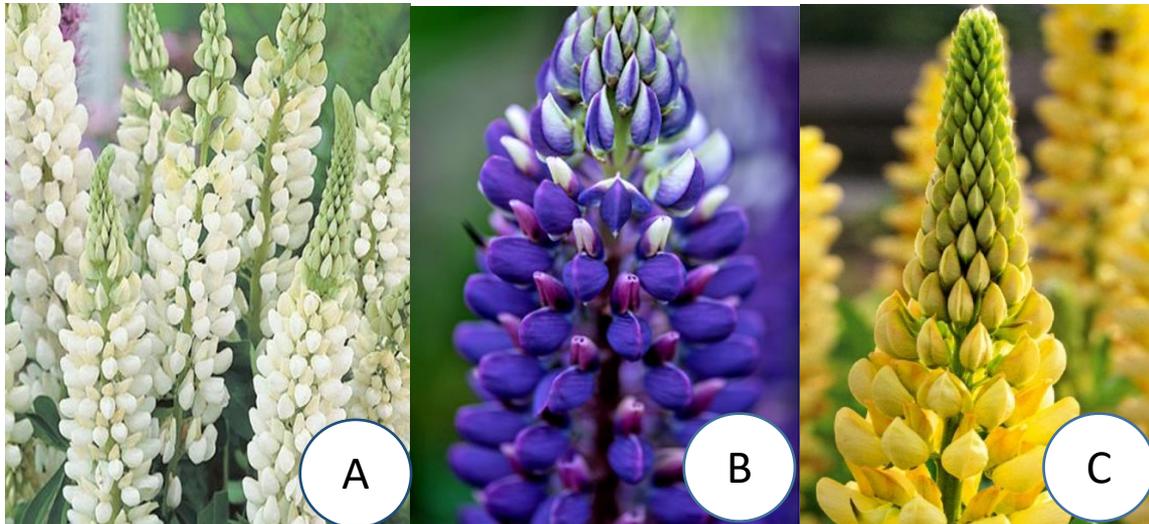


Figure 01 : A : *Lupinus albus* (**Anonyme 1**) B : *Lupinus angusti-folius* (**Anonyme 2**) C : *Lupinus luteus* (**Anonyme 3**).

1.3. La culture du lupin

Parmi les cultures de diversification, le lupin dispose d'un fort potentiel. Ses atouts : peu de ravageurs et pas besoin d'apporter de l'azote grâce à ses nodosités. Il existe deux types de lupin ; Lupin d'hiver et lupin de printemps :

- Pour que le lupin d'hiver atteigne une bonne résistance au froid avant l'hiver, il doit être semé entre le 10 septembre et le 15 octobre, à 3 cm de profondeur. L'écartement préconisé est de 35 à 40 cm. Le lupin d'hiver produisant des rendements supérieurs (**Tableau 01**) mais étant plus sensible aux maladies et à l'enherbement (**Terres Inovia, 2019**).
- Pour le lupin de printemps, le sol doit être bien ressuyé, et semé de fin janvier à mi-mars, à 3 cm de profondeur pour un écartement de 17 à 35 cm (**Terres Inovia, 2019**).

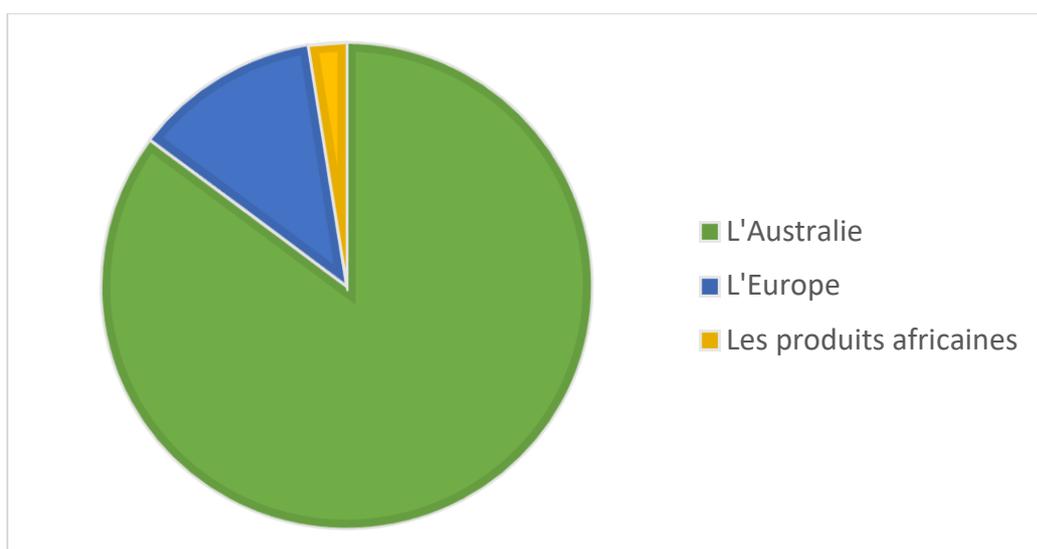
Tableau 01 : Le rendement de lupin d'hiver et lupin de printemps (Terres Inovia, 2019).

	Lupin d'hiver	Lupin de printemps
Plantes/m²	20-25	40-45
Graines/m²	40	60
Rendement (kg/Ha)	120-140	180-210

La récolte se fait à l'aide d'une moissonneuse batteuse classique d'août à septembre suivant la variété et le type de lupin (hiver ou printemps). La récolte s'effectue lorsque les graines ont atteint 14-15% d'humidité (Alexandre de Spotifarm, 2020).

1.4. La production mondiale de lupin

Les productions mondiales du lupin augmentent chaque année malgré le fait que les grandes productions restent restreintes à dix pays. L'Australie couvre la majorité des productions mondiale, correspondant à 1210000 tonnes par an. L'Europe assure des productions de 174300 tonnes dont 110000 tonnes (63% de la production européenne) est couverte par l'Allemagne. Par ailleurs, les productions africaines se limitent à 2,41%, correspondant à 35400 tonnes par an (Figure 02). Ces productions sont principalement assurées par le Maroc, l'Afrique du sud et l'Egypte (Sbabou, 2009).

**Figure 02** : La production mondiale de lupin (Sbabou, 2009).

1.5. Lupin en Algérie

Medjahdi Et Al (2009) montrent que *Lupinus* n'est pas très répandu en Algérie, il serait considéré comme faisant partie des plantes rares. En 1962, Quezel Et Santa ont recensé les espèces de lupins présentes en Algérie : *L.angustifolius*, *L.micranthus*, *L.luteus* et *L.tassilicus*. Ces derniers sont rencontrés à l'état spontané principalement sur les terrains accidentés, les falaises ou sur les zones côtières ainsi que dans le Sahara centrale.

1.6. *Lupinus albus*

1.6.1. Définition et classification botanique de *Lupinus albus*

Le lupin blanc ou *Lupinus albus* est une plante annuelle qui présente des feuilles composées avec cinq à sept folioles et pouvant atteindre un mètre de hauteur. Les fleurs pouvant être de couleur blanche, rose ou bleu (Figure 03 A). Les graines de lupin sont larges, circulaires et de couleur blanche à tendance rosâtre (Figure 03 B) selon la concentration en alcaloïdes. Ses graines sont les plus larges graines des lupins avec 8 à 12 mm de diamètre, 10 à 14 mm de long et 3 à 5 mm d'épaisseur (Sbabou, 2009).

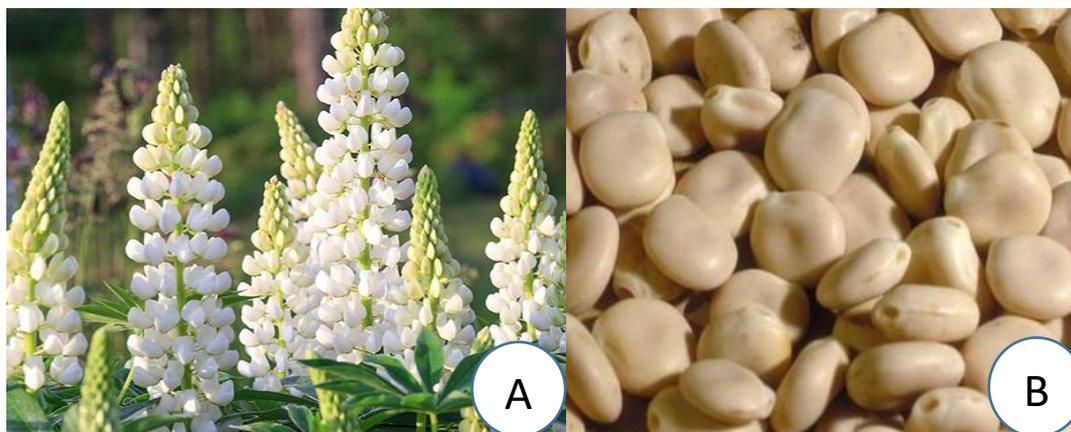


Figure 03 : *Lupinus albus*. (A) plante avec feuilles, fleurs blanches (Anonyme 3), (B) les graines (Anonyme 02).

Tableau 02 : Classification de *lupinus albus* (Sbabou, 2009).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Viridaeplante</i>
Division	<i>Tragheophyta</i>
Classe	<i>Mgnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Rosidée</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabacées</i>
Genre	<i>Lupinus</i>
Espèce	<i>Albus</i>
Nom vernaculaire	<i>Termiss</i>

1.6.2. La valeur nutritionnelle de *Lupinus albus*

- **Les protéines**

Les légumineuses ont toujours été les principales sources de protéines pour les régimes végétariens. Le lupin a une très grande quantité de protéines (40%) comparable au soja (49%) et est significativement plus élevée que le pois (24%) (Bähr, Fechner, Hasenkopf, et al, 2014). Les principales protéines sont représentées par les globulines appelées conglutines, représentant environ 85 % de la protéine totale et 15 % de protéines restantes sont des albumines, qui sont solubles à pH 5 et dont la taille varie (Lee, 2007; Sipsas, 2008A).

Les globulines sont des protéines oligomériques, globulaires et compactes et de poids moléculaire assez élevé. On distingue deux principales familles structurales en fonction de leur coefficient de sédimentation (tableau 03) : les protéines de type 11-12S, hexamériques (Figure 04 A) et les protéines de type 7S, trimériques (Figure 04 B). Les protéines de réserve de type 2S sont des protéines de faible masse moléculaire, globulaires et compactes, souvent thermostables en raison de ponts disulfures intercaténaux (J. Gueguen et al, 2016).

Tableau 03 : La nomenclature des protéines classées en fonction de coefficient de sédimentation (**J. Gueguen et al, 2016**).

Classification	La nomenclature
Globuline 7S	Conglutine- β
Globuline 11-12S	Conglutine- γ

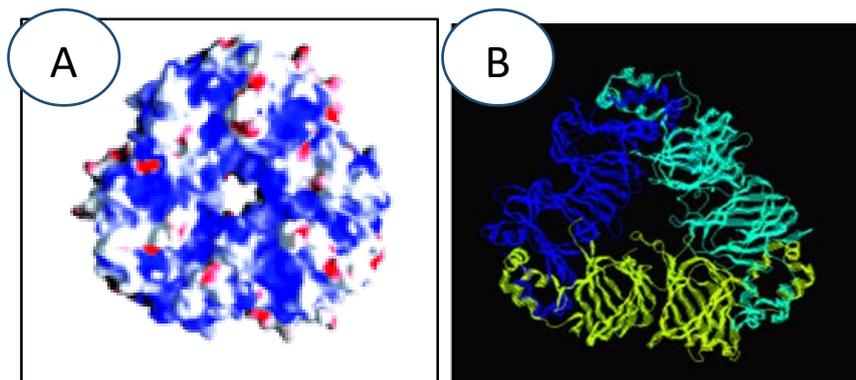


Figure 04 : La structure globulaire de Globuline 11-12S(A) et Globuline 7S (B) (**Marc Anton, Jacques Gueguen, 2011**).

Pour tester le potentiel d'une source de protéines végétales, il faut bien sûr tenir compte de sa valeur nutritionnelle, c'est-à-dire sa capacité à fournir au corps humain les acides aminés essentiels (AAE), indispensables à sa croissance et à son entretien. Cette capacité dépend, d'une part, de la biodisponibilité des protéines et, d'autre part, de l'efficacité avec laquelle les acides aminés (AA) peuvent être absorbés et métabolisés par l'organisme (**Day 2013; Gueguen Et Al. 2016**). En générale les sources de protéines animales sont supérieures à celles d'origine végétale, mais dans le cas étudié (lupin blanc) on a remarqué le contraire (**Figure 05**).

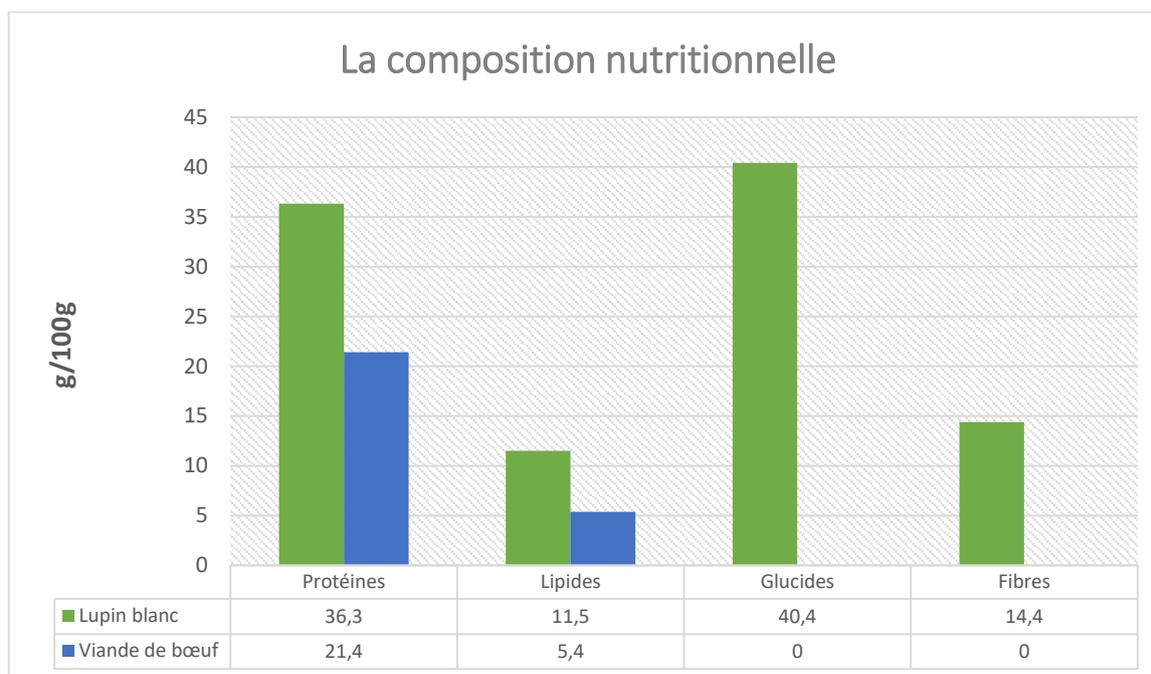


Figure 05 : Comparaison de la composition nutritionnelle (g / 100 g) de Lupin blanc (Sujak Et Al. 2006) (USDA 2017) et de la viande de bœuf (Daniel H Et Al, 2018).

Les protéines de source animale sont, au regard des besoins humains, mieux équilibrées en acides aminés, en particulier en acides aminés indispensables. L'un des critères souvent utilisé est le PDCAAS (protein digestibility corrected amino acid score) qui rend compte de la composition en acides aminés indispensables (Schaafsma G, 2005). La plupart des protéines animales (viande, œuf, lait) ont un PDCAAS proche ou supérieur à 100 % alors que les protéines végétales présentent des scores plus faible, mais dans le cas de lupin le PDCAAS est 86,9% (Mundo Da Saude, São Paulo, 2014).

Il existe un effet majeur des procédés de transformation sur la digestibilité des protéines de source végétale. Les traitements thermiques (cuisson, autoclavage) ou thermomécaniques (extrusion) mais aussi la fermentation permettent d'augmenter significativement le PDCAAS. Ces améliorations de la digestibilité s'expliquent à la fois par l'inactivation de certains facteurs antinutritionnels (inhibiteurs de protéases) mais aussi par l'effet des procédés sur la structure globulaire des protéines en facilitant l'accès aux sites de protéolyse (J. Gueguen et Al, 2016).

❖ Le profil des acides aminés de lupin blanc :

Selon **Boye Et Al. 2012**, le coefficient d'efficacité protéique (CEP) est considéré comme un bon indicateur de la qualité d'une protéine.

Les graines de lupin sont parmi les légumineuses les plus riches en protéines, avec toutefois des différences importantes entre les variétés. Ainsi, comparé aux lupins bleu et jaune, le lupin blanc contient non seulement plus d'AAE, mais il présente aussi un meilleur CEP (2,87 contre 2,40 et 2,36) (**Sujak Et Al. 2006**). Les proportions de lysine, méthionine, tryptophane et valine sont faibles dans toutes les variétés (**Tableau 04**).

Tableau 04 : Profils d'acides aminés de lupin blanc (en g / 100 g de protéines), comparés au profil de la viande de bœuf et aux recommandations de l'OMS.

Acides aminés	Lupin blanc	Viande de bœuf	Recommandations OMS 2007
Arginine*	11,4	n.m	n.m
Histidine*	3,3	3,2	1,5
Isoleucine	4,3	4,2	3
Leucine	7,8	7,7	5,9
Lysine	4,9	7,9	4,5
Méthionine + Cystéine	2,5	3,3	2,2
Phénylalanine + Tyrosine	5,6	7	3,8
Thréonine	3,5	4,2	2,3
Tryptophane	0,6	1	0,6
Valine	4,1	4,5	3,9
Référence	Sujak Et Al., 2006	Friedman ; 1996	WHO/FAO/UNU 2007

n. m.: non mentionné. *semi-essentiels.

Comme la plupart des légumineuses, le lupin a une faible quantité d'acides aminés soufrés (cystéine et méthionine) que l'on trouve normalement en abondance dans la viande et certaines céréales. Par conséquent, il est nécessaire de combiner le lupin avec des protéines de

céréales pour obtenir un profil équilibré d'acides aminés dans l'alimentation (**Baharudin S, 2016**).

- **Les fibres**

Les graines de lupin blanc sont une excellente source de fibres alimentaire. Contenant jusqu'à 39% de fibres, composée de 75 à 80% de fibre soluble, 18-25% de fibres insolubles et 5-9% d'hémicellulose totales (**Prusinski, 2017**).

- **Les glucides**

Nutritionnellement, les glucides de la graine de lupin sont assez intéressants. La teneur en glucides est plus faible que dans la plupart des légumineuses et comprend principalement des oligosaccharides, alors que l'amidon est faible peut être classé dans la catégorie des amidons résistants qui se comportent comme des fibres. Ils sont digérés lentement et donc libéré dans le sang graduellement (**Arnoldi Et Greco, 2007**).

- **Les lipides**

La teneur en matière grasse du lupin est d'environ 7 %. Cette quantité est supérieure à celle de la plupart des légumineuses végétales, mais elle est inférieure à celle du soja, qui contient environ 20 % d'huile. Les principaux acides gras du lupin sont les acides gras polyinsaturés, l'acide oléique et l'acide linoléique (**Sherifah Baharudin, 2016**).

- **Composés mineurs**

Le lupin peut être une source précieuse de la plupart des minéraux, notamment le calcium (Ca), le phosphore (P), le potassium (K) et le soufre (S). Selon **Sipsas (2008A)**, les teneurs en calcium et en phosphate du lupin sont plus élevées que celles des céréales. La teneur en minéraux (cendres) entre les différentes variétés de lupin varie entre 3,2 et 4,6 g/100 g de matière sèche (**Sipsas, 2008A**).

Tableau 05 : Composition nutritionnelle de la graine de *Lupinus albus* (dans 100 g).

