

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II

En sciences Agronomiques

Option : Biotechnologie Alimentaire

Thème :

Effets de l'incorporation de graines alimentaires sur les qualités technologiques de la farine de blé destinée à la panification

Présenté par :

M^{elle}. BENHAMIMED Hakima

M^{elle}. CHAOUI Fatima Zohra

Soutenu devant le jury:

Mr. BENMILOUD.D

Président

Mr. ARIBI.M

Directeur de mémoire

Mr. BEKADA.A

Examineur

Année Universitaire : 2015-2016

Résumé

Objectif principal visé à travers ce travail est d'étudier les effets d'incorporation des différents farines tels que : le seigle, l'orge et le soja sur les qualités technologiques de la farine destiné à la panification, et des essais d'addition des améliorants comme la farine de lin et l'acide ascorbique pour corriger les défauts que présente ces mélanges.

La première partie, consiste à réaliser une analyse physico-chimique, technologique de matière première telle que la farine et le blé importé. Nous avons relevé que les résultats dégagés sont proches à la norme généralement admise.

La deuxième partie, nous avons réalisé des mélanges de farine de blé et de seigle, d'orge et du soja dans différentes proportions et nous avons déterminé les caractéristiques physico-chimiques et technologiques et réalisé des essais alvéographiques de ces mélanges. Les résultats obtenus nous ont montrés que nos mélanges à partir des couples 50% FB, 50% FSg ; 80% FB, 20% FO ; 80% FB, 20 % FS présentent des défauts de point de vue des aptitudes rhéologiques. Donc ces mélanges ont été choisis pour être l'objet de notre étude.

Etant donné que les mélanges choisis présentaient des défauts, des essais de correction ont été faits à l'aide des deux améliorants utilisés en panification, les résultats obtenus nous ont permis d'affirmer que certains améliorants ont un effet positif remarquable sur ces mélanges.

Enfin, un test de panification a été réalisé sur toutes les formules obtenues après chaque essai qui nous a donné des résultats qui confirment que les additifs que nous avons utilisés ont permis d'améliorer la valeur boulangère et nutritionnelle des mélanges et nous permettant ainsi de réaliser un « bon et beau pain » à base de ces mélanges.

Mots clés : Blé, seigle, orge, soja, test de panification, améliorant, analyse physico-chimique, technologique, matière première, farine, essais alvéographiques, aptitudes rhéologiques, valeur boulangère, nutritionnelle.

Abstract

The main objective aimed through this work is to study the effects of incorporation the various flours such as the Rye , Barley, soybean about technological qualities of flour intended for the bread- making and tests of the addition let us improve as flour the flax and ascorbic acid for correct the defects than present the mixtures.

The first part consisted in realizing a physicochemical, technological and organoleptic analysis of raw materials such as the flour and imported wheat, we found that the clear results are very close in the generally admitted standard.

The second part, we have executed the mixtures of wheat flour Rye , Barley, soybean in different proportions and we have determined the physicochemical, technological characteristics and realize the tests alvéographiques of the mixtures.

The obtained results ne have watches than our mixtures from this couples 50% FB/ 50% FSg ; 80 % FB/ 20 % Fo ; 80 % FB / 20% FS present the defects in view point of rheological skills, so these mixtures were selected to be subject our study.

Given that this mixture choose had the defects, the tests of correction was mad at help of the two improves improvers used in breadmaking, the obtained results we have permt of affirm that some improvers have an remarkabale effect positive with this mixtures.

Finally, a test of bread making was relized on all the formulae obtained after every trials that gave us the result which confirms as additives we used have permit to improve the nutritional value and baker the mixtures and allowing us to realise a good and beautiful bread a basis of thèse mixtures.

Key words : wheat, Rey, Barley, test of breadmaking, improving, physico-chemical, technological analyzes, raw matrial, trialsalvéographique, rheological skills, baker value, nutritional.



Dédicaces

A celle qui attend mon retour a chaque jour

*A celles qui m'a comblées d'affection, d'amour et de tendresse,
et qui a veillé a calte de mon berceau
pour consoler mes cris de douleurs, et qui n'a jamais cessé de le
faire.*

Ma mère

*A celui qui fait le plus brave des hommes, m'ouvrant ses bras
dans les sombres moments et
m'aidant à aller de l'avant vers le meilleur, et qui ma tant
soutenu moralement et
matériellement Mon père.*

A mon mari Fouad qui a toujours été la pour moi

Mes beaux parents

A mes très chers frères (Benissa, Cheref)

A mes très chères sœurs (Nawal, Fatima, Amina, Manel)

*Et sans oublier celle qui m'a été d'une aide précieuse mes
collègues Fatima et Fatiha Chaoui, Hania Kharoubi, Dalale
Mazouze que je les respecte et a qui
je les souhaite une bonne réussite.*

*A tous mes amis de la promotion,
son nom en particulier*





Dédicaces

A celle qui attend mon retour a chaque jour

*A celles qui m'a comblées d'affection, d'amour et de tendresse,
et qui a veillé a calte de mon berceau
pour consoler mes cris de douleurs, et qui n'a jamais cessé de le
faire.*

Ma mère

*A celui qui fait le plus brave des hommes, m'ouvrant ses bras
dans les sombres moments et
m'aidant à aller de l'avant vers le meilleur, et qui ma tant
soutenu moralement et
matériellement Mon père.*

A mes très chers frères (Abdelkader)

*A mes très chères sœurs (Fatiha, Fouzia, Meriem, Djamila,
Nawal)*

*Et sans oublier celle qui m'a été d'une aide précieuse mes
collègues Fatiha Chaoui, Hakima Benhamimed et Aicha
Chouachi que je les respecte et a qui
je les souhaite une bonne réussite.*

*A tous mes amis de la promotion,
son nom en particulier*



Remerciement

J'adresse en premier lieu ma reconnaissance à notre DIEU tout puissant, de m'avoir permis d'en arriver là, car sans lui rien n'est possible.

Je remercie vivement, notre encadreur Monsieur Aribi Moustapha, pour avoir accepté de nous encadrer et d'assurer la direction de ce travail, et pour nous avoir apporté la rigueur scientifique nécessaire à son bon déroulement, qu'il soit rassuré de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier :

Monsieur le professeur Djamel Benmiloud, qui a bien voulu faire l'honneur de présider notre jury de notre mémoire.

Monsieur Bekada Ahmed d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce modeste travail.

L'ensemble des enseignants de l'université Abdelhamid Ben Badis de Mostaganem qui ont contribué à notre formation chacun son nom.

Tout le personnel de la minoterie SIDI BENDEHIBA de Mostaganem qui nous a été d'une assistance permanente pendant la réalisation de ce travail, spécialement Madame Belamari Kheira et son collègue Monsieur Hassen.