Constituant	Composition (pour 100g)	Référence	
Energie	1552 KJ (371Kcal)	Lim, 2012	
Eau	10,4g	Rybinski Et Al., 2018	
Glucides	40,4g	USDA 2017	
Fibres	14,4g	Sujak Et Al. 2006	
Protéines	30,6 à 37,4 g	Lim, 2012 Rybinski Et Al., 2018	
Lipides	11,5 g		
	Acide oléique		3558 mg
	Acide linoléique		1995 mg
	Acide palmitique		742 mg
	Acide linoléique		446 mg
	Acide stéarique		316 mg
Les minéraux	Ca		176 mg
	Mg		198 mg
	P		440 mg
	Fe		404 mg
	Zinc		4,8 mg
Les vitamines	Vitamine A		23 mg
	Thiamine		0,64 mg
	Riboflavine (B12)		0,22 mg
	Niacine		2,2 mg
	B6		0,36 mg
	Folates B9		355

1.6.3. Facteurs antinutritionnels

Les composés antinutritionnels contenus dans les plantes peuvent influencer négativement la qualité et la digestibilité des protéines tout comme la disponibilité des acides aminés. Par exemple les inhibiteurs de trypsine, freinent l'activité des protéases intestinales (**Sarwar Gilani Et Al. 2012**). En plus des inhibiteurs de trypsine, les féveroles contiennent également des lectines, dont les propriétés agglutinantes peuvent être source de problèmes digestifs (**Gueguen 1983; He et al. 2015**).

Tableau 06 : Activité antitrypsine et hémagglutinante de quelques farines de légumineuses (**Gueguen 1983**).

Légumineuse	Activité antitrypsine (unités TI/mg MS)	Activité hémagglutinante (unité/mg MS)
Féverole	5,6-11,8	25-100
Lupin blanc	<1	0,1
Farine de soja dégraissée	0,63-5,5	1600-3200

Le **tableau 06** compare l'activité des inhibiteurs de trypsine ainsi que des substances hémagglutinantes (lectines) dans les légumineuses étudiées et dans la farine de soja dégraissée. On constate que naturellement ces activités sont quasi nulles dans le lupin et moyennes dans les féveroles. Elles sont les plus élevées dans la farine de soja dégraissée.

NB : les végétaux peuvent aussi contenir d'autres facteurs antinutritionnels, qui réduisent la disponibilité, non pas des protéines, mais d'autres nutriments (par exemple des minéraux) ou ont des effets délétères sur la santé. Ainsi, les graines de lupin par exemple contiennent parfois des alcaloïdes toxiques (**BFR 2017**).

1.6.4. Utilisation de lupin blanc

1.6.4.1. Engrais verts et culture de couverture

Pour maintenir le maximum de richesse dans le sol, seules les parties aériennes du lupin sont coupées tandis que les racines sont laissées à se décomposer dans la terre, libérant ainsi l'azote assimilable (**Brink & Belay, 2006**). Le lupin blanc s'utilise aussi en culture inter-rang : au milieu des vignes, du blé ou des oliviers.

1.6.4.2. Alimentation animale

Les cultivars doux de lupin sont utilisés pour le bétail. La composition des graines et la haute teneur en protéine font des cultivars doux très approprié pour l'alimentation de bétail, dans les systèmes d'élevage intensif. Le lupin blanc peut être utilisé la fin de l'hiver au début de la saison de l'herbage comme fourrage frais ou sec (**Jansen, 2006**).

Le lupin blanc est utilisé pour la farine de poisson chez le turbot, la brème de mer, et la truite arc pour sa protéine et de lipides à haute teneur (**Brink & Belay, 2006**).

1.6.4.3. Alimentation humaine

Bien qu'à l'heure actuelle, les graines de lupin soient principalement utilisées comme aliments pour animaux, elles acquièrent une importance croissante en tant que source d'aliments sains riches en protéines, en fibres alimentaires, en graisses et en composés bioactifs.

Les produits de boulangerie au lupin sont principalement fabriqués à partir de farine de lupin. Elle a une saveur de noix et une texture légèrement huileuse (**Sipsas, 2008B**). Selon **Petterson (1998b)**, jusqu'à environ 10% de farine de lupin peut être incorporée à la farine de blé ou à la farine complète pour produire un pain plus nutritif et un aliment plus complet en raison de sa teneur élevée en protéines et de l'amélioration du profil des acides aminés. Des études ont également été menées sur l'incorporation de l'ingrédient lupin dans d'autres produits de boulangerie. Pour les biscuits et les cookies aux pépites de chocolat.

Et d'autres études ont été menées sur l'incorporation de la farine de lupin dans les pâtes et les nouilles. Comme toujours, l'incorporation de lupin permet d'augmenter la valeur nutritionnelle des produits alimentaires. Cependant, la farine de lupin ne peut être incorporée qu'à hauteur de 20% dans les nouilles instantanées (**Jayasena et al. 2008**), et les pâtes (**Jayasena et al, 2009**), sans affecter l'acceptabilité sensorielle des produits. En revanche, l'ajout de 20 % de lupin a permis d'améliorer considérablement la teneur en protéines et en fibres alimentaires.

L'application du lupin n'est pas limitée que par les produits de boulangerie mais aussi on trouve : les pâtes et noodles, Tofu, les snacks et les plats traditionnels fermentés. (**Baharudin S, 2016**).

1.6.5. La farine de lupin blanc

Afin d'obtenir la farine de lupin, les graines sont triées et calibrées pour éliminer tous les impuretés à l'aide d'un tamis vibrant. Les graines entières nettoyées sont ensuite décortiquées à l'aide d'un décortiqueur puis séparées à l'aide d'un aspirateur. Les grains propres sont ensuite broyés à l'aide d'une gamme de broyeurs en fonction de l'utilisation prévue ou de la préférence du client (**Baharudin S, 2016**).

Le procédé de transformation le plus simple est la mouture à sec pour obtenir une farine complète, qui renferme tous les constituants des fèves entières et conserve donc à peu près la même qualité nutritionnelle (**Figure 06**).

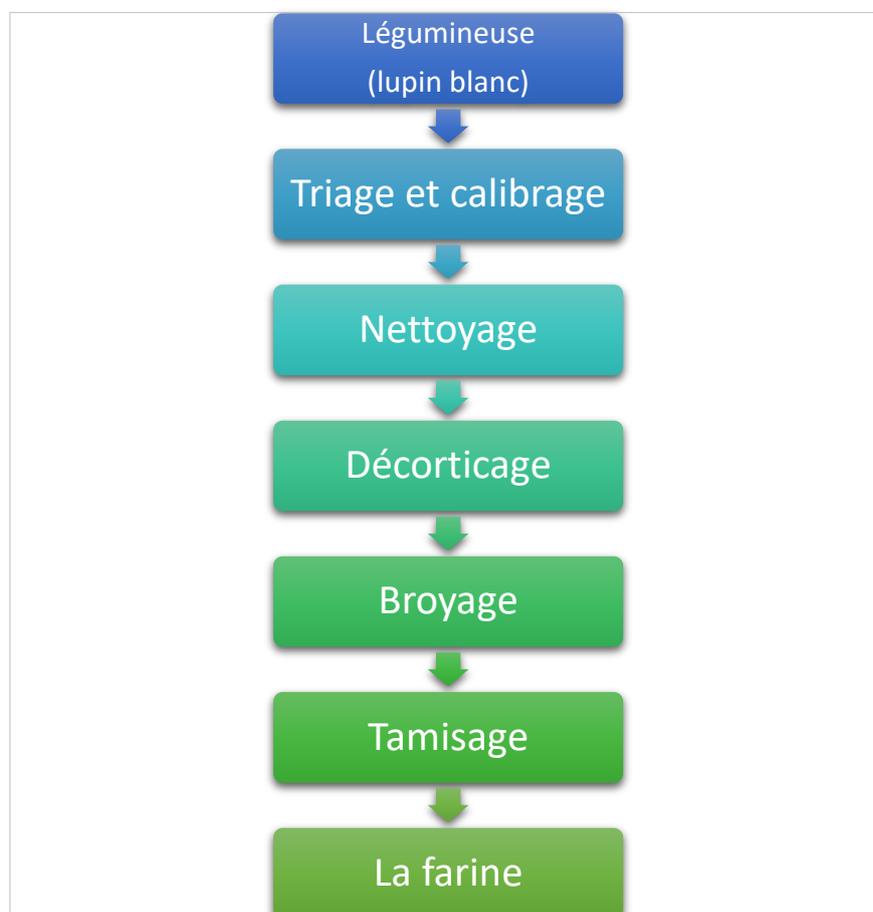


Figure 06 : Les étapes d'obtention de farine du lupin.

1.6.6. Effet thérapeutique

1.6.6.1. Effet sur le cholestérol

Les vicilines sont présentes en quantité importante dans la graine de lupin. Compte-tenu de la forte homologie entre les vicilines de soja et de lupin, les auteurs ont émis l'hypothèse que

les graines de lupin avaient des propriétés intéressantes de diminution du cholestérol. Leur teneur en fibres permet de réduire le cholestérol dans le sang dû à l'absorption réduite des graisses (Wait Et Al., 2005).

1.6.6.2.Effet sur le diabète

Le lupin a un faible index glycémique, paramètre mesurant les effets des glucides alimentaires sur la glycémie. Une réponse glycémique plus faible produit habituellement une baisse de la demande d'insuline et peut ainsi, par voie de conséquence, améliorer le contrôle des lipides sanguins. Après des études récentes effectuées à l'Université « SAN RAFFAELE à Milan», il a été démontré que la protéine contenue dans la graine de Lupinus, agit sur l'accumulation de glucose dans le sang en inhibant l'action de l'insuline et de faciliter le transport du glucose dans les cellules musculaires. (Habtie Et Al., 2009).

1.6.6.3.Effet sur l'hypertension

Les légumineuses sont riches en potassium, en magnésium et en fibres, ces nutriments ayant un impact positif sur le maintien et la régulation de la tension artérielle; Grâce aux propriétés du tocophérol, la consommation de lupin peut même prévenir l'hypertension, le lupin est extrêmement riche en acides gras essentiels oméga 3 et oméga 6, qui sont importants pour notre santé et ne peuvent pas être synthétisés par notre organisme (Brink & Belay, 2006).

1.6.6.4.Effet sur les maladies cardiovasculaires

La présence d'arginine dans le lupin présente des effets bénéfiques sur les parois internes des vaisseaux sanguins et contribue à améliorer la fonction endothéliale, ce qui est précisément l'une des principales causes de maladies cardiovasculaires, l'origine des accidents vasculaires cérébraux, crises cardiaques, l'hypertension artérielle, etc. la grande quantité d'oméga-3 dans lupins apporte de grands avantages pour le cœur, qui, combinée à une bonne prise de fibre améliore l'activité cardio-vasculaire (Yeheyis Et Al.,2011).

Chapitre II

Blé tendre

Chapitre II : Blé tendre

Vieux comme le monde, le blé tendre a fait l'objet de culture, dès le VII^e siècle av. JC en Mésopotamie. Comme tout produit naturel, le blé subit des variations de tous ordres. On pense bien sûr aux différentes variétés de blé, mais ce n'est pas le seul facteur ! Le terroir est aussi un élément de variabilité, de même que le climat, la pratique culturale. Puis, selon le délai de transformation du blé entre récolte et mouture, ou le temps de plancher accordé aux farines, on obtiendra des matières premières de caractéristiques variables.

2.1. Blé tendre

2.1.1. Généralité

Les céréales sont un groupe de plantes cultivées appartenant à la famille des Poacées, dont les grains présentent de par leur abondance et leur composition un intérêt majeur pour l'alimentation de l'homme et des animaux (Alais Et Liden, 1997).

Le blé fait partie des trois grandes céréales produites et consommées dans le monde avec le maïs et le riz. C'est la première céréale cultivée au monde avec 220 millions d'ha et la troisième par l'importance de la récolte mondiale avec environ 700 millions de tonnes annuelles. Le blé est, avec le riz, la céréale plus consommée par l'homme.

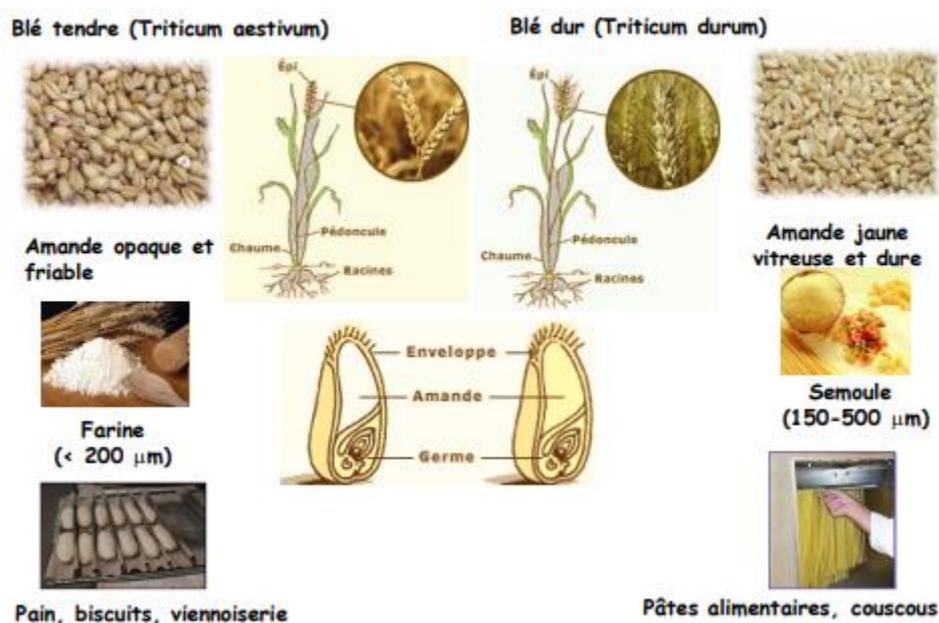


Figure 07 : Utilisation de blé (Abecassis, 2015).

2.1.2. Définition du blé tendre (*Triticum aestivum*)

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (**Feillet, 2000**). Le genre *Triticum* appartient à la tribu des Triticées au sein de la famille des Poacées et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones (**Bolot Et Al, 2009**). Il existe plusieurs variétés de blé, dont l'une d'entre elle est représentée par le blé tendre (*Triticum Aestivum*), ce dernier se caractérise par la friabilité de son grain lors de la mouture (**Mohtadji-Laballais, 1998**).

2.1.3. Morphologie

Caractéristiques de grain de blé tendre Selon (**Abecassis, 2015**), le grain de blé tendre est caractérisé par (**Figure 07**) :

- Une forme arrondie.
- Une Couleur de l'albumen blanc.
- Une texture de l'albumen friable à résistante.

La longueur du grain de blé est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50mg et sa densité entre 1,3 et 1,4 (**Feillet, 2000**).

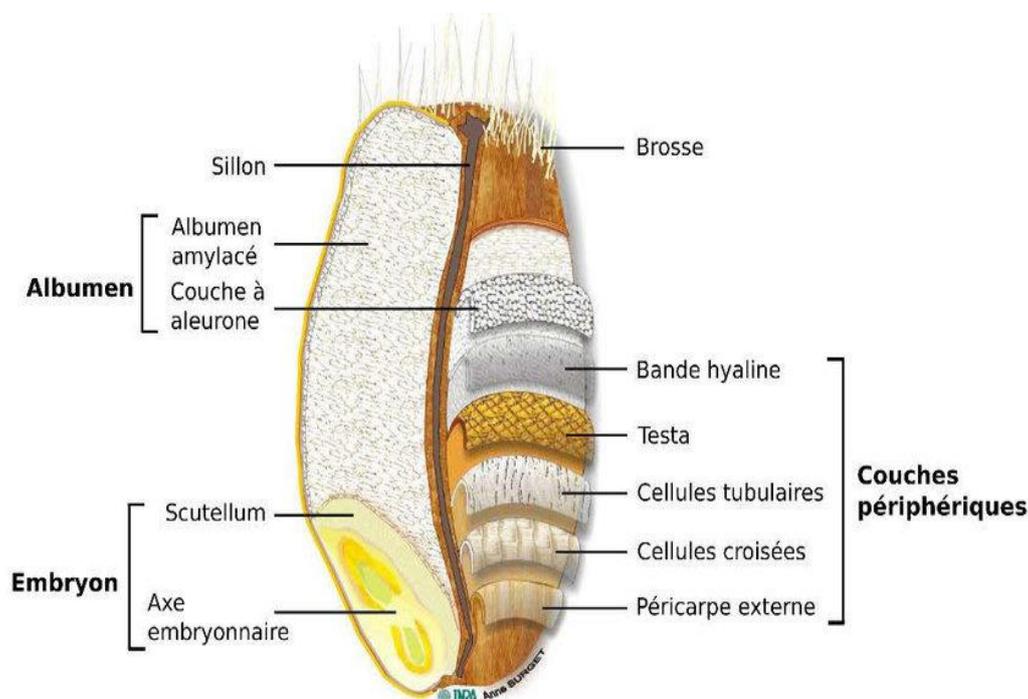


Figure 08 : Structure du grain de blé (**Abecassis J ,2015**).

2.1.4. Composition histologique et chimique de grain de blé

- **L'amande (l'albumen)** (80 - 85 %) constitué de l'albumen amylicé (au sein du quel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersées au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulose sont peu visibles) et de la couche à aleurone.
- **Les enveloppes** de la graine et du fruit (13- 17% du grain), formé de six tissus différents ; épiderme du nucelle, téguments séminal (enveloppe de la graine), cellule tubulaire, cellule croisées, mésocarpe et épicarpe.
- **Le germe** (3%), composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, le coléorizhe et de la coiffe) et du scutellum.

NB : le germe et les enveloppes sont éliminés pendant la mouture dans le cas d'une farine panifiable.

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (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 (**tableau 07**) (**Feillet., 2000**).

Tableau 07 : Composition chimique du grain de blé (**Feillet, 2000**).

Composants (%)	Grain	Péricarpe	Aleurone	Albumen	Germe
Protéines	13.7	4.4	15.3	73.5	6.8
Lipides	2.7	0	23.6	62.9	13.5
Amidons	80	0	0	100	0
Sucres réducteurs	2.4	0	0	62.7	37.3
Pentosanes	7.4	35.1	43.8	18.3	2.9
Cellulose	2.8	87.1	7.6	3.1	2.2
Minéraux	1.9	22.6	43.6	22.6	9.7

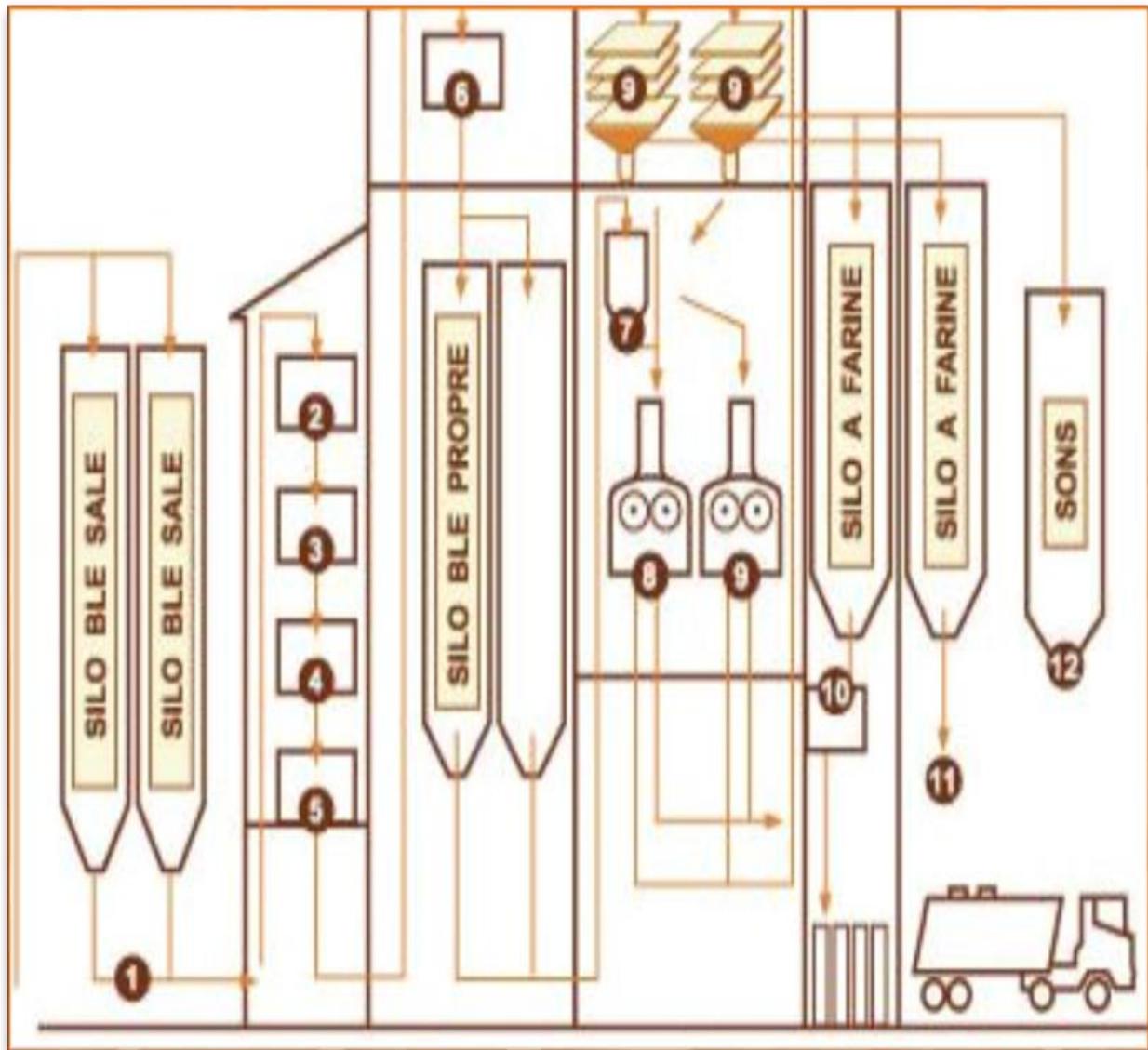
2.1.5. Technologie de transformation du blé

Selon **Feillet, (2000)**, La première transformation des céréales a pour but d'isoler l'albumen amyloacé sans contamination par les parties périphériques du grain (enveloppe, couche aleurone) .Avant d'être transformé en farine, le blé passe par plusieurs étapes à savoir:

- **Nettoyage**

Le nettoyage a pour but d'enlever du blé, toutes les impuretés qui y sont présentes. Un pré-nettoyage est effectué afin de débarrasser le blé des impuretés grossières (grosses pierres, Sable, paille,...), les poussières, mais aussi des insectes morts et certaines formes cachées vivantes qui sont des impuretés particulières (**Ajisse, 2000**).

Dès son arrivée au moulin (1), le blé est stocké dans de grands silos puis transporté par des Élévateurs ou des bandes transporteuses jusqu'à des réservoirs. Ensuite, il est déversé dans les Nettoyeurs séparateurs (2) lesquels éliminent les impuretés : terre, pierres, pailles, grains vides, poussières, autres graines...(3) (4) (5). Après l'avoir nettoyé, des trieurs permettent de ne conserver que les grains de blé purs. Les grains de blé sains sont humidifiés (6) pour faciliter la séparation de l'amande de ses enveloppes et reposent de 24 à 48h dans des boisseaux à blé propre avant d'être moulus (**Figure 08**).



- | | | |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| 1- Fosse de déchargement. | 5- Epointeur. | 9-Plansichters. |
| 2- Nettoyeur/ séparateur. | 6- Mouilleur. | 10-Ensachage. |
| 3- Epierreur/ émotteur. | 7- Silo tampon. | 11-Expédition vrac. |
| 4- Trieur a graine. | 8- Cylindre. | 12-Expédition des issues. |

Figure 09 : fonctionnement d'un moulin (réception, nettoyage, mouture et expédition) (Nicot, 2011).

- **Conditionnement**

Cette étape permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain. Le conditionnement consiste à une meilleure séparation au cours de la mouture entre l'albumen amylicé d'une part, les enveloppes et le germe d'autre part. Le processus repose donc sur l'ajout de l'eau au blé jusqu'à atteindre une humidité

relative de 16 à 17%. Ce traitement sera complété par le repos des grains pendant 12 heures à 48 heures.

- **Mouture**

Cette préparation répond à un double objectif:

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

- **Broyage**

Le broyage des grains s'effectue entre des paires de cylindres qui tournent en sens opposé et à une vitesse différente. La surface des rouleaux de rupture est généralement cannelée pour obtenir l'effet d'écrasement du grain par cisaillement.

L'objectif de cette opération est d'obtenir le maximum de gros sons aussi épurés que possible. Le choix de l'appareil de broyage est fonction du degré de réduction souhaité et de la dureté et la friabilité des grains.

- **Claquage et convertissage**

C'est une opération qui consiste à réduire les produits provenant des plansichters ou des sasseurs. Les convertisseurs sont généralement appareils à cylindre lisse.

- Le claquage, permet de séparer la farine de claquage, les germes et remoulages bis.
- Le convertissage, permet de séparer la farine de convertissage et les remoulages blancs.

- **Blutage**

Ce traitement est utilisé pour séparer les particules de grosseur différente qui consiste essentiellement en un passage au travers d'un tissu de soie, de nylon,...etc. dont les fils répartis de façon très régulière pour former des mailles de surface rigoureusement contrôlée.

Les particules dont la taille est inférieure à la grosseur des mailles passent au travers, tandis que les autres sont retenues et forment ce que l'on appelle (le refus). Ces tissus à bluter sont caractérisés par les dimensions des mailles.

- **Sassage**

Le sassage assure également la séparation des produits de mouture: les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au-dessus du tamis dont la largeur de maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l'inclinaison et la mouvement de va-et-vient des tamis.

- **Convertissage**

Ultime opération de plusieurs passages dans une série de cylindres Pour obtenir des produits fins jusqu'à la farine.(Figure 09).C'est aussi le mélange des différentes farines obtenues à chaque étape de la mouture (farine de broyage, de claquage et de convertissage) qui donne la farine panifiable utilisée par le boulanger et que l'on appelle « farine entière » (Nicot, 2011).

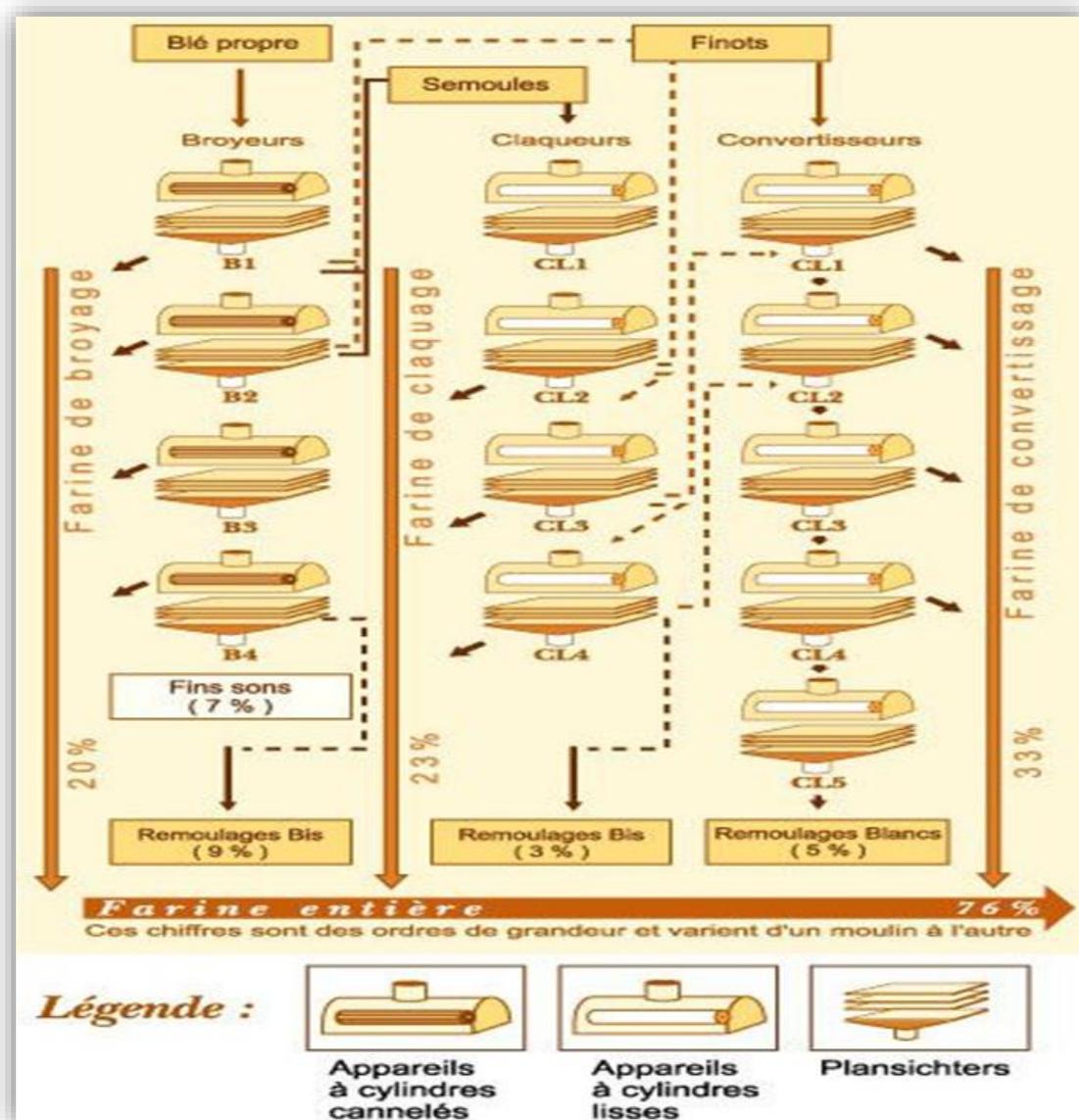


Figure 10 : Diagramme de mouture du blé tendre (Nicot 2011).

2.2. La farine

2.2.1. Définition

Selon le **décret exécutif n° 91-572 du 31 décembre (1991)**, la farine de panification est définie comme le produit de la mouture de grain de céréale apte à la panification et préalablement nettoyé sans autre modification que la soustraction partielle ou totale des grains et enveloppe ; la teneur en eau doit être inférieure ou égale à 15,05%. L'indice de chute entre 180 et 280, le P/L entre 0.45 et 0.65 et l'indice de Zeleny 22 à 30.

Les blés tendres ou les coupages de blé tendre destiné à la farine de panification doivent présenter les spécifications suivantes :

- W au test de l'Alvéographe de Chopin 130 à 180.
- P/L 0.45 à 0.65.

2.2.2. Composition biochimique de la farine

➤ Les glucides

Il fait partie des glucides assimilables qui représentent environ 61% des glucides totaux (**Fredot, 2005**). C'est un matériel composite constitué d'une fraction glucidique (98 à 99%) et d'une fraction non glucidique mineure (<1% lipides, protéines et phosphore) (**Wrigley, 2004**).

La fraction glucidique est constituée de deux polymères de structures différentes, l'amylose (26%) et l'amylopectine (74%), dont les proportions changent en fonction des espèces et variétés (**Alais Et Linden, 1997**). Ces molécules absorbent l'eau et sous l'effet de la chaleur, elles forment un gel essentiel à la transformation de la farine (**Feillet 2000**).

➤ Les fibres alimentaires

Ce sont des glucides non assimilables. Le grain de blé en contient 9,5%, localisées principalement dans l'enveloppe. Ils se répartissent en pentosanes solubles et insolubles dans l'eau (**Fredot, 2005**).

D'après **Feillet (2000)**, il est admis qu'ils ont des actions antagonistes sur le volume final du pain. Les pentosanes solubles adsorbent facilement l'eau à chaud et à froid. Ils possèdent donc 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. De plus, ils limiteraient la diffusion du gaz carbonique et participeraient ainsi à un meilleur développement du pain

(**Jeantet Et Al, 2007**). D'autre part, les pentosanes insolubles favoriseraient une prise d'eau initiale hétérogène et trop importante, qui provoquerait un déséquilibre dans la répartition de l'eau dans le milieu, par conséquent, les protéines du gluten seraient à leur tour inégalement hydratées et le réseau protéique ne pourrait se former (**Feillet, 2000**).

➤ Lipides

Les grains de blé sont pauvres en lipides. Ils en contiennent seulement 2 % et ceux-ci sont essentiellement localisés dans le germe et l'assise protéique (**Fredot, 2005**). Selon **Boudreau Et Menard (1992)**, ils sont divisés en deux groupes, les lipides de réserve (apolaires) et ceux de structure (polaires).

Les premiers ont un rôle d'agent lubrifiant et tensio-actif en association avec les protéines et l'amidon, facilitant ainsi le développement de la pâte boulangère au moment du pétrissage.

Les lipides polaires quant à eux améliorent les performances de rétention gazeuses des pâtes et joueraient un rôle sur l'augmentation du volume du pain. D'un autre côté, les lipides auraient un rôle important sur la qualité du gluten. En effet, **Vierling (2003)** a trouvé qu'un gluten dilipidé perdait une partie de ses propriétés panifiables.

➤ Protéines :

Les albumines et les globulines sont les protéines de structure du grain, qui représentent 15 à 20% des protéines de la farine dans lesquelles se trouvent la plupart des enzymes : α et β amylases, protéases et oxydoréductases (**Feillet, 2000**).

Gliadines et gluténines représentent les protéines de réserve du grain du blé. Ce sont les principaux constituants du gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (**Carip, 2009**).

Les premières représentent 40 à 50 % des protéines totales et sont solubles dans les solutions alcooliques (**Come Et Corbineau, 2006**). Elles se concentrent surtout dans l'amande et elles confèrent au gluten ses caractéristiques visqueuses (plasticité, extensibilité et viscosité) (**Jeantet Et Al. 2007**). Les gluténines quant à elles représentent 30 à 40 % des protéines totales du blé.

❖ Effets du gluten sur les propriétés rhéologiques de la pâte en panification :

Le gluten est le constituant responsable de l'élasticité des produits à base de céréales. Il se trouve principalement dans le blé, le seigle et en quantité moindre dans l'orge. En revanche, il est absent dans le riz, le maïs et le millet (Lafay, 2010).

Le gluten est principalement constitué par rapport à la matière sèche, de protéines (75 à 85%), d'amidon (8 à 10 %), de sucres réducteurs (1 à 2 %), de lipides (5 à 10 %), de pentosanes (2%) et de matières minérales (1 %) (Boutroux, 2010).

➤ Enzymes

Bien que, de masse pondérale infiniment réduite, ces substances jouent un rôle capital dans la vie du grain de blé et de la farine (Franc Ois, 2009). Les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoxgénases et les α et β -amylases (Vierling Et Frenot, 2001).

➤ Vitamines et matières minérales

Le blé contient surtout les vitamines B1, B2 et PP (B3). Par ailleurs, on note la présence d'autres vitamines telles que la B6. La vitamine E y est considérée comme un antioxydant naturel (Godon, 1991).

Egalement, on trouve des matières minérales en faibles proportions et inégalement réparties (BRANGER et al. 2009). Ainsi 80% des cendres se trouvent dans les enveloppes contre 20% dans l'amande (BADOUD et al. 2010). Elles ont un rôle de nutriments pour les levures et favoriseraient leur action dans la pâte (Vierling, 2003).

2.2.3. Caractéristiques physico-chimiques

Selon (Feillet, 2000) Les caractéristiques de la farine sont les suivantes :

- Teneur en eau : Le taux d'humidité de la farine est un facteur important de conservation et de stockage inférieur ou égal à 15.5 %.
- Teneur en cendre : La détermination du taux des matières minérales, principalement réparties dans les enveloppes et les germes, qui donnent une indication sur le taux d'extraction pour le meunier.
- Taux en protéine : La teneur en protéines, par son intérêt technologique et nutritionnel, est un élément de la valeur d'utilisation du blé. Le gluten est un principal élément de la farine qui se trouve en proportion beaucoup plus grande, c'est à leurs propriétés fonctionnelles très particulières que la farine doit son aptitude à la panification.

- Dans les farines, l'accroissement de la teneur en protéines se traduit par une augmentation de la pression P et du gonflement G des alvéogrammes.
- Acidité : Les mauvaises conditions de conservation s'accompagnent par d'autres phénomènes. Une dégradation enzymatique des lipides se traduit par un accroissement de l'acidité du milieu, cette acidification constitue un indice d'altération de la quantité technologique (0.045% tolérance 0.015).

2.2.4. Caractéristiques physiques

Tableau 08 : les spécifications techniques de la farine de blé tendre en matière de qualité physique (Brochoire, 2004).

Caractéristiques physiques	Interprétation
Couleur	Blanche.
Toucher	Sec et pesant, doux effleurent.
Odeur	Fraiche et agréable.
Filth test	Absence de souillures, poils déjection animales, insectes vivants et fragments.

2.2.5. Caractéristiques rhéologiques

- Indice de ZENELY : Méthode basé sur l'absorption d'eau par le gluten et le gonflement de celui-ci, lorsqu'il est en présence d'acide lactique.
- Indice de chute de HAGBERG : Il est utilisé pour déterminer l'activité amylolytique qui peut devenir excessive ; par la suite de la présence de grains germés ou en voie de germination.
- Essai à l'Alvéographe Chopin : Les caractéristiques plastiques d'une pâte déterminées par la mesure de W, du G et du P/L. Le W représente le travail de déformation de cette pâte et donne une bonne indication de la force boulangère. Le G ou indice de gonflement exprime l'extensibilité de la pâte. Le rapport P/L traduit l'équilibre entre ténacité et extensibilité. (Berland et Roussel, 2005).

2.2.6. Les types de farine

Tableau 09 : Différents types de farine de blé tendre en fonction du taux de cendres et du taux d'extraction (**Boutroux, 2010**).

Types	TC(%)	Taux d'extraction moyen	
		correspondant (%)	Farine et utilisations
T45	≥ 0.5	70-76	Farine très blanche pour pâtisserie
T55	0.5-0.60	75-78	Farine blanche : pain courant
T65	0.62-0.75	77-80	Farine crème : Biscuiterie
T80	0.75-0.90	80-85	Farine bise/ semi- complète : pains spéciaux
T110	1.00-1.20	85-90	Farine complète: Pains bis
T150	Plus de 1.40	90-98	Farine intégrale Pains complet

Chapitre III

Panification

Chapitre III : Panification

3.1. Définition de pain de consommation courante

Selon le décret n°91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain ; la dénomination "pain" s'applique à la pâte fermentée composée de farine de panification ou de préparation pour panification conforme aux normes, additionnée d'eau, de sel, de levure et/ou de levains et cuite conformément aux bonnes pratiques de fabrication.

3.2. Les ingrédients de base de pain

3.2.1. La farine

La farine de blé est l'ingrédient de base des produits de panification. Outre l'abondance de cette céréale, son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte à retenir le gaz permettant, ainsi, son expansion lors de la cuisson (Lassoued, N-Oualdi, 2005). Sa qualité conditionne la réussite du pain (Shapter, 2007). La farine est un composé complexe comportant différents constituants (protéines, lipides, sucres...) qui jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte (Lassoued, N-Oualdi, 2005).

3.2.2. L'eau

L'eau est un ingrédient important pour la formation de la pâte. Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire aux constituants de la farine pour la réalisation des réactions chimiques. Au cours du pétrissage, la multiplication des contacts entre les granules d'amidon et l'eau induit la diffusion des molécules d'eau dans les particules de farine, qui se aux différents constituants et favorisent leurs interactions (Shehzad, 2010).

3.2.3. Le sel

Le sel alimentaire (Na Cl) est présent dans la plupart des produits de boulangerie à raison de 2 % du poids de la farine en moyenne. Il est commercialisé sous forme de petits cristaux (dimension moyenne $\leq 800 \mu\text{m}$) d'un blanc pur, obtenus par recristallisation après évaporation sous vide à haute température (Roussel & Chiron, 2002). Il a un rôle à la fois technologique et organoleptique : il améliore la plasticité et la tolérance de la pâte, régularise la fermentation, conditionne le goût, la couleur et le croustillant du pain et favorise finalement sa conservation (Guelmouna, 1985).

3.2.4. La levure

La levure de boulangerie est un agent de fermentation de l'espèce «*Saccharomyces cerevisiae*», qui appartient à la famille des champignons (**Giannou Et Al., 2003**).

Selon **Zenedine (2004)**, on attribue généralement aux levures boulangères des propriétés principales au cours de la fermentation à savoir :

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

3.3. Les étapes de panification

La panification concerne, dans le présent contexte, l'ensemble des étapes permettant de fabriquer un produit cuit de boulangerie, comme des pains, par la cuisson au four après fermentation d'une pâte ou pâton contenant par définition au moins les ingrédients suivants : de la farine de céréales, de l'eau et de la levure active de boulangerie (**Landgraf, F, 2002**).

3.3.1. Pétrissage

En tant que première étape de la fabrication du pain, l'importance du pétrissage est cruciale pour la qualité de produit fini. En effet, pendant celui-ci, un ensemble de transformations biochimiques et physiques complexes ont lieu (**Levavasseur, 2007**).

L'étape de pétrissage assure trois fonctions concomitantes et intimement liées qui sont essentielles pour l'obtention d'une pâte bien aérée Selon **Delacharlerie Et Al (2008)** :

- L'homogénéisation : L'eau réalise les réactions enzymatiques permettant la transformation de l'amidon de la farine en sucres composés (maltose) et simples (glucose). Le pétrissage permet de répartir d'une manière homogène les constituants, favorisant ainsi leur contact, notamment celui de la farine avec l'eau, et donc leur hydratation (**Roussel et Chiron, 2002**).
- Le développement du réseau glutineux et l'aération de la pâte : Il s'agit des gliadines et des gluténines qui forment une matière plus ou moins molle et élastique : le gluten. Suffisamment hydraté, le gluten donne à la pâte son imperméabilité et ses propriétés rhéologiques.