Toute personne qui nous a aidées de loin ou de près afin de réaliser ce travail.

Le plus grand merci à nos parents, sœurs et frères, la famille, les amis.

Liste des abréviations

Ac asc : acide ascorbique

AFNOR : Association Française de Normalisation.

F : farine

FAO : Food and Agriculture Organisation

FB : farine de blé

FL : farine de lin

FO : farine de l'orge

FSg : farine de seigle

FS : farine de soja

Ft : farine témoin

G : gonflement

Ie : indice d'élasticité

L : extensibilité

MSB : Minoterie Sidi-Bendhiba

P : pression ou résistance maximale

q : quintal

Sec : seconde

T : température

W : travail de déformation

W.A : coefficient d'hydratation

°C : degré celsius

% : pourcentage

Liste des figures

☉ Figure 01 : Constitution histologique d'un grain de céréale	03
☉ Figure 02 : Schéma d'une coupe d'un grain de blé.....	06
☉ Figure 03 : Les grains de soja.....	16
☉ Figure 04 : Le bilan de la mouture du grain de blé tendre	26
☉ Figure 05 : Les étapes de la panification.....	37
☉ Figure 06 : Alvéogramme de Chopin.....	54
☉ Figure 07 : Diagramme de fabrication du pain.....	68

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux	
❖ Tableau N° 01: Composition minérale moyenne pour 100 gr de blé.....	08
❖ Tableau N° 02: Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé.....	10
❖ Tableau N° 03: Caractéristiques physiques et nutritionnelles (moyenne pour 100g).....	16
❖ Tableau N° 04: Composition chimique des grains de céréales (%).....	18
❖ Tableau N° 05: Composition chimique de la graine du lin	20
❖ Tableau N° 06: Composition en acides gras de la matière grasse de la graine du lin	20
❖ Tableau N° 07: Valeurs alimentaires de la graine de lin	21
❖ Tableau N° 08: Etapes de nettoyage du blé et impuretés éliminés.....	23
❖ Tableau N° 09: Composition biochimique de la farine.....	27
❖ Tableau N° 10: Composition des protéines de blé.....	28
❖ Tableau N° 11: Les types de la farine.....	31
❖ Tableau N° 12: Recette conseillée pour réalisation du pain au son.....	38
❖ Tableau N° 14: Recette conseillée pour réalisation du pain à l'orge.....	39
❖ Tableau N° 15: Recette conseillée pour réalisation du pain au seigle.....	40
❖ Tableau N° 16: Comparaison de la valeur nutritionnelle de différents types de pains	41
❖ Tableau N° 17: Les défauts du pain.....	42
❖ Tableau N° 18: Analyse physico-chimiques du blé.....	50
❖ Tableau N°19 : Les normes du poids spécifique des blés tendres.....	51
❖ Tableau N°20 : Résultats des analyses physico-chimiques et technologiques des farines mises en œuvre.....	52
❖ Tableau N°21 : Utilisations potentielles des blés selon leur force boulangère ITCF.....	55
❖ Tableau N°22: Résultats des essais alvéographiques de la farine de blé mise en œuvre.....	55
❖ Tableau N°23: Résultats des analyses physicochimiques et technologiques des mélanges de farine de blé avec la farine du seigle.....	56
❖ Tableau N°24: Résultats des essais alvéographiques de mélange de farine de blé avec la farine du seigle.....	57
❖ Tableau N°25: Résultats des analyses physicochimiques et technologiques des mélanges de farine de blé avec la farine de l'orge.....	57
❖ Tableau N°26: Résultats des essais alvéographiques de mélange de farine de blé avec la farine de l'orge.....	58

❖ Tableau N°27: Résultats des analyses physicochimiques et technologiques des mélanges de farine de blé avec la farine du soja.....	59
❖ Tableau N°28: Résultats des essais alvéographiques de mélange de farine de blé avec la farine de soja.....	60
❖ Tableau N°29: Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine de seigle	61
❖ Tableau N°30: Résultats des essais alvéographiques de la correction des mélanges de farine de blé avec la farine de seigle.....	61
❖ Tableau N°31: Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine d'orge.....	62
❖ Tableau N°32: Résultats des essais alvéographiques de la correction des mélanges de farine de blé avec la farine de l'orge.....	62
❖ Tableau N°33 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine du soja.....	63
❖ Tableau N°34: Résultats des essais alvéographiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine de soja.....	63
❖ Tableau N°35: Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de farine de blé avec le mélange des farines (FO. FS. FSg).....	64
❖ Tableau N°36: Résultats des essais alvéographiques de farine de blé avec le mélange des farines (FO. FS. FSg).....	64
❖ Tableau N°37 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de seigle.....	69
❖ Tableau N°38 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de soja.....	70
❖ Tableau N°39 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine d'orge.....	71
❖ Tableau N°40 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de seigle corrigé	72
❖ Tableau N°41 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine d'orge corrigé.....	73
❖ Tableau N°42 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de soja corrigé.....	74
❖ Tableau N°43 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec le mélange des farines de seigle, l'orge et du soja.....	75

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
------------------------------------	----

Partie 01 : Etude bibliographique

Chapitre I : Généralité sur les céréales

I. Caractéristiques histologiques des grains de céréales	03
I.1. Origine et historique du blé	04
I.2. Production du blé	04
I.2.1. La production mondiale	04
I.2.2. Production algérienne	04
I.3. Description	05
I.3.1. Description d'un grain de blé.....	05
I.3.1.1. L'enveloppe	05
I.3.1.2. L'Albumen ou amande farineuse.....	06
I.3.1.3. Le germe	06
I.4. Composition biochimique d'un grain de blé	07
I.4.1. Les glucides	07
I.4.2. Les protéines	07
I.4.3. Les lipides.....	08
I.4.4. Les minéraux	08
I.4.5. Les vitamines	08
I.4.6. Les enzymes	09
I.4.7. L'eau	09
I.5. Les caractéristiques physico chimique du blé	10
I.5.1. La valeur meunière	10
I.5.1.2. Le Poids de 1000 grains	11
I.5.1.3. Le poids spécifique(PS) ou poids à l'hectolitre(PHL).....	11
I.5.1.4. Le taux de cendres	11
I.5.1.5. Les impuretés	12
I.5.1.6. Taus d'extraction	12
I.5.1.7. La dureté (friabilité).....	12
I.5.2 Valeur boulangère	13
I.5.2.1 Taux de gluten	13
I.5.2.2 La Force boulangère (W)	13
I.5.2.3 Teneur en protéines	13
I.5.2.4 Indice de sédimentation (test de ZELENY)	13
I.5.2.5 Valeur fermentative	14

I.5.2.6 Indice de chute selon (HAGBERG-PERTEN)	14
I.5.2.7 Acidité grasse	14
I.6. Les différentes céréales	15
I.6.1 Céréales et leurs pourcentages de prolamine	15
I.6.2 Régime sans gluten et équilibre alimentaire	15
I.6.3 Soja.....	16
I.6.4 L'orge.....	17
I.6.5. Le seigle.....	17
I.6.6. Le lin.....	18
I.7. La face cachée des céréales	21
I.7.1. Intérêt nutritionnel des céréales complètes.....	21
I.7.2. Le pouvoir des céréales complète	22

Chapitre II : Généralité sur La farine

II.1. Définition de la farine	23
II.2. Technologie de transformation du blé	23
II.2.1 Transport et réception	23
II.2.2 Nettoyage et préparation à la mouture du blé	23
II.3. Les différents produits de la mouture	25
II.4 Composition biochimique de la farine	27
II.4.1. L'eau	27
II.4.2. Les glucides	27
II.4.3. Les protéines	28
II.4.4. Les matières minérales	29
II.4.5. Les vitamines	29
II.4.6. Les enzymes	29
II.5. Les propriétés physiques de la farine.....	29
II.6. Les propriétés mécanique	30
II.6.1. Les propriétés plastiques.....	30
II.6.2. Les Propriétés fermentatives	30
II.7. La valeur boulangère ou valeur en panification.....	30
II.8. Les types de farines	31
II.9. Les différents types de farines commercialisées.....	31
II.9.1. La farine ordinaire ou « ménagère ».....	31
II.9.2. La farine non blanchie.....	31
II.9.3. La farine à gâteaux	32
II.9.4. La farine à pâtisseries	32
II.9.5. La farine de boulangerie ou la farine à pain	32
II.10. Les critères de qualité	32
II.10.1. La teneur en eau	32
II.10.2. L'acidité grasse	32

II.11. La qualité des farines	32
II.12. Caractéristiques d'une farine panifiable	33

Chapitre III: Généralité sur le pain

III. Le pain	34
III.1. Définition	34
III.2. La valeur nutritionnelle du pain.....	34
III.3. Les ingrédients utilisés en panification	34
III.4. Les étapes de la panification.....	35
III.4.1. Pétrissage.....	35
III.4.2. Le pointage.....	35
III.4.4. Division.....	36
III.4.5. Boulage.....	36
III.4.6. Détente.....	36
III.4.7. Façonnage.....	36
III.4.8. Apprêt.....	36
III.4.9. Grignage ou scarification.....	36
III.4.10. Cuisson.....	36
III.4.11 Le ressuage ou refroidissement	37
III.5 Les différents types de pain commercialisés	37
III.5.1 Pain de campagne	37
III.5.2 Pain au son	38
III.5.3 Pain complet	38
III.5.4 Pain à l'orge	39
III.5.5 Pain au seigle	40
III.5.6 Pain de seigle	41
III.6 Intérêts nutritionnels de consommer du pain	41
III.7 Les défauts du pain	41
III.8 Les altérations du pain	43

Chapitre IV : Les améliorants pour panification

IV. Les améliorants	44
IV.1. Définitions	44
IV.2. Les différents améliorants de panification.....	44
IV.2.1. La farine de froment (3SF)	44
IV.2.2. La farine de fève	45
IV.2.3. La farine de soja	45
IV.2.4. La farine de lin	45
IV.2.5. Le malt	46
IV.2.6. Les amylases fongiques	46
IV.2.7. Le gluten	46

IV.2.8. L'acide ascorbique	47
IV.2.9. Les émulsifiants (lécithine de soja)	47

Partie 02 : Etude expérimentale

I. Méthodologie.....	48
I.1. Objectif de l'étude	48
I.2. Matériels et méthodes	48
I.2.1. Analyses physico-chimiques.....	48
I.2.2. Analyses technologique.....	49
I.2.3. Essais de panification.....	49
II. Caractéristiques physico-chimiques et technologiques de blé tendre mise en œuvre	50
II-1 Analyses physico-chimiques du blé.....	50
II-1-1 Résultats des analyses physico-chimiques	50
III. Caractéristiques physico-chimiques et technologiques des farines mises en œuvre.....	52
IV. Réalisation des mélanges	56
1. Mélange de farine de blé et la farine de seigle.....	56
2. Mélange de la farine de blé avec la farine de l'orge.....	57
3. Mélange de la farine de blé et la farine de soja.....	59
V. L'effet de l'acide ascorbique et la farine de lin sur les différents mélanges a corrigés	61
VI. Essais de panification	65
1. Matériels et ingrédients utilisés en panification.....	66
2. Mode opératoire de la panification	66
3. Résultats du test de panification	68
Conclusion.....	76

Annexes

Références bibliographiques

Introduction générale

Les céréales et leurs dérivés constituent les principales ressources alimentaires de l'humanité, en raison de leur source d'énergie et leur grande richesse en protéines. Principalement destinés à l'alimentation des humains (à hauteur de 75% de la production), les céréales assurent 15% des besoins énergétiques, elles servent également à l'alimentation animale (15% de la production) et à des usages non alimentaires (**Feillet, 2000**).

Le blé occupe une surface de 212 millions d'hectares produisant une récolte de 622 millions de tonnes (**FAO, 2005**), ce qui le rend la céréale la plus cultivée au monde. L'Algérie importe annuellement entre 65 % et 70 % de ses besoins en céréales occupant de ce fait la première place en Afrique et le troisième importateur à l'échelle mondiale.

La consommation des produits de boulangerie, notamment celle du pain occupe une place prépondérante dans le régime alimentaire des peuples, même dans les pays non producteurs de blé. Ces derniers deviennent de plus en plus tributaires des nations productrices de blé, particulièrement lors des crises économiques où le blé revient très cher à l'importation. Pour palier cette situation, il se développe de plus en plus des technologies de substitution de la farine de blé par des farines provenant des ressources alimentaires locales (**Defloor, 1995 ; Balla, 1999**). En effet, les farines panifiables reconstituées sont généralement des mélanges de farines de blé incorporées de farines de céréales (orge, soja, seigle, etc.) ou des additifs alimentaires comme correcteurs et améliorons (acide ascorbique , Propionate de calcium , Concentre moelleux , etc.) dans des proportions variées (**Asiedu, 1991 ; CTA, 1991 ; Melcion, 1991 ; Balla, 1999**).

L'utilisation de blé de bonne qualité est la première condition nécessaire pour obtenir du bon pain. Depuis 20 ans, la qualité du blé cultivé a fortement évolué. Grâce à un effort de sélection, de nombreuses variétés sont devenues plus riches en gluten et plus facilement panifiables. Ceci ne signifie pas qu'elles donnent du pain de meilleure qualité gustative et nutritionnelle. La sélection sur le gluten, sur les propriétés visco-élastiques de la pâte a peu d'intérêt sur le plan nutritionnel (**Leenhardt et al, 2005**).