- La structuration du réseau protéique : Pendant le pétrissage, les acides aminés soufrés s'oxydent et entraînent la création des ponts disulfures (S-S) intra et inter moléculaires (**figure 10**). La tenue du réseau serait due à des liaisons non covalentes telles que les liaisons hydrogènes, hydrophobes ainsi qu'à des enchevêtrements entre les chaînes (**Feillet, 2000**).

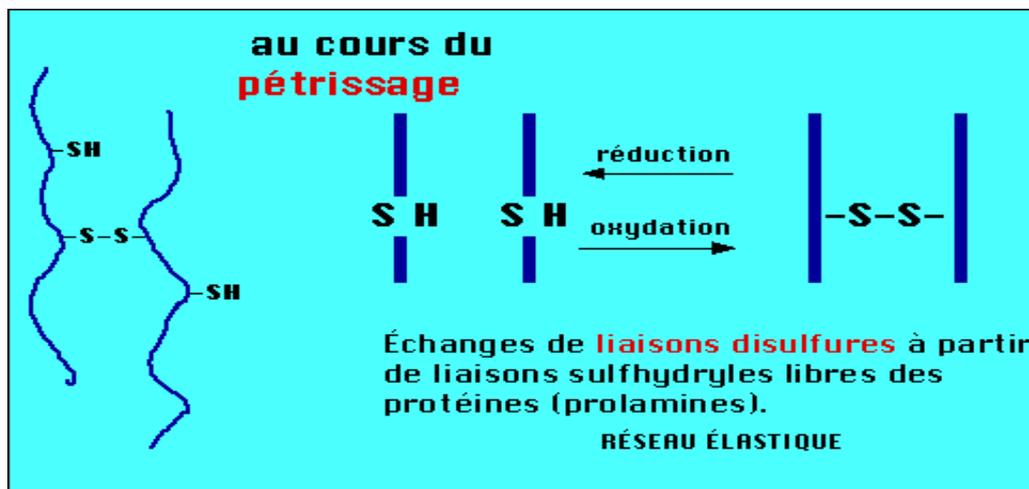


Figure 11: Formation du réseau du gluten durant le pétrissage (**Mosiniak M, 2016**).

3.3.2. Pointage

Le pointage ou piquage correspond à la toute première fermentation en cuve ou en bac, que la levure entre en contact avec le mélange farine /eau. Il concerne l'ensemble de la masse de la pâte. Le premier rôle du pointage est de donner de la force à la pâte. Cette prise de force correspond à une modification du gluten. La pâte devient plus tenace, plus élastique et moins extensible (**Fredot, 2005**). Le deuxième rôle du pointage est de favoriser le développement des arômes du pain (**Landgraf, 2002**).

3.3.3. Boulage et détente

La pâte est divisée en plusieurs boules de même poids appelés « pâtons ». Les pâtons sont laissés au repos une nouvelle fois. Cette étape permet au réseau de gluten de se détendre après les étapes de division et de boulage. Sans cette étape, le réseau de gluten aurait tendance à déchirer au moment du façonnage.

3.3.4. Le façonnage

Le façonnage permet de donner la forme particulière et définitive au pain en cours de fabrication selon le type de pain désiré (baguette, épi, boule, couronne ...). Pendant cette

étape, il y a encore production de sucres fermentescibles (glucose+ maltose) toujours grâce à l'action des amylases sur l'amidon qui subiront la deuxième fermentation (**Fredot ,2005**).

3.3.5. Incision superficielle des pâtons

Des petits coups de lame sont donnés sur la partie supérieure des pâtons ce qui forme des incisions. Elles ont pour but d'éviter les déchirures peu esthétiques de la croûte sous la très forte poussée du CO₂ et sous l'action de la chaleur lors de la cuisson. Elles permettent aussi d'obtenir de belles arêtes appelées grignes dorées et croustillantes qui sont un élément important du « bon pain » (**Fredot, 2005**).

3.3.6. L'apprêt

L'apprêt est la deuxième étape de fermentation appliquée aux pâtons boulés, elle se fait aussi dans une enceinte thermostatée (20°C-25°C) (**Landraf, 2002**). La levure utilise encore les sucres fermentescibles pour produire du CO₂ en grande quantité. Le volume de chaque pâton est ainsi triplé et il y a là encore production de nombreux arômes (**Fredot, 2005**).

3.3.7. Cuisson

Selon **Fredot (2005)**, les transformations des différents constituants de la pâte correspondent à l'élévation de la température au cours de la cuisson et sont :

- A partir de 60°C, une partie des zones cristallines de l'amidon est désorganisée, ce qui provoque un gonflement de ses grains. C'est « l'empesage ou gélatinisation ».
- A 70°C, les protéines du gluten subissent « une dénaturation et une coagulation » ce qui augmente leur digestibilité. Elles perdent leur affinité pour l'eau qui s'oriente vers l'amidon.
- Au-dessus de 75°C, l'expansion du CO₂ s'accroît et l'éthanol s'évapore.
- Vers 100°C, l'eau libre se transforme en vapeur se répartissant dans la pâte, ce qui accroît son gonflement. En même temps, se forment la croûte et la mie. Pour cette dernière, la température ne dépasse pas 100°C, alors que celle de la croûte atteint 200°C.
- Dès 110°C, il y a « dextrinisation » de l'amidon c'est-à-dire dégradation partielle de celui-ci en dextrines.
- A 150°C, il y a torréfaction et grillage des produits glucidiques. Ainsi, au niveau de la croûte, « des réactions de Maillard » ont lieu. Ce sont des réactions entre glucides et

protéines qui forment des composés bruns appelés « mélanoïdes » qui intensifient donc la coloration du pain.

3.4. La valeur boulangère

La valeur boulangère d'un blé est une notion représentée par l'aptitude de la farine issue à donner du beau et bon pain dans des conditions de travail et de rendement en harmonie avec une fabrication normale (**Doumandji Et Al, 2003**).

La valeur boulangère englobe les qualités plastiques des pâtes (force boulangère) qui varient en fonction de la qualité d'eau ajoutée, la présence de la matière première complémentaire, l'intensité du pétrissage et les conditions de repos.

Et aussi les propriétés fermentatives qui sont fonction de la farine (le taux d'extraction et la qualité du gluten), de la levure (quantité et qualité), de sel (l'excès ralentit la fermentation) et d'autres paramètres peuvent influencer comme l'acidité de la pâte, température de la pâte... (**Fourar, 2015**).

3.5. La valeur nutritionnelle du pain courant

Le pain occupe une place majeure dans notre équilibre alimentaire. Or, ses qualités nutritionnelles sont souvent méconnues de façon parcellaire des professionnels de santé. Toutefois, le pain apparaît comme une source nutritionnelle importante de glucides (56%), de protéines végétales (8%) et de fibres (3,5%). Il contribue aussi à couvrir une partie des apports en vitamines (en particulier celles du groupe B), et en éléments minéraux (**Cabrol, 2006**).

3.6. Consommation de pain en Algérie

Selon (**FAO**), les Algériens consomment près de 49 millions de baguettes de pain chaque jour. De ce fait, ils occupent le premier rang des consommateurs de pain dans le monde. Sur le même rapport, il ressort que l'Algérie occupe la 4^e place mondiale en termes de qualité du pain, derrière la France, les États-Unis et les Philippines.

Le rapport de la **FAO** estime que les Algériens ont pratiquement doublé leur consommation de pain, le portant de 20 à 49 millions de baguettes.

Partie expérimentale

Chapitre IV

Matériels et méthodes

4.1. L'objectif du travail :

Dans le présent travail, le but principal est d'élaborer un pain à base de légumineuse par l'incorporation de la farine de grains de « lupin blanc », afin d'améliorer sa qualité sur le plan nutritionnel et de voir aussi l'aptitude de lupin à conserver les propriétés technologiques et organoleptiques du pain.

4.2.Lieu de stage :

L'étude expérimentale a été réalisée au sein de :

- ❖ Société des Pâtes Industrielles de droit algérien « Groupe SOPI ».
- ❖ Institut technique des grandes cultures « ITGC ».
- ❖ L'école supérieure des sciences de l'aliment et l'industrie agro-alimentaire « ESSAIA ».
- ❖ Boulangerie « El Kahia » pour l'essai de panification.

4.3.Matériel végétal :

4.3.1. Farine de blé tendre

Une farine de blé tendre panifiable de type T55 fournie par les Moulins **SOPI** le 22 avril 2022 a été utilisée pour réaliser la farine supplémentée en raison de son aptitude à la panification.

4.3.2. Farine de lupin blanc

Les graines de lupin blanc utilisées sont originaires d'Égypte « Al Hayah company », elles sont produites en juin 2021 importées par SARL CALINUTS-Algérie. (**Annexe 01**)

4.3.2.1.Transformation des graines de lupin blanc en farine

- Triage des graines : Elles sont tout d'abord triées manuellement pour éliminer tous les impuretés et les différents déchets (grains endommagés, débris de plantes, cailloux, etc....).
- Broyage : Avant de commencer cette étape, un test d'humidité a été effectué pour savoir le taux d'humidité présente dans les graines de lupin blanc. Le résultat obtenu est de 13,48%. Les graines de lupin blanc sont broyées dans un broyeur électrique (marque OCRIM chez SOPI).
- Tamisage : Les particules résultantes des matières premières sont tamisées manuellement à travers un tamis d'ouverture de mailles 200µm. Deux fractions de produits sont obtenues :
 - Le passant du tamis (< 200µm) considéré comme farine.
 - Le refus du tamis qui n'est pas utilisé.

4.3.3. Protocol d'incorporation : La farine panifiable a été incorporée avec la farine de lupin blanc selon les proportions présentes dans le **tableau 10**.

Tableau 10 : Taux d'incorporation des différents échantillons.

Echantillon	Farine de blé tendre (g)	Farine de lupin blanc (g)
Témoin	1000	0
95% FP+5%FLB	950	50
90%FP+10%FLB	900	100
85%FP+15%FLB	850	150
80%FP+20%FLB	800	200

4.3.4. Stockage et conservation :

Les échantillons de la farine de blé tendre, la farine de lupin blanc ainsi que les farines incorporées à différents pourcentages, ont été conditionnées dans des sacs en fibres synthétiques et stockée dans des chambres de stockage à température de 20°C. (**Annexe 01**)

4.4.Méthodes d'analyses

4.4.1. Les analyses physico-chimiques

4.4.1.1.Taux d'humidité (N.A1132-2008/ ISO 712)

Principe

Séchage d'une prise d'essai à une T°C compris entre 130 et 133°C, à pression atmosphérique normale permettant d'obtenir un résultat identique de la méthode de référence.

Mode opératoire

- Stériliser les capsules vides dans l'étuve pendant 15min à 100°C.
- Refroidir les capsules dans le dessiccateur.
- Peser les capsules vides M₀, puis mettre 5g d'échantillon M₁.
- Placer dans l'étuve à une température comprise entre 130° à 134°C pendant 2h.
- Retirer les capsules de l'étuve et les placer dans le dessiccateur pendant 15min et après refroidissement les peser M₂. (**Annexe 02**)

Expression des résultats

$$H\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

H% : taux d'humidité.

M_0 : la masse des capsules vides.

M_1 : la masse des capsules + la prise d'essai.

M_2 : la masse des capsules + la prise d'essai après séchage.

4.4.1.2. Taux de cendres (méthode interne SOPI)

Les cendres sont le résidu minéral incombustible obtenu après incinération (**JORA 2013**).

Principe

La farine est calcinée à 550°C dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant.

Mode opératoire

- placer les capsules dans un four à moufle réglé à 550°C pendant 5h jusqu'à l'obtention d'une couleur grise, claire blanchâtre.
- Retirer les capsules du four et les mettre à refroidir dans le dessiccateur, puis les peser M_2 . (**Annexe 03**)

Expression des résultats

$$C\% = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100 \times \left(\frac{100}{(100 - H\%)} \right)$$

C % : la teneur en cendres.

M_0 : la masse des capsules vides.

M_1 : la masse des capsules + la prise d'essai.

M_2 : la masse des capsules + cendres.

H% : taux d'humidité.

4.4.2. Les analyses biochimiques

4.4.2.1. Teneur en gluten

Pour connaître la teneur en gluten, on doit déterminer le teneur de gluten humide et gluten sec.

a. Le gluten humide (NA 735.1990)Principe

Le gluten humide est séparé à partir d'une farine et d'une solution de chlorure de sodium.

Après un temps de repos, le gluten est isolé par lixiviation : c'est-à-dire par lavage de pâte ; suivi de l'élimination de l'excès de la solution de lavage. Le résidu est pesé.

Mode opératoire

➤ Préparation de pâte

- Peser 10 g de l'échantillon et le transférer dans un bécher ou mortier.
- A l'aide d'une burette ou pipette : verser goutte à goutte 5 ml de solution NaCl à 2% sur l'échantillon.
- Mélanger constamment l'échantillon avec la spatule.
- Former à l'aide de la spatule à bout plat une boule de pâte tout en rassemblant tous les résidus de pâte. Il convient que la préparation de la pâte ne prenne pas plus de 3 mn.
- Placer la pâte sur plaque en verre et la recouvrir avec un bécher de 250 ml, puis laisser reposer 15 mn.

➤ Extraction manuelle

Après le repos, malaxer le pâte, en le plaçant dans la paume de la main gauche et à l'aide du pouce de la main droite, sous un filet d'eau de robinet (le débit doit être goutte à goutte).

Poursuivre l'opération jusqu'à ce que la solution de lavage devienne claire.

Mettre La boule obtenue dans une centrifugeuse jusqu'à ce que le bouton vert allume, puis répéter l'opération une deuxième fois.

La centrifugeuse va dévisser la boule en deux, puis on les pèse M_1 M_2 . (**Annexe 04**)

Expression des résultats

$$G_h\% = \frac{M_2 - M_1}{M_2} \times 100$$

$G_h\%$: teneur en gluten humide.

M_1 et M_2 : la masse des deux parties de boule obtenues de la centrifugeuse.

b. Gluten Sec (NA 736.1990)Principe

Le gluten humide est préparé à partir d'une farine et d'une solution de chlorure de sodium. La boule de gluten ainsi obtenue est séchée puis pesée : c'est le gluten sec.

Mode opératoire

Ouvrir le Glutork et placer la boule de gluten au centre. Fermer le Glutork et presser le bouton de la minuterie Glutimer.

Une fois la lampe du Glutimer s'éteint ; refaire l'opération de nouveau, puis ouvrir le Glutork et peser le gluten séché M₃. (**Annexe 04**)

Expression des résultats

$$G_s\% = \frac{M_3}{m} \times 100$$

G_s% : teneur en gluten sec.

M₃ : la masse de gluten séché.

m : la masse de l'échantillon initiale.

4.4.2.2. Teneur en protéines (Méthode Kjeldahl NA 1158,1990 ; ISO 1871)Principe

La teneur en protéines est déterminée par la méthode de Kjeldahl après minéralisation de l'échantillon par l'acide sulfurique en présence de catalyseur, albanisation des produits de réaction, distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

Mode opératoire

➤ Minéralisation

- Peser 1g du produit (verser le produit au fond du matras en évitant tout contact avec les parois).
- Ajouter le catalyseur (2g du sulfate de potassium), 10ml d'acide sulfurique concentré et les billes en verres.
- Placer les matras incliné sur le dispositif de chauffage, mettre ce dernier en marche (un chauffage modéré doit être réalisé au début de l'opération afin d'éviter la montée de la mousse), prolonger le chauffage au-delà de trois heures jusqu'à limpidité de la solution.

➤ Distillation

- Transverse le minéralisât après refroidissement dans une fiole de 100ml puis diluer avec de l'eau distillée et agiter.
- Prélever 20 ml de cette solution, mettre dans un matras (contenant deux billes) ajouter 40 ml d'hydroxyde de soude 33% et 80ml d'eau distillée puis placer le matras dans l'enceinte de distillation.
- Plonger l'extrémité de l'appareil de distillation dans un erlenmeyer contenant 20 ml d'acide borique 4% et deux gouttes de rouge de méthyle à 1% puis mettre le distillateur en marche.

➤ Titrage

- Après la distillation, le titrage est effectué par méthode volumétrique avec une solution d'acide sulfurique à 0.1N, la coloration doit passer du limpide au rose. (**Annexe 05**)

Expression des résultats

- Teneur en azote exprimée en pourcentage en masse rapporté à la matière sèche.

$$TA = \frac{100}{20} \times \frac{0.00149 * V * 100}{M}$$

V : volume en millilitre de la solution d'acide sulfurique versé à la burette lors du titrage.

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

TA : la teneur en azote.

- Teneur en protéine exprimée en pourcentage en masse rapportée à la matière sèche.

$$TP = 5,7 \times \frac{100}{100 - H} * TA$$

TA : teneur en azote, exprimée en pourcentage en masse du produit.

H : teneur en eau, exprimée en pourcentage en masse du produit.

5,7 : coefficient.

TP : teneur en protéines.

4.4.2.3. Teneur en lipide (NF V03-905)

Principe

L'extraction de la matière grasse par Soxhlet est une méthode classique pour l'extraction solide-liquide. L'échantillon entre rapidement en contact avec une portion de solvant pur, ce qui aide à déplacer l'équilibre de transfert vers le solvant. De plus, elle ne nécessite pas de filtration après l'extraction et peut être utilisée quel que soit la matrice végétale.

Mode opératoire

- Peser le ballon vide m_0 .
- Peser 5g d'échantillon et 100ml d'hexane.
- Placer l'échantillon dans la cartouche, elle-même insérée dans l'extracteur.
- Verser le volume d'hexane dans le ballon.
- Mettre en marche le système de chauffage et le régler de façon à ce que les cycles remplissage/vidange de la cartouche se fassent de façon rapprochée.
- Laisser l'opération d'extraction 3h, puis enlever le ballon et le placer dans un Rotavapeur à 45°C pendant 5 min.
- Enlever le ballon et le peser m_1 , et récupérer le solvant. (**Annexe 06**)

Expression de résultats

$$L (\%) = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_0} \right) \times 100$$

m_0 : la masse de la prise d'essai.

m_1 : la masse de ballon vide.

m_2 : la masse de ballon après extraction.

L% : la teneur en matière grasse.

4.4.2.4. Les glucides totaux (FAO/OMS 1980)

La somme des teneurs en cendres, protéines totales et lipides totaux est soustraite de 100g de matière sèche pour obtenir la teneur en glucides totaux de l'échantillon. Les résultats

ne donnent qu'une estimation approchée de la quantité totale des glucides. La teneur en glucides totaux est exprimée en pourcentage de matière sèche :

$$\text{Glucides totaux} = 100 - (\text{cendres (\%)} + \text{protéines (\%)} + \text{lipides (\%)})$$

4.4.3. Les analyses technologiques

4.4.3.1. Indice de chute selon HAGBERG-PERTEN (ISO 3093 en NA1176, 2015)

Principe

L'activité α -amylasique est estimée en utilisant l'amidon présent dans un échantillon. La détermination est basée sur la capacité de gélatinisation rapide d'une suspension aqueuse et sur la mesure de liquéfaction de l'empois d'amidon par α -amylase présente dans l'échantillon.

Mode opératoire

- Préparation de la prise d'essai
 - Taux d'humidité de la prise d'essai doit être mesuré au préalable.
 - La quantité de la farine à peser est en fonction de son taux d'humidité.
 - Placer la prise d'essai dans le tube viscosimètre.
 - Ajouter $25\text{ml} \pm 0.2$ d'eau distillée dans le tube.
- L'agitation
 - Fermer le tube et le placer le dans le shakematic (agitation mécanique).
 - Retirer le tube du shakematic, Enlevez le bouchon.
 - Racler tout résidu dans le tube. Racler les parois du tube avec l'agitateur viscosimètre.
 - Placer l'agitateur et son support dans le tube. Mettre l'ensemble dans l'appareil.
- Gélatinisation

Après 5secondes, le mélange débute automatiquement sa gélatinisation et le chronomètre se met en marche automatiquement.

Expression des résultats

Le temps de chute exprimé en second est affiché sur l'appareil à la fin de l'analyse.

4.4.3.2. Taux d'affleurement (Méthode interne SARL SOPI)

Principe

L'échantillon est placé sur une série de tamis est sous l'effet vibratoire de l'appareil ; le produit est classé selon l'ouverture des mailles.