Les céréales notamment le blé est le plus consommée, néanmoins l'un de ses composants protéiques, le gluten suscite une intolérance chez certains sujets prédisposés appelée maladie cœliaque (**ANCELLIN et al, 2004**).

Notre expérimentation a été effectuée au sein de la minoterie SIDI BENDHIBA de Mostaganem. Spécialisée dans la production des farines panifiables a pour objectif principal de mettre en évidence les effets d'incorporation des différents farines tels que : le seigle, l'orge, le soja sur les qualités technologiques de la farine destiné à la panification, et un essai d'addition d'un améliorant naturel comme la farine de lin et un améliorant chimique comme l'acide ascorbique pour corriger les défauts que présente ces mélanges.

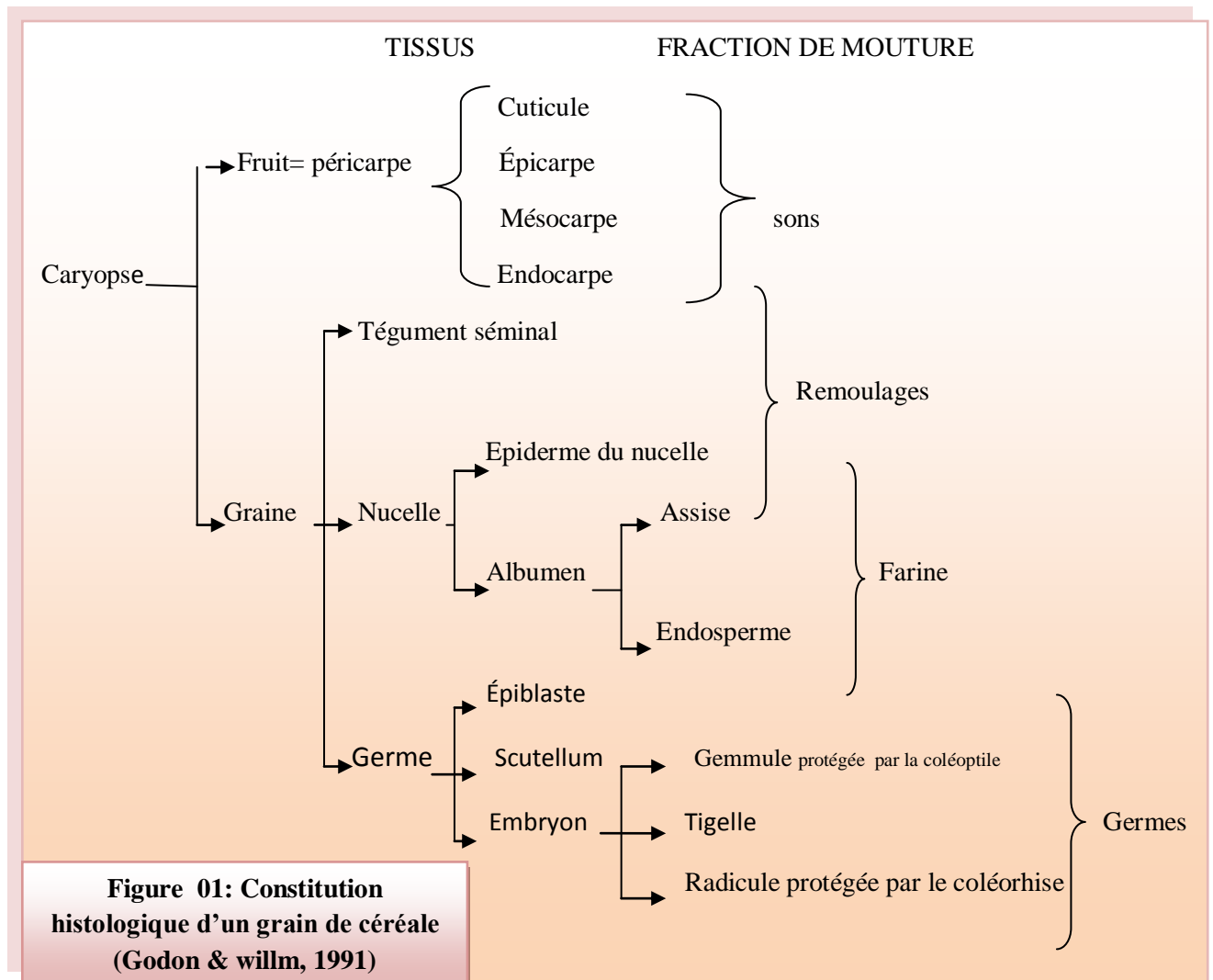
CHAPITRE I

Généralités sur les céréales



I. Caractéristiques histologiques des grains de céréales

Les grains des céréales sont des fruits, appelés caryopse, ces derniers sont de forme ovoïde, possédant sur l'un de leur face une cavité longitudinale « le sillon » et à l'extrémité opposé de l'embryon des touffes de poils « la brosse » (Beaugrand, 2004; Godon et Willm, 1991). Elles possèdent toutes des grains qui sont constitués successivement de l'extérieur vers l'intérieur. (Canadas, 2006; MC Bean et Mc leod, 2007). Les enveloppes de la graine et du fruit donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseurs variables et sont formées de six tissus différents: épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe la graine) cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13%-17%) (Godon et Willm, 1991; Feillet, 2000) L'albumen (80-85%) du grain principalement amylicé et vitreux, possède à sa périphérie une couche à aleurone (Kent, 1975; Feillet, 2000) Le germe (3%) composé d'un embryon, lui-même formé des coléoptiles, de la gemmule, de la radicule, du coléorhise, de la coiffe et du scutellum (Feillet, 2000; Jeantet et al., 2007.)



I.1. Origine et historique du blé :

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

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

Pendant plusieurs siècles, il a été vénéré comme un dieu et associé à la pluie, l'agriculture et la fécondité (RUEL., 2006).

I.2. Production du blé :

I.2.1. La production mondiale :

Le blé est l'une des céréales les plus consommées dans le monde. Les pays producteurs de blé sont la Russie, l'Ukraine, les Etats-Unis d'Amérique, la Chine, le Canada et l'Australie. Par contre les pays importateurs de blé sont les pays en voie de développement entre autres l'Algérie.

Selon le conseil international des céréales, la production mondiale de blé pour la campagne 2011-2012 est estimée à 690 millions de tonnes, soit une hausse de 6,5% par rapport à la période 2010-2011.

Les stocks devraient également progresser, à 204 millions de tonnes, proches de leur sommet datant de la campagne 1999-2000 (anonyme₁ 2012).