Mode opératoire

- Disposer les tamis dans un ordre croissant.
- Peser 100g d'échantillon.
- Mettre la prise d'essai sur le tamis supérieur et lancer l'analyse pendant 10min.
- Peser le refus de chaque tamis.

Expression des résultats

Les résultats de chaque refus sont exprimés en pourcentage.

Le produit réceptionné au fond du tamiseur représente le taux d'extraction.

4.4.3.3. Essai d'alvéographe Chopin (ISO 5530)

Principe

Le comportement d'une pâte (farine+ eau salée) est évalué pendant la déformation. Un disque de pâte est soumis à un débit d'air constant, en premier temps il résiste puis gonfle sous la forme d'une bulle, selon son extensibilité et éclate.

Cette évolution est mesurée et apporte sous forme de courbe (alvéogramme).

Mode opératoire

Avant de commencer l'essai, les températures des appareils doivent être stabilisées à la température 24°C pour le pétrin et 25°C pour l'alvéographe.

- Verser 250 g de la farine dans le pétrin et mettre en route le moteur.
- Verser avec la burette la quantité d'eau salée en 20 s environ.
- Au bout d'une minute, on arrête le pétrin et ouvrir le couvercle.
- Décoller la farine qui adhère aux parois avec la spatule.
- Remettre le moteur en marche pour 6 min, à la fin de pétrissage soit 8 min le moteur s'arrête.

- Huiler les éléments suivants : cadre de laminage, rouleau, plaques de repos, plaque d'extraction, couteau, tampon, platine fixe.
- A l'issue du pétrissage la pâte est laminée et découpée en pâtons circulaires, puis on les place dans une chambre de repos pendant 20 min.
- Pendant la période de repos placer un diagramme sur le tambour enregistreur, la plume d'encre, tracer la ligne de zéro de pression et faire revenir le tambour en position de départ ;
- Glisser et centrer le pâton sur son bord.
- Mettre l'alvéographe en marche, provoquer le gonflement de la pâte et mise en marche du tambour enregistreur de monomère, dès que nous observons une rupture de la boule en arrête l'alvéographe. (**Annexe 07**)

Expression des résultats

Les résultats sont mesurés ou calculés à partir des cinq courbes obtenus. Si l'une d'entre elle, et seulement une, s'écarte il convient de ne pas en tenir compte.

La valeur des paramètres **W**; **P**; **G**; **L**; **P/L** sont affichés automatiquement sur l'écran de l'alvéographe NG.

- Le "W" : travail de déformation exprimé en (joule), il désigne le travail au sens physique du terme et exprime la force boulangère de la pâte.
- Le "G" : Se rapporte au gonflement de la pâte qui est exprimé en (cm³).
- Le "P" : Correspond à la pression maximale d'air insufflée nécessaire à la déformation et donc à l'obtention de la bulle de pâte. Il exprime la ténacité de celle-ci et est donné en (mm) sur l'axe des ordonnées de l'alvéogramme.
- Le "L" : Ce paramètre correspond à l'élasticité (extensibilité) de la pâte depuis le début du gonflement jusqu'à éclatement de la bulle. Il est donné en (mm) sur l'axe des abscisses de l'alvéogramme ;
- Le "P/L" : Ce rapport appelé "rapport de configuration de la courbe" ou "rapport de ténacité au gonflement", représente l'équilibre entre la ténacité et l'élasticité de la pâte.

4.4.3.4. Test de sédimentation de Zeleny (ICC n° 116/1 et 118, 2003)

Principe

Mise en suspension d'une farine dans un mélange d'acide lactique, propanol et colorant. Après une phase d'agitation et de repos, lecture du volume de dépôt exprimé en millilitre résultant du gonflement des protéines du produit.

Mode opératoire

- Peser 3,2 g de l'échantillon, l'introduire dans l'éprouvette, ajouter 50 ml de la solution bleu de bromophenol, boucher l'éprouvette puis agiter pendant 5 secondes.
- Placer l'éprouvette dans le cadre de l'agitateur, déclencher le chronomètre et mettre en marche l'agitateur après un temps de 5 mn.
- Retirer l'éprouvette de l'agitateur et ajouter à son contenu 25 ml du réactif de l'essai de sédimentation.
- Remplacer l'éprouvette et agiter à nouveau. Après un temps total de 10 mn retirer l'éprouvette et la mettre en position verticale.
- Laisser reposer pendant 5 mn puis noter le volume du dépôt. (**Annexe 08**)

Expression des résultats

L'indice de sédimentation de zeleny est représenté par le volume du dépôt exprimé en millilitres :

$$V_{(ml)} = \text{volume de dépôt}$$

On admet qu'il existe une relation avec la force boulangère selon l'échelle de notation suivante :

- Moins de 18 ml : insuffisant.
- De 18 à 28 ml : bonne force boulangère.
- De 28 à 38 ml : très bonne force boulangère.
- Plus de 38 ml : blé améliorant.

4.5. Test de panification

Le test de panification permet de :

- Déterminer la qualité boulangère des variétés de blé pures ou des mélanges
- Rechercher une formulation optimisée (additifs ou autre ingrédient) pour un processus de fabrication

- Contrôler l'aptitude d'une farine à être commercialisée.

Principe

- Peser 1kg de farine, 18g de sel, 10g de sucre et 18g de levure dans le bol du pétrin, et mettre en marche le pétrin en 1^{ère} vitesse.
- Ajouter 600±10 ml d'eau froide au mélange des matières sèches.
- Le pétrissage est intensif : exactement 2 min en 1^{ère} vitesse, puis exactement 10 min en 2^{ème} vitesse.
- Le pointage dure 30min, à une température ambiante. Diviser la pâte en boules homogènes (195g± 2g), puis les laisser pour une détente de 15min.
- Façonner les boules à l'aide d'une façonneuse afin d'obtenir des baguettes, puis les laisser 1h30min pour un long apprêt. L'apprêt se fait dans une chambre de fermentation à une température de 27°C ± 2°C.
- Donner 3 coups de lame obliques.
- Enfourner les baguettes fermentées dans un four rotatif préalablement réglé à 250°C ± 10°C.
- Laisser les pains ressuyer une heure.
- Mesurer le volume et la masse des pains.

4.6. Test de dégustation

C'est la technique qui permet de goûter un pain et d'en apprécier les qualités, les parfums et les arômes. Cette dégustation est basée traditionnellement sur :

- L'examen visuel du pain : Il permet d'apprécier l'aspect de la grigne, de la croûte, de la clé (dessous du pain), de l'alvéolage de la mie, du poids (la densité) et de l'éventuelle croustillance.
- L'examen olfactif du pain : Il permet d'analyser les parfums, senteurs exprimés par le pain.
- L'examen gustatif du pain : Tout au long de son trajet en bouche et de sa mêche, le pain produit de nombreuses sensations : tactiles, aromatiques, goûts (perçus par les papilles de la langue) et arômes (odorat).

Ces étapes demandent l'utilisation de nos cinq sens (la vue, le touché, l'ouïe, l'odorat et le goût) (Marti C et al, 2008) (Jean-Philippe de Tonnac et Al, 2010).

Chapitre V

Résultats et discussions

5.1. Les résultats d'analyses physico-chimiques

5.1.1. Taux d'humidité

La teneur en eau est un facteur essentiel dans l'évolution des phénomènes biologiques, le contrôle d'humidité des farines permet de minimiser le risque d'altération lors du conditionnement et du stockage (**Feillet, 2000**).

La détermination de l'humidité des céréales et produits dérivés est une opération capitale qui présente 4 intérêts :

- Intérêt technologique : pour la détermination et la conduite des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle ainsi que pour l'évaluation et la maîtrise des pertes après récolte.
- Intérêt analytique : pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixe (matière sèche).
- Intérêt commercial : les profits réalisés au cours d'une transaction dépendent de la teneur en eau.
- Intérêt réglementaire : la teneur en eau maximale à ne pas dépasser est fixée par la loi pour des raisons de bonne conservation et d'honnêteté commerciale (**Gharib, 2007**).

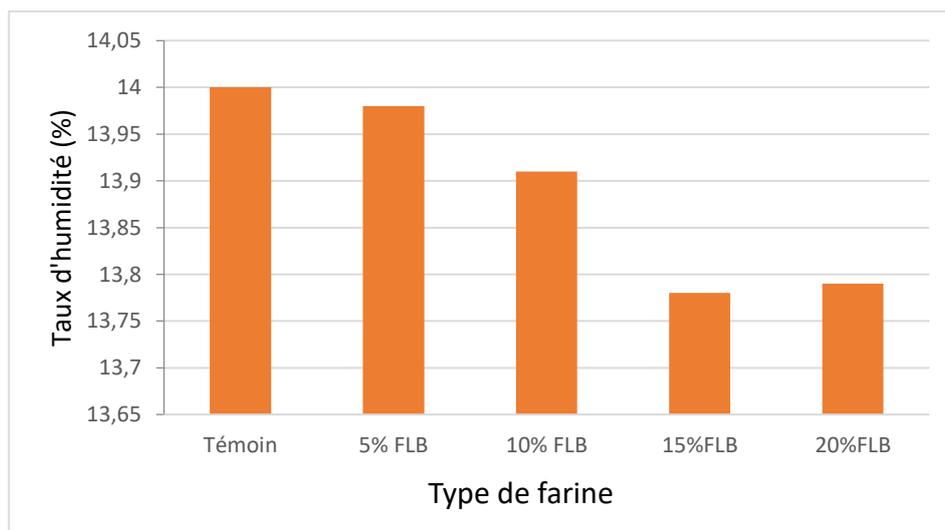


Figure 12 : Taux d'humidité des différents types de farines.

Les valeurs de la teneur d'humidités obtenues de témoin et des mélanges (FP+ FLB) varient entre 14% et 13,79%. Selon le décret exécutif algérien n°91-572 du décembre 1991 relatif à la farine et le pain, la teneur d'humidité ne doit pas excéder 15,5%, donc la farine de MAMA est conforme et les mélanges (FP+FLB) sont conformes (**Figure 12**).

5.1.2. Taux de cendre :

La teneur moyenne des cendres est un indicateur de la pureté de la farine, elle est en relation avec son taux d'extraction et la minéralisation des grains mis en mouture. Elle définit, en outre, les types commerciaux des farines (**Feillet, 2000**).

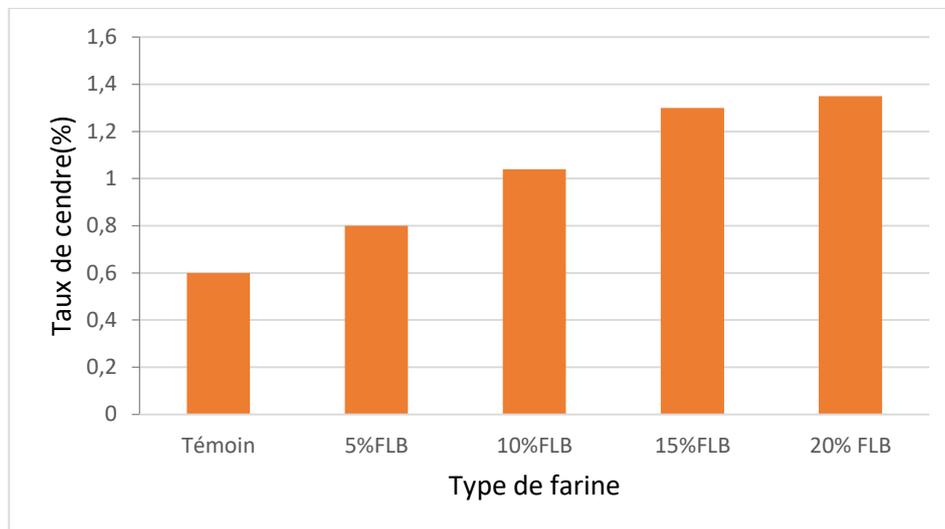


Figure 13 : taux de cendre des différents types de farines.

Les résultats obtenus représentent le taux de cendre dans les différents types de farines (**Figure 13**). On constate que la farine témoin (blé tendre) a un taux de cendre égale à 0,60 % MS, ce qui confirme l'emploi d'une farine ayant toutes les aptitudes d'une farine qui est destinée à la fabrication des pains courants, biscottes et panification fine (**NA 732, 1990**). Concernant les farines incorporées on remarque que le taux de cendre a nettement augmenté ceci par l'augmentation du taux d'incorporation. Il est de 0,8 ; 1,04 ; 1,3 et 1,35% respectivement au 5, 10, 15 et 20% FLB. Cela peut être expliqué par la richesse de la farine de lupin en fibres

5.2. Les résultats des analyses biochimiques

5.2.1. Teneur en gluten

Les caractéristiques du gluten dépendent des propriétés des farines dont il est extrait. Le gluten des farines de mauvaise qualité s'hydrate plus facilement et révèle plus visqueux et moins élastique que celui extrait à partir de farine de bonnes qualités (**Feillet, 2000**).

a. Teneur en gluten humide

Le gluten humide de la farine de blé est une masse viscoélastique composée de gliadines gonflées dans l'eau (Ugrinovits Et Al, 2004). Selon (Brunnel et Al, 2010), les gliadines déterminent les propriétés visqueuses du réseau de gluten.

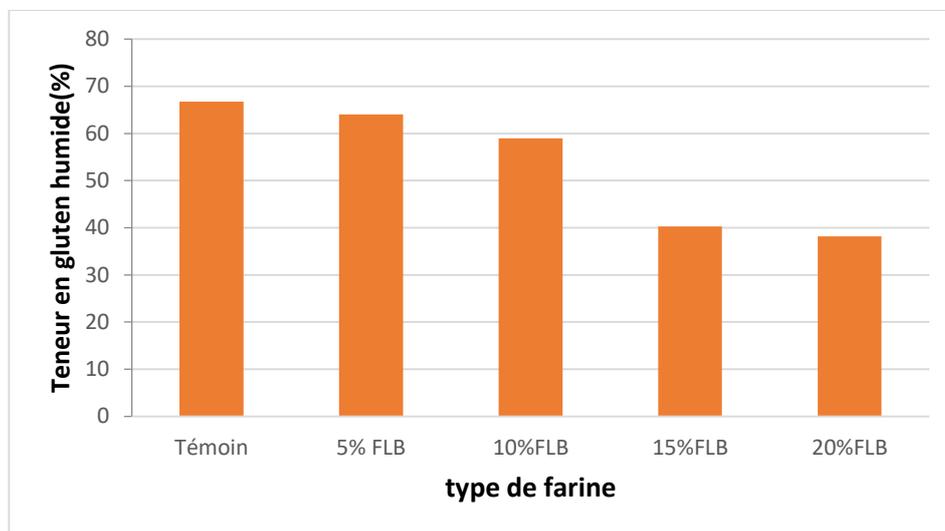


Figure 14 : Teneur en gluten humide des différents types de farines.

La teneur en gluten humide des différentes farines varient entre 38,15% et 66,76%.

D'après la **figure 14**, on remarque que la teneur en gluten humide présente une diminution à chaque fois qu'on augmente le taux d'incorporation, elle passe de 64,06% pour la farine témoin à 38,15% de gluten humide pour la farine incorporée à 20%. Ceci est du certainement, à la farine de lupin est qui naturellement dépourvue en gluten et par conséquent la teneur de ce dernier diminue progressivement en fonction du taux d'incorporation.

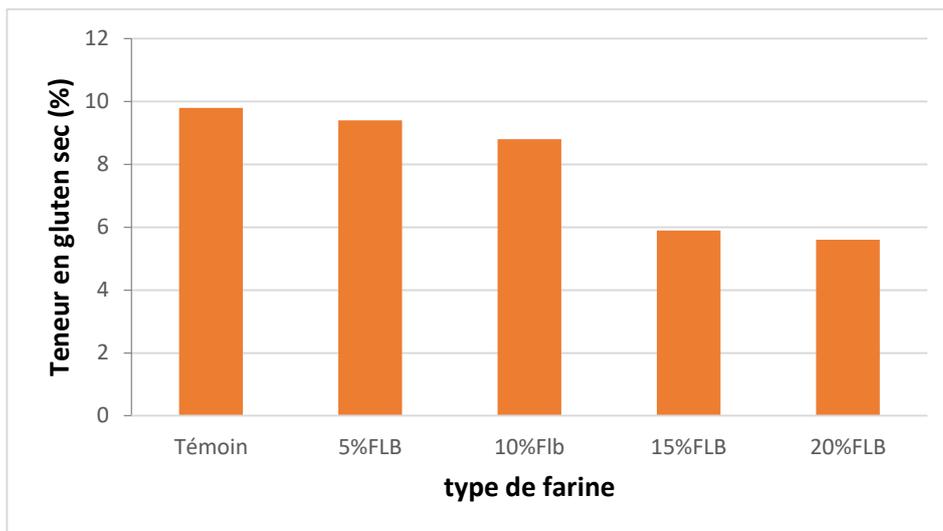
b. Teneur en gluten sec

Figure 15 : Teneur en gluten sec des différents types de farines.

D'après les résultats affichés dans la **figure 15**, les teneurs en gluten sec des différentes farines diminuent lorsque l'incorporation augmente. Le taux de gluten sec est compris entre 9,8% et 5,6%. La farine témoin a donné le taux le plus élevé (9,8%) suivi respectivement de ceux obtenus à partir des farines incorporées. Cependant, le taux de gluten le plus faible est celui de la farine 20%FLB (5,6%). La diminution confirme que cette légumineuse qui est dépourvue de gluten ce qui a influencée sur la teneur en gluten des différents types de farines.

Feillet, (2000) rapporte que le rôle de gluten est d'assurer la stabilité ou la teneur d'une pâte, la formation d'un réseau suffisamment bien tissé après pétrissage pour retenir le gaz carbonique formé au cours de fermentation et permettre le développement de pain. En effet, selon **Roussel et Chiron, (2005)** la qualité du gluten agit sur la fixation de l'eau, la résistance et la teneur de la pâte, la rétention gazeuse et la croûte de pain qui sont tous des paramètres déterminants.

5.2.2. Teneur en protéines

La connaissance de la teneur en protéines donne une bonne information sur la capacité technologique de la farine (**Chene, 2001**) car elle exerce une influence considérable sur les propriétés viscoélastiques des pâtes et sur la qualité du pain (**Feillet, 2000**). C'est aussi un paramètre important sur le plan nutritionnel.

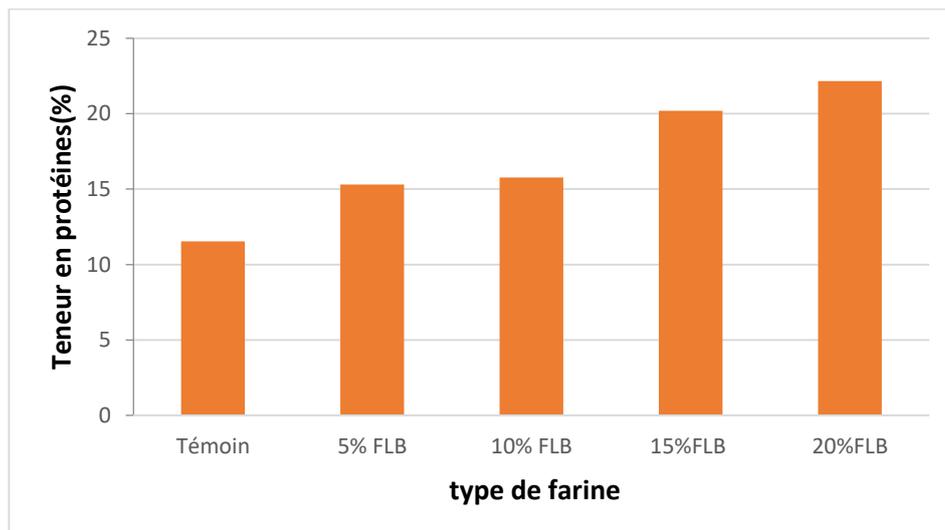


Figure 16 : Teneur en protéines des différents types de farines.

Selon la **Figure 16**, La teneur en protéines des farines étudiées est comprise entre 11,53% pour la farine témoin et 22,16% pour la 20% FLB. D'après la réglementation Algérienne qui exige une teneur en protéines supérieure à 11,5% en boulangerie, tous les types de farines sont conformes à la norme (**NA 1158.1990**). Les résultats trouvés montrent que la farine de lupin a nettement améliorée le statut protéique de la farine incorporée. Les légumineuses d'une manière générale sont connues par leurs richesses en protéines.

La teneur en protéine est un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle et technologique du produit fini. Dans la farine il existe une relation entre la teneur en protéine et la valeur boulangère. Cependant la qualité de la protéine peut varier d'une variété à une autre et en fonction des conditions agro-climatique (précédent culturale, fumure azoté, échaudage) (**Godon, 1991**).