I.2.2. Production algérienne :

Le secteur des céréales occupe une place très importante dans l'économie algérienne car l'Algérie appartient au groupe des gros plus importateurs de blé dans le monde, où elle est classée à la sixième place.

En effet, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journaliers proviennent de ces produits et le blé représente 88% des céréales consommées (Padilla et Oberti, 2000).

L'Algérie se situe au premier rang mondial de la consommation de blé avec plus de 200kg par tête en 2003 (kellou R., 2008).

Selon le ministère algérien de l'agriculture et de développement rural, l'Algérie prévoit une production de 55 millions de quintaux de céréales en 2012, alors qu'elle était évaluée à 42,5 millions de quintaux en 2011 (Anonyme₂, 2012).

I.3. Description

Le blé est une plante annuelle, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (**Feillet., 2000**).

On distingue deux espèces de blé les plus cultivées : le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Elles se différencient par la friabilité de l'amande, qui est plus importante pour le blé tendre et permet la transformation en farine, alors que le blé dur est plus apte à se transformer en semoules.

Le blé tendre est utilisé pour la panification, la pâtisserie, la biscuiterie. Il est panifiable.

Le blé dur est utilisé pour les pâtes alimentaires, les semoules, les couscous. Il est pastifiable.

Chacune de ces espèces compte plusieurs variétés dont les caractéristiques sont très divers tant par leur composition que par leurs qualités technologiques.

I.3.1. Description d'un grain de blé :

Le grain de blé est un fruit sec appelé caryopse d'une graine et de téguments (**Anonyme₃, 2012**).

De forme ovoïde, plus ou moins allongée sa longueur varie de 6,5 à 8,5 mm et son diamètre de 3 à 4 mm.

Le grain de blé comprend trois parties principales :

-l'enveloppe

-l'amande farineuse

- le germe

I.3.1.1. L'enveloppe :

Elle représente environ 17% du poids du grain .Elle est constituée par des couches de cellulose superposées comme suit :

- ❖ **Le péricarpe** : c'est une enveloppe avec des cellules dont la membrane est épaisse riche en fibres cellulosiques et hémicellulosique, son utilisation digestive est médiocre ; elle est riche également en sels minéraux et en acide phytique qui complexe le calcium et le fer et détermine sa disponibilité.
- ❖ **Le tégument séminal** : contient les colorants du grain qui lui donnent sa couleur jaune marron.
- ❖ **La bande hyaline** : c'est un ensemble de cellules transparentes ;

- ❖ **L'assise protéique ou couche à aleurone** (aleurone étant une substance protidique de réserve) qui est riche en protéines, vitamines (elle contient près du 13 des vitamines B1 et B2 et environ les 2/3 des vitamines B6 et B3 du grain), minéraux, lipides. Cellulose et lignine.

I.3.1.2. L'Albumen ou amande farineuse

C'est la partie du grain qui donne la farine. Elle est blanche et farineuse dans le blé tendre, tend vers le jaune et vitreux dans le blé dur. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renfermant les grains d'amidon (70% de l'amidon total) réunis entre eux par un réseau de nature protéique, le gluten.

Elle représente 80% du poids du grain et sa partie inférieure est délimitée par le germe.

I.3.1.3. Le germe

Il représente 3% du poids du grain et il est riche en vitamines et en lipides. Il est constitué de 2 parties :

-l'**embryon**, formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorizhe et de la coiffe (**feillet., 2000**).

-le **scutellum** qui entoure l'embryon, le protège, et joue un rôle nourricier (**Fredot E., 2005**).

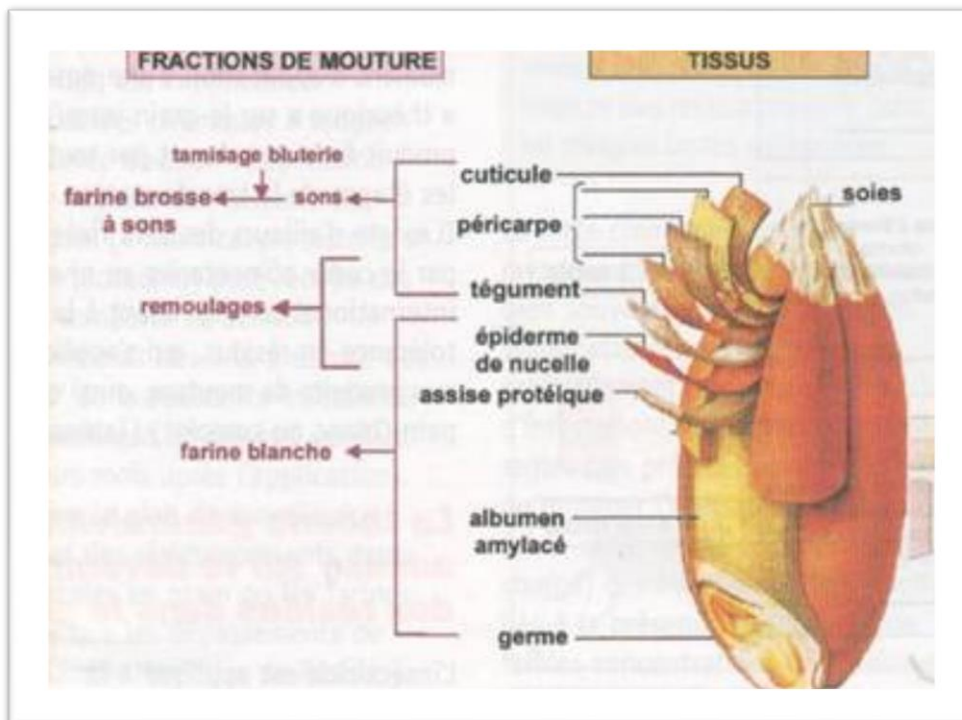


Figure 02 : Schéma d'une coupe d'un grain de blé (Fredot E., 2005).

I.4. Composition biochimique d'un grain de blé :

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) : les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**feillet, 2000**).

I.4.1. Les glucides :

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

L'amidon est la substance énergétique la plus importante, c'est le constituant majeur des céréales pour 60 à 65% du poids du blé. C'est un polymère de glucose. D'après **Michel et Rousset en 1998**, il est constitué des chaînes non ramifiées (amylose) : 25% et des chaînes ramifiées (amylo-dextrines) : 75%.

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

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

I.4.2. Les protéines :

Elles représentent 12% du poids du grain. Ce sont des composés azotés que l'on rencontre sous forme simple (acides aminés) ou complexe (protéines). Elles sont constituées par plus d'une cinquantaine de constituants classées d'après leurs propriétés de solubilité en quatre fractions :

- Albumines, hydrosolubles (9%).
- Globulines, solubles dans les solutions salées diluées (6%).
- Prolamines et gliadines, solubles dans les solutions alcooliques (45%).
- Glutenines, solubles dans les solutions acides diluées (40%)

(Sophie Berland et Philippe Roussel, 2005)

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

Il a la propriété de lever par fermentation et est très sensible à la température (**J.F Crus et al, 1989**).