5.2.3. Teneur en lipides

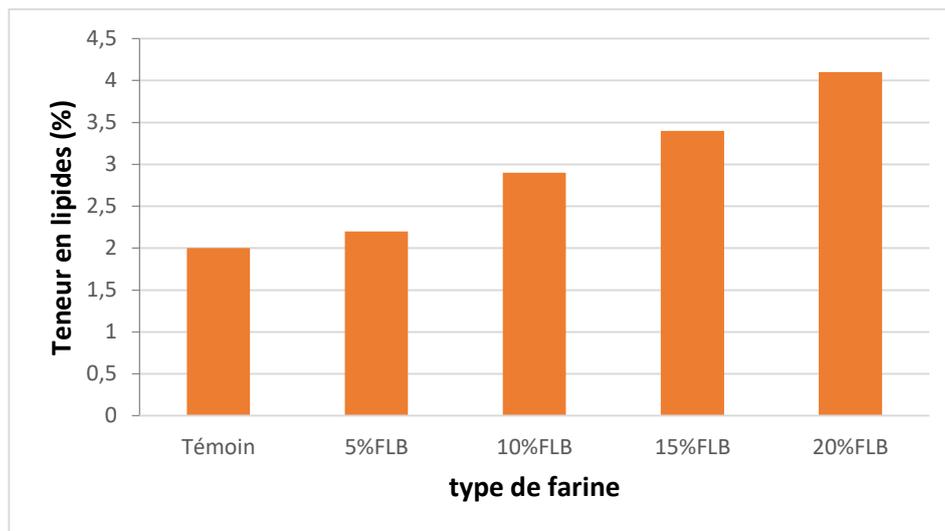


Figure 17 : Teneur en lipide des différents types de

Les valeurs obtenues représentent la teneur en lipide des différents types de farines. D'après les résultats représentés dans la **figure 17**, la farine témoin présente le taux de la matière grasse le plus faible avec une valeur de 2%. Le taux le plus élevé a été enregistré pour la farine 20%FLB qui est de 4,1%. Ce qui confirme qu'il existe une relation proportionnelle entre la teneur en lipide et l'incorporation de lupin blanc. On peut dire que la farine de lupin permet s'améliorer le statut lipidique aussi sur le plan quantitatif et qualitatif par la présence des acides gras surtout insaturés.

5.2.4. Teneur en glucides

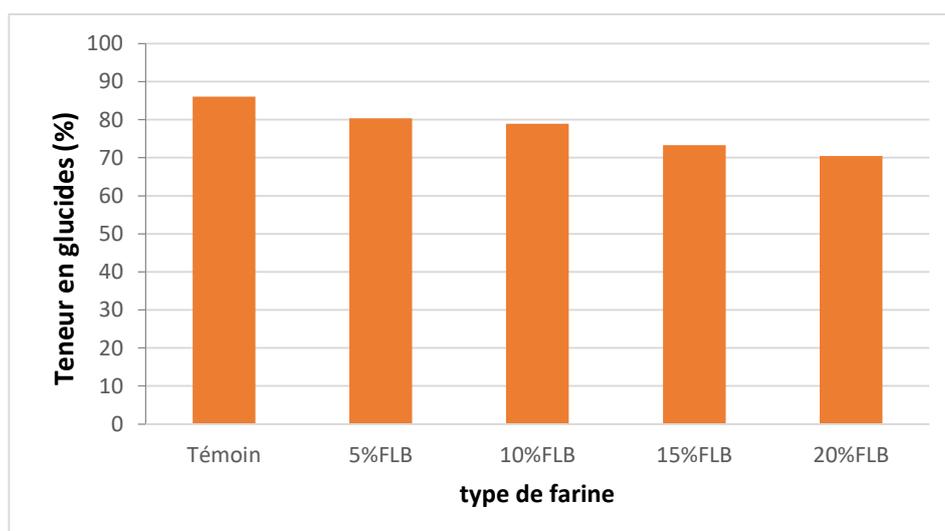


Figure 18 : Teneur en glucide des différents types de farines.

Comme l'indique **la figure 18**, La farine témoin est riche en glucide (86,05%) ceci peut être expliqué du fait que les glucides constituent la majeure partie de l'albumen dans le grain de blé. Par contre, les farines incorporées la teneur en glucide diminue à chaque fois que le taux d'incorporation augmente, car la teneur en glucides dans le lupin blanc est faible par rapport à celle de blé tendre. Ce résultat est intéressant sur le plan diététique, surtout si ce type de farine présente un index glycémique faible, et par conséquent peut être proposée aux personnes diabétiques.

5.3. Les résultats des analyses technologiques

5.3.1. Indice de chute

L'indice de chute de Hadberg mesure indirectement l'activité des amylases (enzymes dégradant l'amidon) qui peut devenir excessive dans le cas de présence de grains germés ou en voie de germination. Cette mesure a deux intérêts :

- Evaluer la valeur d'utilisation des blés. Un blé dont l'activité amylasique est trop importante ne convient pas aux industries et doit être orienté vers l'alimentation animale.
- Corriger éventuellement une activité amylasique insuffisante d'une farine en vue de son utilisation en boulangerie par l'ajout de malt ou d'amylases.

L'indice de chute est un indicateur de l'activité α -amylasique et rend compte du degré d'hydrolyse de l'amidon en sucres simples fermentescibles (**Bar.L, 2001**).

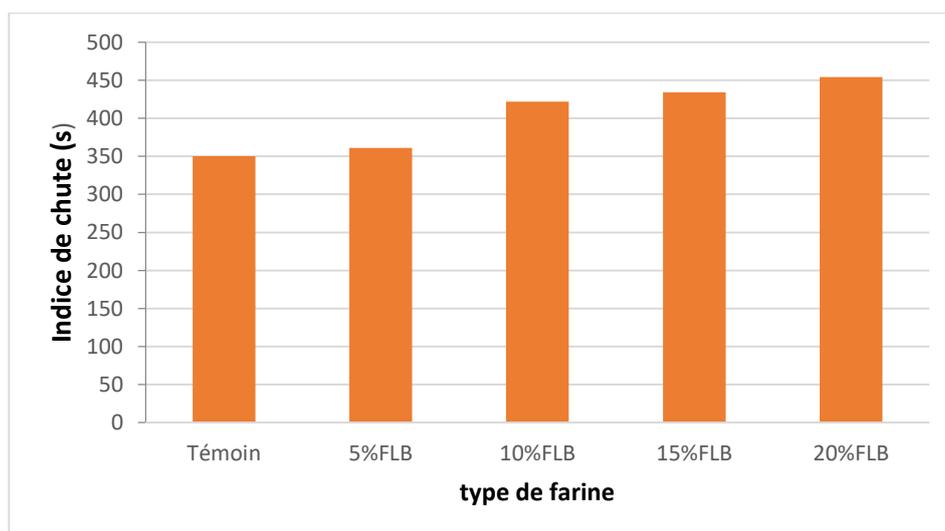


Figure 19 : Indice de chute des différents types de farines.

Selon la norme algérienne 1188/1990 :

- *Un indice de chute inférieur à 180s*, indique une activité amylasique élevée (hyper diastasique) donc la farine ne possède pas une valeur boulangère acceptable (beaucoup de grains germés, le pain présente une mie collante).
- *Un indice de chute entre 180 s et 250 s* indique une activité amylasique correcte (farine équilibré).
- *Un indice supérieur à 250s*, indique une faible activité amylasique (hypo diastasique) peu de grains germés, le pain sera sec.

D'après les résultats affichés dans la **figure 19**, les valeurs varient entre 350s et 454s. Ce qui montre que tous les valeurs sont supérieures à 250s, donc l'activité amylasique de des différents types de farines est faible ce qui montre l'appartenance aux farines hypo diastasiques.

5.3.2. Taux d'affleurement

La granulométrie d'une farine permet de caractériser la répartition en taille et en nombre des particules dont elle est composée ; le comportement des farines au cœur de leur transformation, notamment la vitesse d'hydratation en dépend (**Feillet, 2000**).

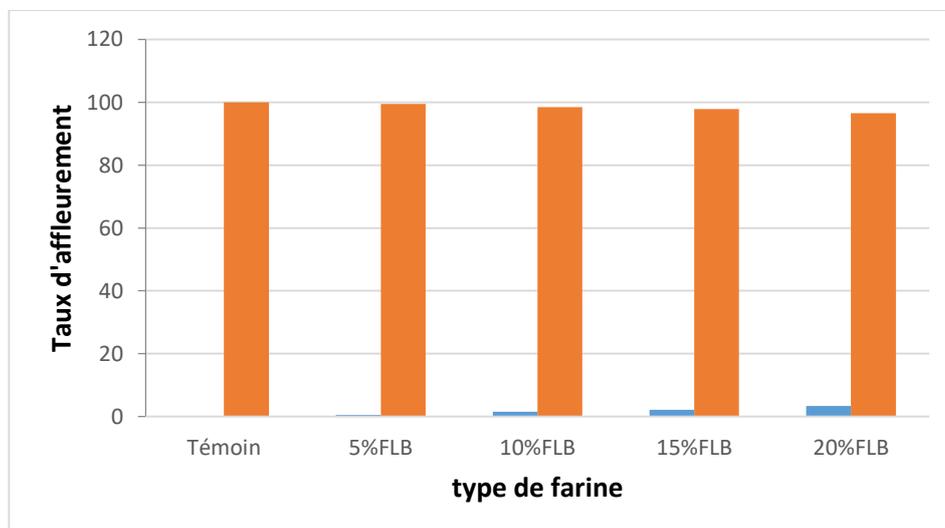


Figure 20 : Taux d'affleurement des différents types de farine.

D'après les résultats obtenus dans la **figure 20**, sont conformes à la norme (**JORA 1998**) qui exige un refus dans le tamis 200µm de **0% à 5%**, dont le taux d'affleurement varie entre 0,5% et 3,43%. On peut conclure que tous les types de farine sont de bonne qualité de point de vue granulométrie, c'est-à-dire elles sont homogènes.

5.3.3. Test d'alvéographe Chopin

Ce test permet de décrire les caractéristiques plastiques d'une pâte, qui dépendent considérablement de la teneur en protéines et notamment le gluten. Il donne des indications sur la consistance de la pâte lors de pétrissage mesuré par l'indice P, son élasticité, son allongement au façonnage L et la force de la farine W.

- **Force boulangère (W)**

Le paramètre « W » permet de déterminer la force boulangère d'une farine, il est très utilisé dans les transactions commerciales. Si ce paramètre a de l'importance, sa signification reste limitée si l'on ne tient pas compte des autres caractéristiques alvéographiques (Calvel, R, 1972).

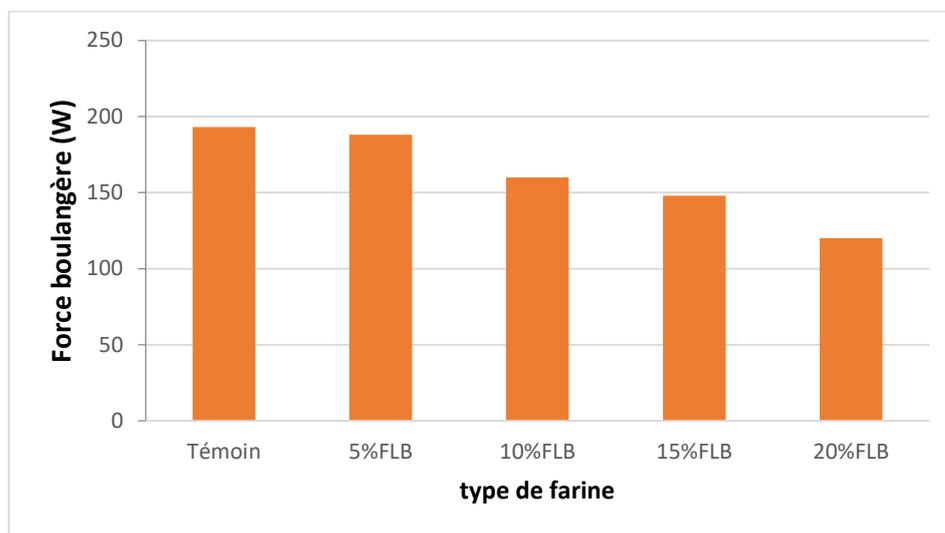


Figure 21 : Force boulangère (W) des différents types de farines.

D'après la norme **AFNOR V03-710** :

- $120 \times 10^{-4} \leq W \leq 130 \times 10^{-4}$: la farine est non panifiable.
- $130 \times 10^{-4} \leq W \leq 160 \times 10^{-4}$: la farine est panifiable, avec bonne force boulangère.
- $160 \times 10^{-4} \leq W \leq 193 \times 10^{-4}$: farine améliorante ou panifiable supérieure si alvéogramme est équilibré.

Les valeurs obtenues (**Figure 21**) montrent que les farines ont une force comprise entre $W=120 \times 10^{-4}$ J et $W=193 \times 10^{-4}$ J. La 20% FLB est une farine non panifiable, la 15% FLB est une farine panifiable avec une bonne force boulangère. Les trois autres types de farines sont des farines améliorantes.

La force boulangère est corrélée positivement à la teneur en gluten et plus exactement à la teneur en gluténines. La variation de la teneur en force boulangère (W) peut s'expliquer par la teneur en gluténines et gliadines (Feillet, 2000).

- **Gonflement de la pâte (G)**

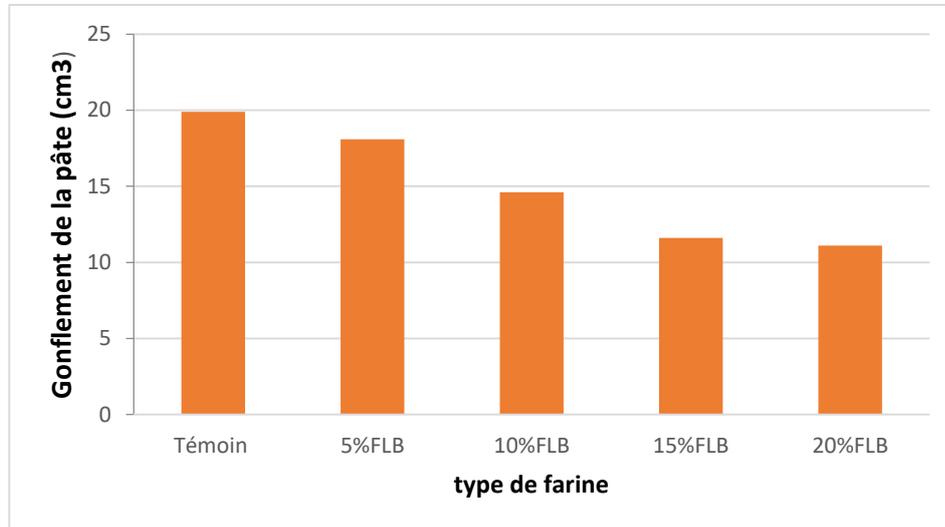


Figure 22 : Gonflement de la pâte des différents types de farine.

Les valeurs présentées dans la **figure 22** montrent que la farine témoin et 5% FLB sont conformes aux normes algérienne qui exige un $18 < G < 20$, qui de 19,9 et 18.1 respectivement pour la farine témoin et la 5%FLB. Par ailleurs, dans le cas de 10%,15% et 20% FLB ces farines ne sont pas conformes aux normes, puisque leurs G est pratiquement inférieur à 18 (JORA, 1998).

- **Rapport de configuration (P/L)**

Le rapport de configuration est entre la ténacité et l'extensibilité. Il traduit l'équilibre général de l'alvéogramme, c'est-à-dire l'équilibre dans les caractéristiques physiques des pâtes formées (Le Blanc, 2008).

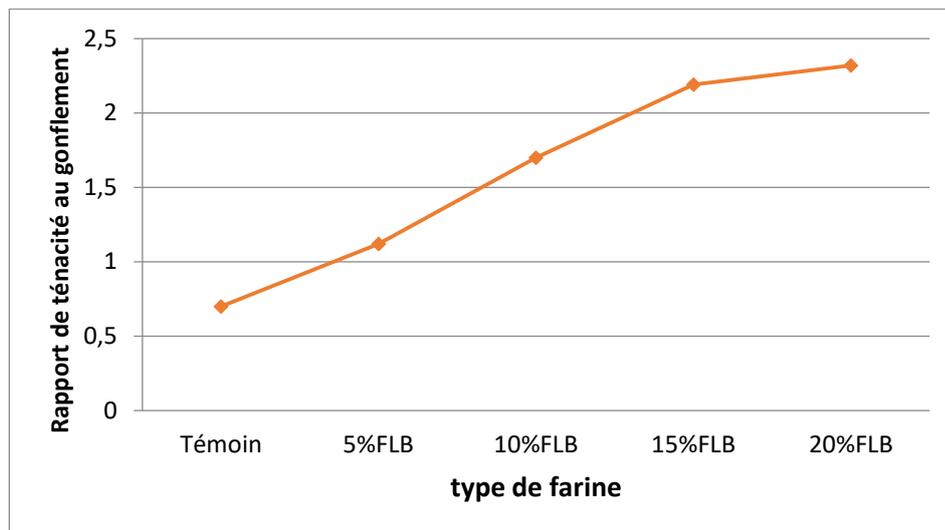


Figure 23 : Rapport de configuration (P/L) des différents types de farine.

Les résultats obtenus dans la **figure 23** représentent le rapport de configuration P/L. La meilleure valeur est enregistrée pour la farine témoin avec un $P/L = 0,7$ qui est conforme aux normes requises pour la panification algérienne ($0,3 < P/L < 0,7$) (**JORA, 1998**). Par contre les valeurs des autres farines varient entre 1,12 et 2,32.

Les valeurs élevées de rapport (P/L) des farines incorporés signifient que leur élasticité est plus faible que celle de farine témoin. Puisque l'élasticité est en relation directe avec la présence de gluten.

5.3.4. Indice de Zeleny

La valeur de l'indice de sédimentation serait reliée à la force boulangère des farines, elle est influencée par la teneur en protéines (**Feillet, 2000**).

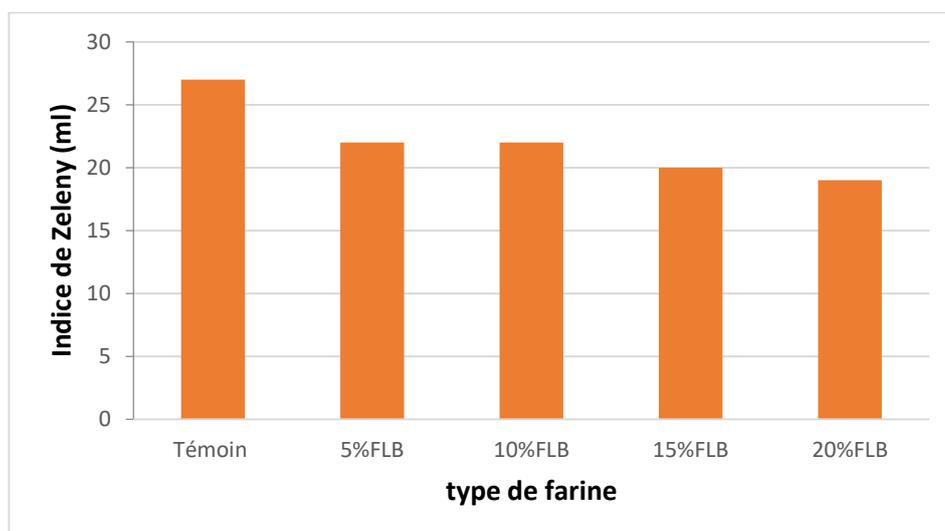


Figure 24 : Indice de Zeleny des différents types de farines.

D'après la **figure 24**, les résultats obtenus montrent que l'indice de Zeleny est conforme aux normes (NA 1184, 1994 ; ISO 5529) pour l'ensemble des échantillons analysés. Les farines ayant un indice compris entre 18ml et 28 ml ont une bonne force boulangère.

5.2. Test de panification

Le test de panification nous permet de contrôler l'aptitude d'une farine à élaborer un pain, ainsi d'évaluer les caractéristiques de la pâte et de pain. Ce test passe par les étapes suivantes : pétrissage, pointage, boulage, détente, façonnage, apprêt et cuisson. (**Annexe 09**)

5.3. L'analyse sensorielle

Les caractéristiques sensorielles des pains, à base de farine panifiable et mélanges (farine panifiable et farine de lupin blanc) ont été effectuées à l'œil nu de l'extérieur et des coupes longitudinales. La couleur, l'odeur et la texture du pain sont les premiers aspects qui attirent l'attention du consommateur.