I.4.3. Les lipides :

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

Les lipides des céréales sont riches en acides gras insaturés (acide oléique et acide linoléique) (Godon et William, 1991).

I.4.4. Les minéraux :

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

Les céréales ont une teneur élevée en potassium, en phosphore, en magnésium et une faible teneur en fer, zinc et en calcium.

Tableau N° 01 : Composition minérale moyenne pour 100 gr de blé, (Fredot, 2005).

Minéraux	Blé (mg/ 100g)
Calcium	35
Phosphore	400
Magnésium	140
Sodium	3
Potassium	435
Fer	5
Zinc	4.1
Cuivre	0.6
Sélénium	100

I.4.5. Les vitamines :

Sont des composés chimiques complexes, elles se trouvent surtout dans le péricarpe et le germe, à des teneurs très faible. Lors de la mouture, une partie des vitamines sera perdue dans les sons à cause de la forte concentration au niveau de germe et des enveloppes (J.F Cruz et al, 1989).

Toutes les céréales ont des caractéristiques similaires : absence de vitamines A, C et D et présence des vitamines du groupe B.

❖ **Vitamines hydrosolubles :**

- **Vitamine B :** 0.41 mg/100g : ces teneurs sont intéressantes mais les 2/3 sont situés dans le scutellum, l'autre 1/3 se trouvent dans l'assise protéique.
- **Vitamine B2 :** 0.1 mg/100g : c'est une source très médiocre dont 50% est situé dans l'amande.
- **Vitamine B3 :** 4.7 mg/ 100g : ces teneurs sont intéressantes mais les 2/3 se trouvent dans l'assise protéique.
- **Vitamine B6 :** 0.5mg/100g : ces teneurs sont moyennes.
- **Vitamine B9 :** 50 µg/100g : ces une source médiocre.

(Fredot, 2005).

❖ **Vitamines liposolubles :**

La seule solution liposoluble présente dans le grain de blé est la vitamine E avec 2.5 mg/100g. Elle se trouve essentiellement dans le germe car c'est à cet endroit que l'on trouve le plus de lipides. (Fredot, 2005).

I.4.6. Les enzymes :

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

Les enzymes les plus importantes en technologie des céréales sont celles qui provoquent la dégradation des protéines, des lipides et des glucides. Nous avons :

* **Les glucidases :** - β amylases qui transforment l'amidon en β - maltoses, c'est la plus importante des diastases du grain de blé. Elles se trouvent dans le grain sain, normal et inactivé par la chaleur, par conséquent sa principale action a lieu pendant la fermentation.

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

***Les enzymes protéolytiques :** elles sont activées par la cystéine.

***Les lipases et lipoxygénases :** qui agissent sur les lipides en entraînant la libération des acides gras libres ce qui en générales altère la produit.

La lipoxygénase catalyses l'oxydation par l'oxygène moléculaire du bêta-xanthophylle responsable des pigments jaunes de la semoule.

I.4.7. L'eau :

L'eau est toujours présente dans le grain de blé, il est en moyenne de 13%, cette faible teneur lui permet d'être stocké longtemps en évitant ainsi le développement des micro- organismes en particulier les moisissures (Fredot, 2005).

Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain.

Tableau N°2 : Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé (Feillet., 2000).

	Grain	Péricarpe (1)		Aleurone		Albumen		Germe	
	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G
Protéines	13.7	10	4.4	30	15.3	12.0	73.5	31	6.8
Lipides	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5
Amidon	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0
Sucres réducteurs	2.4	0	0	0	0	1.8	62.7	30	37.3
Pentosanes	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9
Cellulose	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2
Minéraux	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7

%G = % du constituant dans le grain ;

%T = % du constituants dans le tissu ;

(1)% du tissu dans le grain.

I.5. Les caractéristiques physico chimique du blé :

La qualité du blé repose sur deux critères principalement : la valeur meunière et la valeur boulangère.

I.5.1. La valeur meunière :

La valeur meunière d'un blé représente son aptitude à donner plus ou moins de farine répondant à des caractéristiques bien définies. Cette valeur est définie par les paramètres suivants :

I.5.1.1. L'humidité :

La mesure de la teneur en eau des céréales et des produits dérivés est une opération capitale qui présente trois intérêts principaux.

- intérêt technologique, pour la détermination et la conduite rationnelle des opérations de récolte , de séchage, de stockage ou de transformation industrielle.
- intérêt analytique, pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixe (matière sèche ou de teneur en eau standard).
- intérêt commercial et réglementaire, les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de teneur en eau à partir desquels sont appliquées des bonifications et des réfections. **(ITCF, 2001)**

I.5.1.2. Le Poids de 1000 grains :

La masse de 1000 grains ou poids de 1000 grains présente deux intérêts principaux :

❖ Intérêt agronomique :

La taille du grain est une caractéristique essentiellement variétale, mais elle dépend également des conditions de culture. La masse de 1000 grains est une des composantes du rendement agronomique des céréales, elle est donc un bon indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement ; échaudage, attaques par les maladies ou les insectes. Elle permet également aux agriculteurs de calculer les doses de semences pour répondre à un objectif de densité de semis.

❖ intérêt technologique :

Elle est un des indicateurs du rendement technologique dans les industries de première transformation (rendement semoulier, meunier ou brassicole). **(Barc, 1995)**

I.5.1.3 Le poids spécifique(PS) ou poids à l'hectolitre(PHL) :

Est une mesure ancienne qui date de l'époque où l'on mesurait la quantité de grains au volume. Elle présente un intérêt commercial certain ; la masse volumique est toujours prise en compte dans les contrats commerciaux et dans les transactions bien que son intérêt technique soit très limité. **(B. Launay, 1991)**

I.5.1.4 Le taux de cendres :

Est sous la dépendance de plusieurs facteurs, le génotype, la disponibilité du sol en minéraux, l'ensoleillement, et le taux d'extraction. Les cendres sont les résidus d'incinération du produit dans des conditions bien définies. La teneur en cendres correspond au pourcentage de minéraux en poids du blé ou de la farine. Dans le blé, les cendres sont principalement concentrées dans le son et indiquent la production de farine à

laquelle on peut s'attendre lors de la mouture. Dans la farine, la teneur en cendres indique le résultat de la mouture en révélant indirectement la proportion de teneur en son de la farine. Les cendres contenues dans la farine peuvent donner une couleur plus foncée aux produits finis. Les produits nécessitant une farine particulièrement blanche requièrent une faible teneur en cendres tandis que la farine de blé entier affiche une teneur en cendres supérieure. (AFNOR, 1991)

I.5.1.5 Les impuretés :

Un lot de blé n'est jamais pur, il peut être contaminé par :

- des matières inertes (pierres, sable, terre, objets métalliques.....).
- des débris d'animaux et de végétaux, des grains étrangères (graines nuisibles : mélilot, fenugrec, nielle, ivraie... ; légumineuses et graminées fourragères ; autre céréales)
- des grains de blés altérés ou mal venus (petite ou échaudés, cassés, brûlés et chauffés, germés, avaries, insectisés, punaisés, cécidomyies, caries boutés, mouchetés, fusariés, et de l'ergot.

La présence de ces impuretés diminue la valeur marchande du lot. Leur limitation est l'objet d'accord contractuel entre vendeurs et acheteurs.

La détermination des impuretés d'un lot de blé comprend trois étapes principales :

- Le tamisage de l'échantillon pour extraire les grains cassés et les petits grains.
- Le triage manuel de toutes les autres impuretés après examen visuel de l'échantillon.
- La pesée des différentes catégories d'impuretés. (A.Boudreau ; G.menard, 1992)

I.5.1.6 Taus d'extraction :

C'est la qualité de farine obtenue : elle provient du grain et représente environ 70% du poids du grain.

Taux d'extraction est influencé par :

- le génotype de la variété.
- la conduite de la monture (CALVEL, 1980).

I.5.1.7 La dureté (friabilité) :

Est une caractéristique physique du grain, essentiellement variétale, qui exprime l'état de cohésion de l'amande et qui se traduit par sa résistance mécanique à l'écrasement.

Ce critère présente un intérêt à la fois technologique et commercial. En meunerie, la dureté influe fortement sur le comportement des grains en mouture, en particulier leur préparation, la facilité de séparation farine-son, l'énergie consommé par le moulin et enfin le rendement en farine.

Par ailleurs, elle a une influence sur les caractéristiques des farines produites quant à leur granulométrie et à leur capacité d'absorption d'eau dans les industries de cuisson.

(G. Campbell et al, 1998)

I.5.2 Valeur boulangère :

La valeur boulangère d'après CAIVEL de l'école meunerie française, représente l'aptitude d'un blé ou d'une farine à donner de beau et du bon pain. Elle peut être déterminée par :

I.5.2.1 Taux de gluten :

Le gluten constitué essentiellement par la fraction insoluble des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte,...). **(Y. Dacosta, 1986)**

I.5.2.2 La Force boulangère (W) :

Elle représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et indique la force de la farine. Les catégories de farine sont classées selon leur W : farine biscuitières 100 à 150 ; farines boulangères industrielles 220 à 280 ; farine de force au-dessus de 280. On détermine aussi la capacité d'une pâte à résister /gonfler lors de la panification. **(S.Berkani, 2007)**

I.5.2.3 Teneur en protéines :

La teneur en protéine est un critère important d'appréciation de la qualité pour l'alimentation humaine (valeur d'utilisation). Cette détermination est presque toujours spécifiée dans les contrats et compte tenu des relations qui existent entre la teneur en protéines et la valeur d'utilisation des variétés, c'est un des critères intéressants à prendre en compte dans le classement des lots à la réception. **(D. Lorient et al, 1985)**

I.5.2.4 Indice de sédimentation (test de ZELENY) :

Est une mesure des sédiments produits lors de l'incorporation d'acide lactique dans un échantillon de blé moulu tamisé et peut être utilisée comme indicateur de la qualité du gluten et, par là, de la qualité boulangère de la farine de blé.

L'indice de sédimentation a deux intérêts principaux :

- ✓ Un intérêt réglementaire : il est retenu comme critère dans la définition des conditions minimales à l'intervention
- ✓ Un intérêt technique : bien qu'ayant une faible valeur prédictive en panification, il permet de classer les blés suivant leur qualité. **(M. Dubois, 1994)**

I.5.2.5 Valeur fermentative :

La production gazeuse qui se produit durant la fermentation est liée à la quantité de sucre et à la bonne action des amylases. L'aptitude de la pâte à la fermentation est liée à son activité amylasique qui est modulée par les facteurs agro-alimentaires (température, acidité du milieu etc.) . **(B.E.Broker, 1996)**

I.5.2.6 Indice de chute selon (HAGBERG-PERTEN) :

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. Les valeurs élevées d'indice de chute indiquent une faible activité de l'alpha-amylase. Une activité de l'alpha-amylase en proportion suffisante est requise dans la farine de certains produits tels que le pain à la levure. Toutefois, une quantité excessive d'alpha-amylase dans le blé ne peut être éliminée et il s'avère difficile de mélanger afin de réduire la teneur en alpha-amylase ; la farine obtenue produit une pâte collante susceptible de poser problème lors du traitement ainsi que des produits de couleur médiocre et à texture de mauvaise qualité. **(A.Buleon et al, 1990)**

I.5.2.7 Acidité grasse :

La teneur en acide gras est un indicateur de l'état de bonne conservation de blé, des farines ; les lipides ont tendance à se dégrader en se transformant en acides gras libres **(M.Seguchi et al, 1999)**

I.6. Les différentes céréales :

Il est important de savoir que le gluten se réfère aux protéines uniquement issues des céréales par conséquent, toutes les céréales contiennent du gluten.

Le gluten se divise en deux groupes : les prolamines et les gluténines.

Les protéines de la famille des prolamines sont à la source de la maladie cœliaque et de l'intolérance très pernicieuse.

Le blé (alpha gliadine), le seigle (sécaline) et l'orge (hordénine) sont les plus toxiques, suivis du maïs (zénine).

I.6.1 Céréales et leurs pourcentages de prolamine :

Plus haut est le pourcentage, plus haut est le risque d'une réaction

Blé (froment) 69 % d'alpha gliadine
Epeautre 69 % d'alpha gliadine
Kamut 69 % d'alpha gliadine
Seigle 30 à 50 % de sécaline
Orge 46 à 52 % de hordénine
Maïs 55 % de zénine
Sorgho 52 % de cafirine
Millet 40 % de panicine
Avoine 20 à 30 % d'avenine
Teff 12 %
Fonio inférieur à 10 %
Riz 5 % d'orzénine

I.6.2 Régime sans gluten et équilibre alimentaire :

Pour concilier un RSG et un bon équilibre alimentaire, il est indispensable de varier son alimentation (**Schmitz 2007**).

Heureusement, il existe de nombreux aliments naturellement exempts de gluten : riz, maïs, légumineuses, lait et produits laitiers, viande, poisson, huiles et graisses..., qui permettent donc de s'alimenter de façon équilibrée et diversifiée.