Un test de dégustation a été effectué, au niveau de département d'agro-alimentaire et au sein d'entreprise SOPI, par 35 personnes (hommes/femmes) dont l'intervalle d'âge est de 21 ans à 60ans, en remplissant une fiche de dégustation (**Annexe 10**).

L'aspect de pain

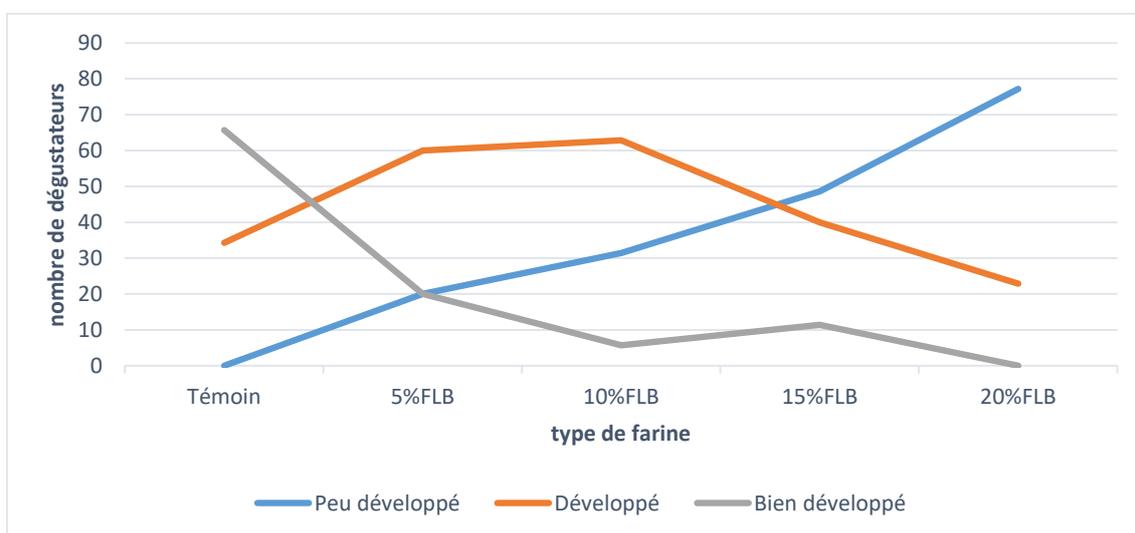


Figure 25 : L'aspect des différents types de pains

D'après la **figure 25**, pour le pain témoin 65,71% de personnes ont trouvé qu'il a un aspect bien développé et le reste (34,28%) ont constaté qu'il est développé.

Dans le cas du pain à 5%FLB, l'aspect développé a été choisi par la majorité des volontaires (60%), 20% de volontaires ont trouvé ce pain bien développé, avec l'apparition de l'aspect peu développé qui a été choisi par 20% de personnes.

Dans le cas du pain à 10% FLB, 62,85% de dégustateurs ont classés ce type de pain comme développé, 31,42% comme peu développé et 5,71% qui ont trouvés ce type de pain bien développé.

L'aspect peu développé est l'aspect majoritaire (48,57% de dégustateurs) pour le pain 15% FLB et 20% FLB (77,14% de dégustateurs). Par contre, l'aspect développé a été marqué par 40% de dégustateurs pour le pain 15% FLB et 22,85% pour le 20% FLB. Seuls 11,42% de personnes ont trouvés que le pain élaboré à partir de la farine 15% FLB est bien développé avec la disparition de cet aspect dans le cas du pain à 20% FLB.

L'aspect de chaque type de pain est présenté dans l'**Annexe 11**.

Texture de pain

Pour la texture des pains nous avons choisi les critères suivants : très moelleux, moelleux et peu moelleux.

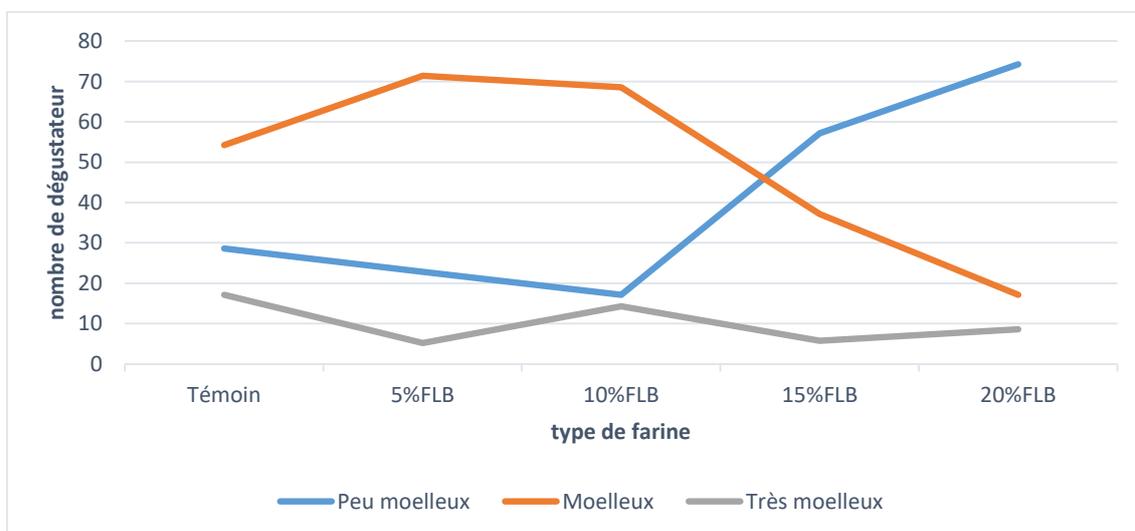


Figure 26 : La texture des différents types de pains

Les résultats obtenus dans la **figure 26** montrent que, pour le pain témoin 54,28% de dégustateurs ont choisi la texture moelleuse, alors que 28,57% ont trouvé une texture peu moelleuse et seulement 17,14% ont choisi la texture très moelleuse.

Pour le pain 5%FLB, la texture est moelleuse pour 71,42% de dégustateurs, une texture peu moelleuse pour 22,85% et enfin très moelleuse pour 5,17%.

68,57% de dégustateurs ont choisi la texture moelleuse pour le pain à 10%FLB, la texture peu moelleuse a été choisie par 17,14% seulement, par contre, le reste ont trouvé ce pain très moelleux.

57,14% de dégustateurs ont trouvé que la texture de pain 15%FLB est peu moelleuse, 37,14% d'autres ont opté que la texture est moelleuse et la texture très moelleuse pour une minorité (5,71%).

La texture peu moelleuse a été sélectionnée par la majorité de dégustateurs (74,28%) dans le cas de pain 20%FLB, 17,14% de personnes ont constaté que le pain est moelleux et le reste a constaté qu'il est très moelleux.

L'odeur de pain

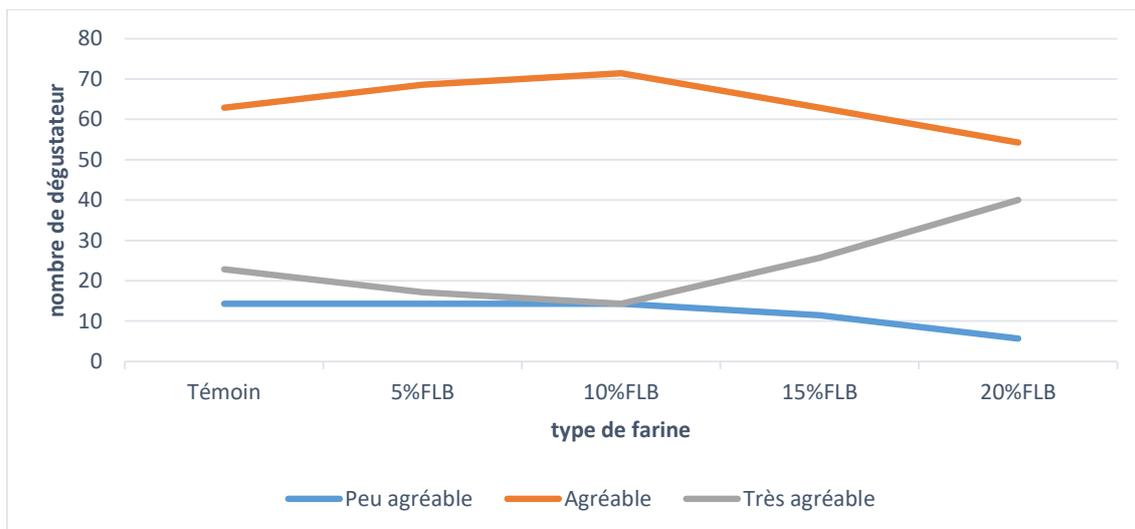


Figure 27 : L'odeur des différents types de pains

D'après la **figure 27**, la majorité des dégustateurs ont trouvé que l'odeur est agréable pour tous types de pain.

22,85% des volontaires ont trouvé que le pain témoin très agréable alors que 14,28% ont trouvé l'odeur peu agréable.

L'odeur très agréable a été choisie par 17,14% des dégustateurs et 17,28% ont trouvé que ce pain a une odeur peu agréable.

Pour le pain 10%FLB l'odeur très agréable et peu agréable ont eu le même pourcentage (14,28%)

L'odeur très agréable a été choisie par 25% de personnes pour le pain 15%FLB et 40% de personnes pour le pain 20%FLB. Une minorité a jugé l'odeur de pain 15% et 20%FLB peu agréable.

La couleur de la croûte

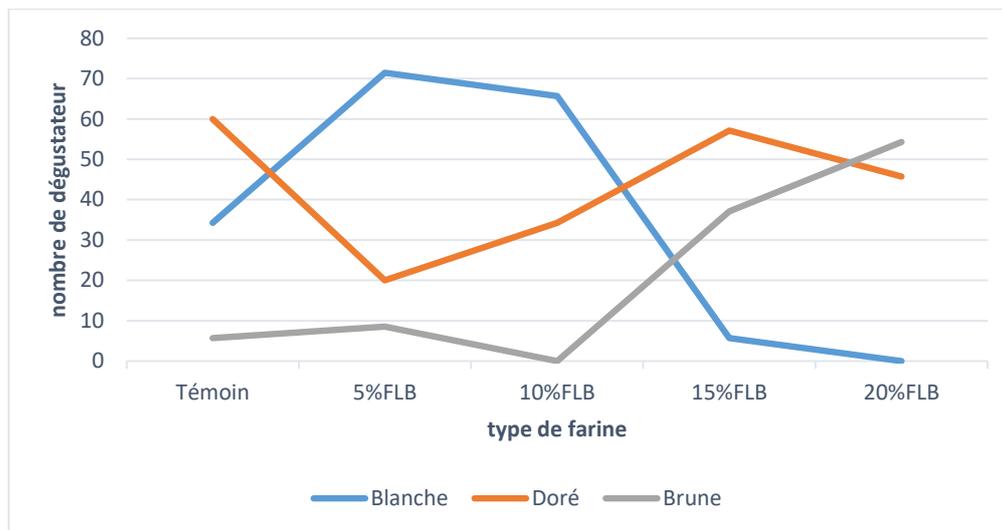


Figure 28 : La couleur de la croûte des différents types de pains

La couleur la plus choisie par les dégustateurs dans le cas de pain témoin est la couleur doré de la croûte avec un pourcentage de 60%, la couleur blanche pour le pain 5%FLB et 10%FLB respectivement de 71,42% et 65,71% et la couleur brune est le meilleur choix dans le cas de pain 20%FLB avec 54,28%.

- L'échantillon préféré

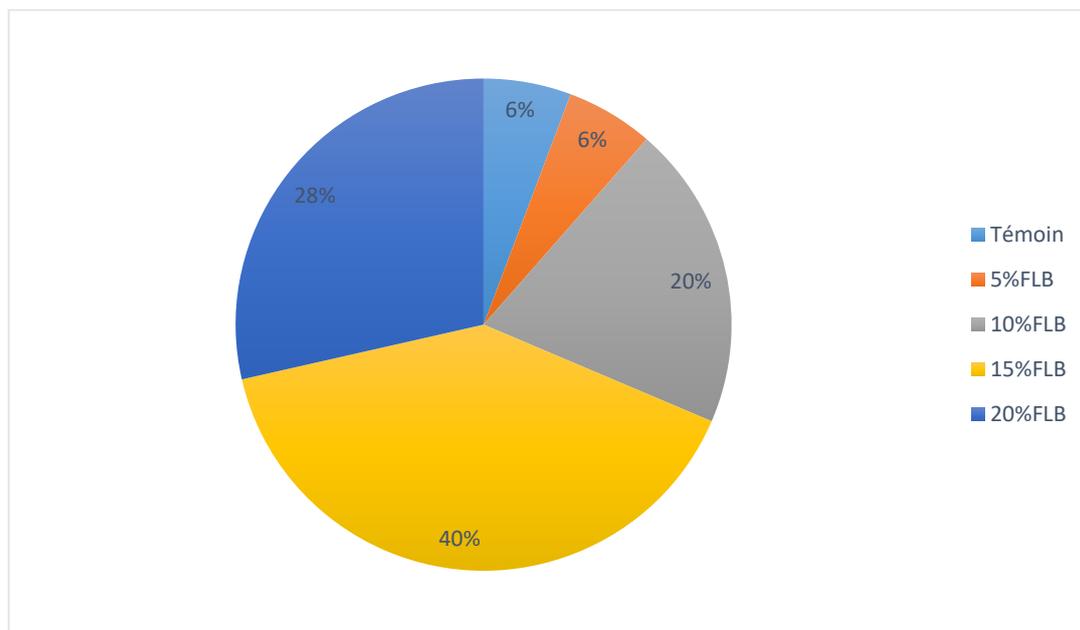


Figure 29 : le pain préféré des dégustateurs

D'après les résultats affichés dans la **figure 29**, le pain préféré de la majorité des dégustateurs est celui de 15%FLB avec un pourcentage de 40% suivi par le pain 20%FLB dont 28% de personnes l'ont choisi. Les différents types de pain restant ont été choisis par le reste des dégustateurs.

Conclusion

Ce travail a été mené dans l'objectif d'incorporer la farine des grains de lupin blanc dans une farine panifiable, afin d'améliorer sa qualité nutritionnelle surtout au niveau protéique et de voir sa capacité à conserver voir améliorer les propriétés organoleptiques et technologiques de cette farine.

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus dans le présent travail ont montré que les taux d'humidité des échantillons sont conformes aux normes, la richesse des farines incorporées en minéraux est la cause de l'augmentation de teneur en cendre. Par rapport à la qualité biochimique, la présence de farine de lupin blanc diminue la teneur en gluten dont la farine témoin est constituée de 9,8% de gluten sec alors que la 20%FLB est de 5,6%. Une augmentation significative a été observée dans la teneur en protéines des farines incorporées, on passe de 11,35 % pour la farine témoin à 24,11% pour la 20 FLB. Le même constat a été enregistré pour les lipides ou nous avons observé augmentation significative qui passe de 2 à 4,1%. Contrairement aux protéines et aux lipides, les glucides pour eux nous avons noté une diminution significative en fonction du taux d'incorporation.

Les valeurs obtenues des analyses technologiques présentent une augmentation d'indice de chute de différents types de farines ce qui a signifié une faible activité amylasique. En ce qui concerne la granulométrie, toutes les farines présentent une granulométrie homogène avec un refus inférieur à 5%. Le test alvéographique montre que plus le taux d'incorporation de la farine de lupin blanc augmente plus la force boulangère et la déformation de la pâte diminuent, par contre le rapport de configuration augmente en rapport avec la diminution de gluten qui a influé sur l'élasticité de la pâte. L'ensemble des échantillons analysés ont une bonne force boulangère en se basant sur l'indice de Zeleny.

Une analyse sensorielle basée sur un test de dégustation a été réalisée pour évaluer le degré d'acceptabilité de produit, ainsi que l'effet de l'incorporation de la farine de lupin blanc sur la couleur, l'odeur, la texture et la saveur de produit fini.

D'après le test de dégustation, le pain enrichi par 15%FLB qui avait une couleur dorée et une odeur agréable était plus apprécié par les dégustateurs que les autres types de pain.

En perspectives il serait intéressant de réaliser les points suivants :

- ✚ Elargir et approfondir et les analyses sur le plan nutritionnel, technologique et diététique.
- ✚ Effectuer des études sur d'autres variétés de lupins et d'autres variétés de légumineuses, et chercher les meilleures associations qui donnent des pains de qualité recherchée.
- ✚ Elargir l'incorporation de la farine des grains de lupin dans d'autres pâtes alimentaires.
- ✚ Encourager la culture et la production de lupin dans le territoire national.

Références bibliographiques

A

- Abécassis J et INRA-UMR IATE, 2015.** La Première Transformation du Blé Dur.
- AJISSE, 2000.** Guide de bonne pratique d'hygiène dans l'industrie de minoterie de blé tendre. Les journaux officiels. 166p.
- ALAIS ET LIDEN, 1997.** Biochimie alimentaire. ABREGES. 2ème édition, Masson. 254 p.
- ALEXANDRE de Spotifarm, 2020.** <https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/le-lupin-une-culture-simple-et-rentable-pour-se-diversifier>
- Anonyme1.**<https://picclick.fr/35-210-Graines-de-Lupin-des-Jardins-BLEU-Foncé-312798907512.html>
- Anonyme 2.**<https://www.leblogdici.fr/quand-le-lupin-fait-son-festival/>
- Anonyme 3.**<https://jardinsmichelcorbeil.com/produit/lupinus-gallery-blanc-lupin-lupine/>
- Anonyme 4.**https://www.gastronomiac.com/glossaire_des_produi/tramousse/
- Anonyme 5.** <https://jardinsmichelcorbeil.com/produit/lupinus-gallery-blanc-lupin-lupine/>
- Arnoldi, A., Resta, D., Brambilla, F., Boschin, G., D'agostina, A., Sirtori, A., & O'kane, F. (2007).** Parameters for the evaluation of the thermal damage and nutraceutical potential of lupin-based ingredients and food products. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(4), 431-436.
- Atwell W. A. 2001.** Wheat flour. Eagan press, Minnesota, USA, 123 p.

B

- Badoud R., Bauer W.J., Loliger J. Et Etournaud A. 2010.** Science et technologie des aliments : principe de chimie des constituants et de technologie des procédés. Edit PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES, pp 718-720.
- Bähr, M., Fechner, A., Hasenkopf, K., Mittermaier, S., & Jahreis, G. (2014).** Chemical composition of dehulled seeds of selected lupin cultivars in comparison to pea and soya bean. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 587-590.
- Bar.L, 2001.** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, institut technique des céréales et fourrages, paris, ,267p.
- Berland Et Roussel, 2005 :** les pains français. INRA, 30p, Paris.
- Besbes Mounia, 2015.** Effets comparés de deux associations lupin- blé et lupin- avoine sur le profil lipidique et lipoprotéique, le contrôle glycémique et les statuts redox et inflammatoires, chez les rat rendu obèse.
- BFR 2017,** Lupine protein: Risk assessment of the occurrence of alkaloids in lupin seeds.
- Boudreau A. Et Menard G. 1992.** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Donini Johnson, Canada, ISBN, pp 135-141.
- Boutroux L. 2010.** Le pain et la panification : chimie et technologie de la boulangerie et de la meunerie. Librairie J.B. BAILLIER E.et fils, pp 57-60.

Boye J., Wijesinha-Bettoni R. & Burlingame B., 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition* 108 Suppl. 2, 183-211.

Branger A., Richer M.M. Et Roustel S. 2009. Alimentation, processus technologique et contrôles. Edit Educagri, Paris, pp 77-90.

Brink, M., & Belay, G. (2006). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. [Traduction de: Plant Resources of Tropical Africa 1. Cereals and pulses. 2006]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas: BackhuysPublishers, Leiden, PaysBas/CTA, Wageningen, pays-Bas. 328p

Brochoire Gerard.2004 Devenir boulanger, 375p, France.

Brunnel Et Al, 2010. Brunnel C. Partyt B., Brijs K., Delcour J.R., (2010). "The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products". *Food Chemistry*. 120, 371-378

C

Calvel, R, 1972. "La Boulangerie Moderne ", Paris, Eyrolles, (1972), 466 p.

Cabrol Christian, 2006. Pain et nutrition, page 81.

CARIP C. 2009. Mise en œuvre des techniques culinaires. Edit Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 256p.

Chene A. (2001). La farine. *Journal de l'ADRIANOR*, 26, 3-8.

Come D. Et Corbineau F. 2006. Dictionnaire de la biologie des semences et des plantes, Edit TEC ET DOC, Lavoisier, Paris, 233 p.

D

Daniel H et al, 2018. Des protéines végétales pour remplacer la viande: une analyse pour la Suisse. Daniel Heine, Michael Rauch, Hans Ramseier, Susanne Müller, Alexandra Schmid, Katrin Kopf-Bolanz1 et Elisabeth Eugster.

Day L, 2013. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology* 32 (1), 25–42.

Delacharlerie S., De Biourge S., Chene C., Sindic M. Et Deroanne C. 2008. HACCP, organoleptiques. Guide pratique. Edit LES PRESSES AGRONOMIQUES, Belgique, 155p.

Doumandji, A, Doumandji, S, Doumandji, M, 2003. Technologie de transformation des blés et problème dus aux insectes en stock. *Office Des Publications Universitaires*, 129p, Alger.

Doxastakis G, Zafiriadis I, Irakli M, Tananaki C, 2002: Ajout de lupin, de soja et de triticales aux pâtes de farine de blé et leur effet sur les propriétés rhéologiques. *Chimie alimentaire*; 77: 219-227.

E

Eggum BO, Beame RM, 1983: La valeur nutritive des protéines de semence. Dans Muller WGPH (ed): Biochimie des protéines de semence, génétique et valeur nutritive. Junk: La Haye, 499-531.

Evans AJ, Cheung PCK, Cheetham NWH, 1993: The carbohydrate composition of cotyledons and hulls of cultivars of *Lupinus Angustifolius* from Western Australia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 61: 189-194.

F

Feillet, P, (2000). Le grain de blé: composition et utilisation. Editions Quae.

Fedala N, Mekimene L, Mokhtari A et Haddam M, 2015. Consommation du pain en Algérie : état des lieux, 665p, Alger.

Fourar, R, 2005. Cours de technologie de panification-boulangerie. Département Agro-Alimentaire, USDB1-BLIDA.

François C. 2009. Le régal végétal : plantes sauvages comestibles. Encyclopédie des plantes sauvages. Edit SANG DE LA TERRE, 526 P.

Fredot E. 2005. Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Edit Tec ET Doc, Lavoisier, Paris, 165- 266.

Friedman M., 1996. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44 (1), 6–29.

G

Gharib., (2007). Cours de céréales, Alnutris documentation gratuite en sciences des aliments.

Giannou, V., Kessoglou, V. & Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science and Technology*, 14(3) 99- 108.

Godon B. 1991. Les constituants des céréales: nature, propriétés et teneur. In «la biotransformation des produits céréaliers». Edit Tec & Doc, Lavoisier, Paris. France, 221p.

Gómez M, Oliete B, Rosell CM, Pando V, Fernandez E, 2008. Études sur la qualité des gâteaux à base de mélanges de farine wheat_chickpea. *LWT - Science et technologie alimentaires*; 41: 1701-1709.

Guéguen J., 1983. Legumeseedprotein extraction, processing, and end product characteristics. *QualitasPlantarum Plant Foods for Human Nutrition* 32 (3-4), 267–303

Guéguen J., Walrand S. & Bourgeois O., 2016. Les protéines végétales. Contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 51 (4), 177–185.

Guelmouna, 1985. Journée technique du pain. Ed.Cerial/mil Blida, 72-84.

H

Habtie, T., Adrnassu, S., & Asres, K. (2009). Effects of processing methods on some phytochemicals present in the seeds of *Lupinus albus* L. grown in Ethiopia. *Ethiopian Pharmaceutical Journal*, 27(2).

He S., Simpson B. K., Sun H., Ngadi M.O., Ma Y. & Huang T., 2015. Phaseolus vulgaris Lectins: A Systematic Review of Characteristics and Health Implications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0.

I

Iqbal A, Khalil IA, Ateeq N, Khan MS. Qualité nutritionnelle des légumineuses alimentaires importantes. *Chimie alimentaire* 2006; 97: 331-335.

J

Jansen, Pcm, 2006. *Lupinus albus* L. Record from PROTA4U, Brink, M. & Belay, G. (Éditeurs), PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays-Bas.

Jean-Philippe de Tonnac et Al, 2010. La France et son pain Jean-Philippe et Steven L. Kaplan A. Michel.

Jeantet R., Croguennec T., Schuck P. Et Brule G. 2007. Sciences des aliments, vol 2. Edit TEC et DOC, Lavoisier, paris, pp 133-160.

JORA, 1998. Normes Algériennes du journal officiel n°35 du 27 /05/1998.

K

Kiosseoglou V, Paraskevopoulou A, 2011. Propriétés fonctionnelles et physico-chimiques des protéines de pois. Dans B. Tiwari AG, & B. McKenna (ed): Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical application. Burlington: Elsevier Inc. Academic Press, 57-90.

L

Laboratoire Olcéa, 2019. <https://laboratoire-olcea.fr/index.php/indice-de-sedimentation-zeleny/>

Lafay O. 2010. Méthodes de nutrition ; Gérer l'équilibre. Edit Amphora, 298 p.

Landgraf, F, 2002. Produits et procédés de panification. Technique de l'ingénieur, F6180, 1-12.

Lanzmann-Petithory D. 2002. La diététique de la longévité. Edit Odile Jacob, 116p.

Lassoued, N-Oualdi, 2005. Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition, page 09.

Le Blanc, 2008. Les caractéristiques rhéologiques des pâtes. ENSMIC Alimentation humaine-condensé de cours.

Lee, YP. (2007). Effects of lupin kernel flour on satiety and features of the metabolic syndrome. (Doctoral thesis). University of Western Australia, Perth.

Lee YP, Mori TA, Sipsas S, Barden A, Puddey IB, Burke V, Hall RS, Hodgson JM, 2006. Le pain enrichi en lupin augmente la satiété et réduit l'apport énergétique de manière aiguë. *Am J Clin Nutr*; 84: 975-980.

Levavasseur, 2007. Suivi simultané de la consommation d'oxygène et de la consistance des pâtes de farine de blé à l'aide d'un pétrin instrumenté (le sitoxygraphe) : tentative d'explication biochimique et rhéologique. Application à l'ajout de laccases. Thèse de doctorat. Agro, Paris Tech, France page 415.

Lim, T. (2012). *Lupinus albus Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (pp. 763-769): Springer.

M

Marc Anton, Jacques Guéguen, 2011. Extraction et fonctionnalité des fractions protéiques, UR Biopolymères Interactions Assemblages (BIA) INRA Nantes Dijon Workshop légumineuses septembre 2011 L'avenir des légumineuses dans l'alimentation humaine novembre, Dijon.

Marry L'Abbé, 2016. Global Survey Finds High Levels of Salt in Canadian Bread.

Marti C et Al, 2008. Philippe Courcoux, Hubert Chiron et Sylvie Issanchou, Caractéristiques sensorielles clés pour l'acceptabilité d'un pain de type baguette française, *Revue Industries des Céréales* n°159, octobre 2008

Michele Mosiniak, Roger Prat Et Jean-Claude Roland, 2016. <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/production-agricole-agrosystemes/du-ble-au-pain>

Mohtadji-Laballais, 1998 : Les aliments. Editions Maloine. Paris.203p.

Mundo Da Saúde, São Paulo – 2014. Evaluation of the chemical composition, protein quality and digestibility of lupin (*Lupinus albus* and *Lupinus Angustifolius*).

N

Nicot, 2011. Guide de l'état de l'industrie meunière relatif à la prévention et à la protection des risques présenté par les installations de meunerie soumises à autorisation. Rubrique 2260, 178p.

P

Paraskevopoulou A, Provatidou E, Tsotsiou D, Kiosseoglou V, 2010. Rhéologie de la pâte et performance de cuisson des mélanges d'isolats de protéines farine de blé-lupin. *Food Research International*; 43: 1009-1016.

Papineau Et Huyghe, 2004. Le lupin doux protéagineux, édition France agricole, (ISBN 10-285557-112-x), 176p.

PRUSINSKI JANUSZ, 2017. White lupin (*Lupinus albus* L.) - Nutritional and health values in human nutrition *Czech Journal of Food sciences* 35(2): 95-105.

R

Ribotta, Arnulphi SA, Leôn AE, Anôn MC, 2015. Effet de l'addition de soja sur les propriétés rhéologiques et la qualité panifiable de la farine de blé. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 85: 1889-1896

Rochfort S, Panozzo J, 2007. Phytochimiques pour la santé, le rôle des légumineuses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 55: 7981-7994.

ROUSSEL, P & CHIRON, H. 2002. Les pains français Evolution, Qualité, Production. *Mae-Erti*, 433p, Vesoul.

Roy F, Boye JI, Simpson BK, 2010. Protéines et peptides bioactifs dans les légumineuses: pois, pois chiches et lentilles. *Food Research International*; 43:4 32-442

Rybiński, W., Świącicki, W., Bocianowski, J., Börner, A., Starzycka-Korbas, E., & Starzycki, M. (2018). Variability of fat content and fatty acids profiles in seeds of a Polish white lupin (*Lupinus albus* L.) collection. *Genetic resources and crop evolution*, 65(2), 417-431.

S

Sadowska J, Blaszcak W, Fornal J, Vidal-Valverde C, Frias J, 2003. Changements de la qualité et de la structure de la pâte de blé et du pain à la suite de l'ajout de farine de pois germé. *Eur Food Res Technol*; 216: 50.

Sarwar Gilani G., Wu Xiao C. & Cockell K. A., 2012. Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition* 108 Suppl. 2, 315-332.

Sbabou, L 2009. Thèse de doctorat. Diversité génétique du lupin au Maroc Diversité génétique du lupin au Maroc Et Etude du développement racinaire du lupin blanc sous stress abiotique par des approches de génomique fonctionnelle abiotique par des approches de génomique fonctionnelle des approches de génomique fonctionnelle. 31p.

Schaafsma G, 2005. The protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) — a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. *J Nutrition* 2005;88(3):988—94.

Shapter, 2007. Le grain livre des machines à pains. Edition de BOREE, 256p.

Shehzad, 2010. Rôle du pétrissage de farine de blé sur les propriétés rhéologiques de la pâte et la texture du pain.

Sherifah Baharudin, 2016. The Effects of Heat Treatment and Processing Techniques on the Quality of Australian Sweet Lupin (*Lupinus Angustifolius*) Flour. School of Public Health.

Sipsas, S. (2008A). Australian Sweet Lupin - a very healthy asset. In W. A. Department of Agriculture and Food (Ed.), Perth: (Department of Agriculture and Food, Western Australia).

Sipsas, S. (2008B). Lupin products - concepts and reality 12th International Lupin Conference, held in Perth, Western Australia, (pp. 506 - 513). *Csiro Plant Industry*.

Stéphaniebolot1, Michael Abrouk, Umarmasood-Quraishi, Nils Stein, Joachim Messing, Catherine Feuillet, Jérôme Salse, 2009 the* inner circle* of the cereal génomes. *Current opinion in plant biology*, 12(2):119- 125.

Sujak A, Kotlarz A & Strobel W, 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry* 98 (4), 711–719.

T

Terres Inovia, 2019. L'institut technique de référence des professionnels de la filière des huiles et protéines végétales et de la filière chanvre.

Tosh SM, Yada S, 2010. Fibres alimentaires dans les graines et fractions de légumineuses: caractérisation, attributs fonctionnels et applications. *Food Research International*; 43: 450-460

U

Ugrinovits Et Al, 2004.Ugrinovits M.S., Arrigoni E., Dossenbach A., Haberli G., Hanich H., J. Schwerzenbach J., Richemont L., Rychener M., Thormann H., Stalder U. (2004). Céréales, Produits de L'industrie Meunière, Prémélanges pour four, Mélanges de Farines Instantanées. Manuel suisse des denrées alimentaires. Chapitre, 14 : 19.

USDA, 2017. Branded Food ProductsDatabase.

V

Vierling E. 2003. Aliments et boissons, filières et produits. Edit DOIN, France, pp160- 169.

VIERLING E. ET FRENOT M. 2001. Biochimie des aliments diététiques du sujet bien portants, Wolters Kluwer, France, 267 p.

Voisin A.-S., Gueguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.-H., Magrini M.-B., Meynard J.-M., Mougel C., Pellerin S. & Pelzer E., 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34 (2), 361–380.

W

Wait, R., Gianazza, E., Brambilla, D., Eberini, I., Morandi, S., Arnoldi, A., & SIRTORI, C. R. (2005). Analysis of *Lupinus albus* storage proteins by two-dimensional electrophoresis and mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(11), 4599-4606.

WHO/FAO/UNU, 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Technical Report Series No. 935.

Wrigley C. 2004. Cereals. In *Encyclopedia of Grain Science*. Editors: WRIGLEY, C., CORKE, H., WALKER, E.C. Edition: Elsevier, vol I. pp 187-273, 320 p.

Y

Yeheyis, L., Kijora, C., Wink, M., & Peters, K. J. (2011). Effect of a traditional processing method on the chemical composition of local white lupin (*Lupinus albus* L.) seed in NorthWestern Ethiopia. *ZeitschriftfürNaturforschung C*, 66(7-8), 403-408.

Yorgancilar, M., Babaoglu, M., Hakki, E. E., & Atalay, E. (2009). Determination of the relationship among Old World Lupin (*Lupinus* sp.) species using RAPD and ISSR markers. *African Journal of Biotechnology*, 8(15), 3524-3530.

Z

Zenedine, A (2004). Détermination des mycotoxines dans les aliments et l'étude de la réduction des aflatoxines par les bactéries lactiques isolées des ferments panaires traditionnels.

Annexes

Annexe 01 : Photos originale de la préparation de matière première



Fiche technique des graines de lupin blanc :

Type : doux

Couleur : blanche

Forme : rende

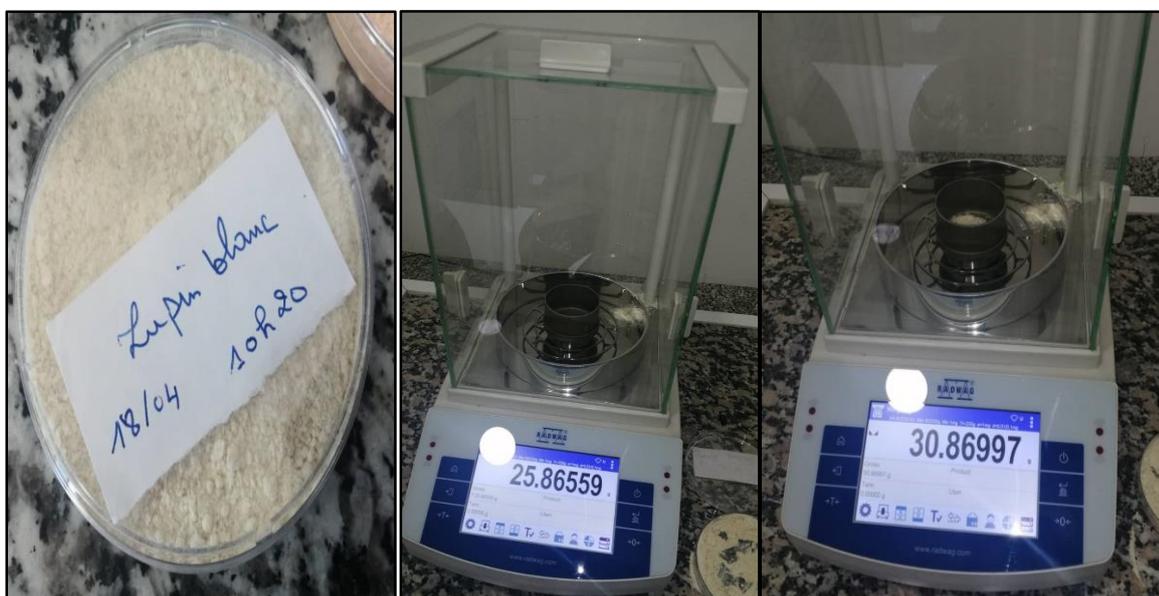
Taille : 7/8 mm

Humidité : 13%

Matière étrangère : 0,5%

Conditionnement : 25kg dans des sacs en polypropylène

Durée de conservation : 2 ans



Détermination de taux d'humidité



Broyeur électrique



Sacs en fibres synthétiques

Annexe 02 : Photos originales de la détermination de taux d'humidité



Les capsules et l'étuve Chopin



Dessiccateur

Annexe 03 : Photo de la détermination de taux de cendre



Four à moufle

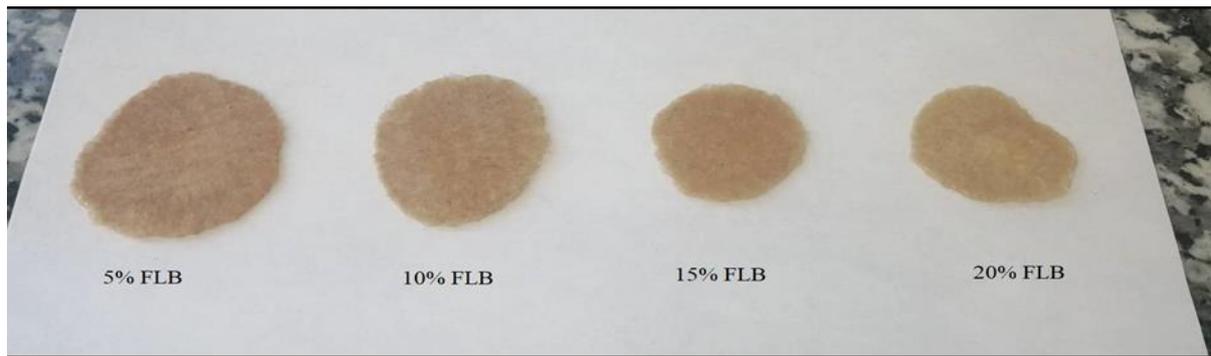
Annexe 04 : Photos originales de la détermination de teneur en gluten



La centrifugeuse



L'appareil de Glutork



Le gluten sec

Annexe 05 : Photos originales de la détermination de teneur en protéines (méthode de kjeldahl)



Le dispositif de chauffage



Les matras



Le distillateur



Changement de couleur du lipide au rose lors titrage

Annexe 06 : Photos originales de la détermination de teneur en lipides (méthode de soxhlet)



La balance et la cartouche



L'appareil de soxhlet



Le rota-vapeur à 45°C

Annexe 07 : Photos d'alvéographe Chopin



L'appareil d'alvéographe Chopin

Annexe 08 : Photos originales de test de zeleny



L'agitateur de zeleny



Les éprouvettes

Annexe 09 : Photos originales des étapes de panification



Pétrin de marque Bomann



Pointage de la pâte

Boulage manuelle



Façonnage à l'aide d'une Façonneuse mécanique



Incision superficielle des pâtons à l'aide d'une lame



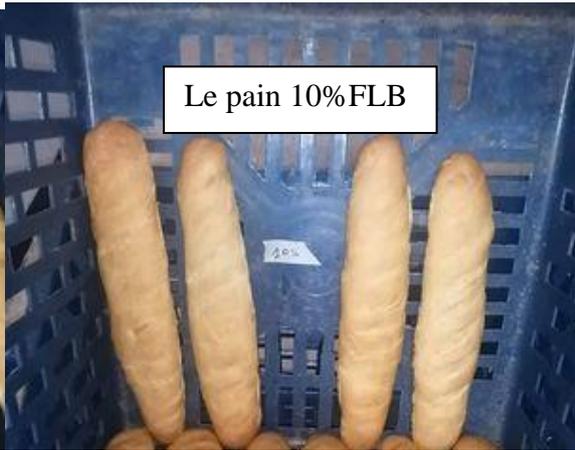
La chambre de fermentation (apprêt)



Les pâtons après fermentation



Le pain 5%FLB



Le pain 10%FLB



Le pain 15%FLB



Le pain 20%FLB

Annexe 10 : La fiche de dégustation

Fiche d'évaluation sensorielle des différents échantillons de pain

Produit : Pain

Date : 22/06/2022

Nom et Prénom :

Age :

Sexe : Femme Homme

Appréciation	Pain 01 (T)	Pain 02 (5%FLB)	Pain 03 (10%FLB)	Pain 04 (15%FLB)	Pain 05 (20%FLB)
Aspect					
Peu développé					
Développé					
Bien développé					
Texture					
Peu moelleux					
Moelleux					
Très moelleux					
Odeur					
Peu agréable					
Agréable					
Très agréable					
Saveur					
Bonne					
Acceptable					
La couleur de la croute					
Blanche					
Doré					
Brune					

Echantillon préféré :

Annexe 11 : Alvéolage de la mie (l'aspect)



Le pain témoin



Le pain 5%FLB



Le pain 10%FLB



Le pain 15%FLB



Le pain 20%FLB