Les substituts de produits avec gluten doivent apporter qualitativement et quantitativement autant de glucides, de protéines, de fibres mais aussi plus de vitamines et de minéraux afin de palier au déficit engendré par leur malabsorption intestinale dans le cas de cette maladie.

I.6.3 Soja :

Le soja est une plante légumineuse voisine du haricot. Elle est largement cultivée à travers le monde pour ses graines oléagineuses. Les parties aériennes de la plante sont duveteuses et dressées.

La tige mesure 60 cm à 1 m de haut. Les feuilles sont grandes et comporte trois folioles. Les fleurs sont petites et de couleur blanches ou mauves, et les gousses contiennent une à quatre graines (**Microsoft Encarta, 2009**). Le soja est originaire d'Asie probablement de la Chine septentrionale malgré son super production mondial par le continent Américain (**Ramarson, 2002**).

Cette plante revêt d'une importance capitale pour les Orientaux, car elle constituait une monnaie d'échange et une tirelire (**Dacosta, 1990**). Durant des siècles, ces pays en faisaient un monopole. C'est le botaniste Egelbert Kalmpfer - originaire d'Allemagne - qui l'a introduit en Europe vers 1712 Le soja est avant tout une production agricole à intérêt industrielle. Il est cultivé pour l'huile et les protéines qu'il fournit (**BERK ; 1993**). La graine de soja peut être transformée en farine de soja et en toufu.



Figure 03: Les grains de soja

Tableau N° 03 : Caractéristiques physiques et nutritionnelles (moyenne pour 100g)

Paramètres	Humidité	Glucides	Protéines	Lipides	Fibres	Valeur énergétique moyenne	Cendres
Soja	12 %	28-30 g	35-38 g	18-20 g	6 g	452 Kcal	5 %

I.6.4. L'orge:

L'orge (**Hordum vulgare**) est la première céréale cultivée, la distribution très large des orges cultivées (Europe, Afrique du Nord, Ethiopie, Asie jusqu'à la Corée et au Japon) va de pair avec une diversification morphologique et adaptation très étendue.

Des types à 2 rangs remontant au Néolithique (700 avant JC) trouvés dans le croissant fertile du Moyen-orient paraissent être les restes les plus anciens de l'orge cultivée, bien antérieurs aux orges à 2 ou 6 rangs trouvés en Extrême-orient on en haute Egypte (**Zohary, 1973**). Les orges sont des monocotylédones de la famille des Poacées. (Ex graminées) sous-famille des Festucoïdées, dans la tribu des Triticées (ex Hordes), l'espèce la plus cultivée est **Hordeum vulgare**.

D'après **Soltner (2005)** l'orge est une plante annuelle au cycle végétatif court 130 à 150 jours ou même moins, par rapport au blé 250 à 280 jours. L'orge est une espèce diploïde ($2n=14$).

On y distingue deux types selon la forme de leur épi:

- L'orge à 2 rangs ou l'orge distique: a un épi aplati Composé de 2 rangées d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles. Dans ce type existent surtout des variétés de printemps.
- L'orge à 6 rangs ou orge hexastique: encore appelé exourgeon, à une section rectangulaire, sur chaque axe du rachis les 3 épillets sont fertiles. Dans ce type n'existent pratiquement que des variétés d'hivers (**Prats & Grandcourt, 1971;Soltner, 2005**).

La hauteur de la plante varie de 30 à 120cm selon la variété et les conditions. Le grain d'orge et de forme elliptique et de couleur blanc pâteux, il peut aussi être de couleur noire ou pourpre (**Prats et Grandcourt, 1971**).

Le système racinaire est fascicule bien que moins puissant que les autres céréales (**Soltner, 2005**). Une caractéristique essentielle de l'espèce orge est son extraordinaire adaptation à des conditions extrêmes (**Hadria, 2006**).

I.6.5. Le seigle:

L'histoire du seigle (**Secale cereale**) et son origine restent aujourd'hui encore mystérieuses sur de nombreux aspects. Toutefois, l'ancêtre sauvage de cette plante serait originaire de l'est et du centre de la Turquie. Les premières traces du seigle cultivé ont été retrouvées dans plusieurs sites néolithiques de Turquie. L'ancêtre du seigle est *Secale montanum* Guss ($2n=14$) une espèce vivace morphologiquement très variables, il préfère les climats froids (**Gnis, 2008**).

Sa culture remonte à 2-3000 ans avant J.C, elle est donc assez récente. Le seigle est une espèce annuelle, diploïde $2n=14$ ayant un port ressemblant à celui du blé (**Prats & Grandcourt, 1971**). Selon **Soltner (2005)** le seigle est la seule céréale fortement allogame, les variétés sont donc des populations, fixées pour les principaux caractères.

Sur le plan morphologique: la tige est très longue (60 à 200cm) et très souple, solide, les feuilles sont très étroites et pointues. Les fleurs sont hermaphrodites et d'une structure à celle du blé et du l'orge. Environ 20 à 30 épillets forment l'épi. Comme chez l'orge les épillets n'ont pas de pédoncule, les glumes sont allongées et aigues à leur sommet; il y a deux fleurs par épillet.

Les caryopses, plus allongées et plus étroites que ceux de l'orge et le blé. (**MC Bean et Mc leod, 2007**). Son système racinaire, très développé et très ramifié, peut atteindre plus de 2 m de longueur ce qui permet à la plante de croître sur des sols sablonneux et dans des habitats relativement sec. Le cycle de développement est comparable à celui du blé, mais plus court, la moisson du seigle a lieu avant celle du blé (**Prats et Grandcourt, 1971**).

Le seigle appartient à la classe des monocotylédones de la tribu des Triticées, et au sou tribu des triticinées. La famille des Poacée, le genre *Secale* et l'espèce la plus cultivée est *Secale cereale* L.

Tableau N°04: Composition chimique des grains de céréales (%) (Jeantet et al., 2007).

Espèces	Eau	Amidon et petit glucide	Protéines	Lipides	Fibres	Minéraux (taux de cendres)
Blé tendre	13-15	64-68	10-12	1.7-1.9	5.0-5.5	1.7-1.9
Orge	13-15	57-63	10-11	2.0-2.5	1.-11	2.5-2.7
Seigle	13-15	62-66	9-11	1.7-1.8	7-8	1.9-2.1

I.6.6. Le lin:

❖ Présentation :

Le lin cultivé est une dicotylédone annuelle de la famille des Linacées du genre *Linum* et de l'espèce *usitatissimum*. Suivant les critères de sélection, l'espèce *Linum usitatissimum* L. comprend des variétés destinées à la production de la fibre ou à la production de la graine. Le lin est semé à densité élevée de l'ordre de 2000 graines/m² pour le lin fibre et 400 graines/m² pour le lin grain.

Sa culture est particulièrement délicate. En effet, planté au printemps, le lin pousse en 100 jours, cette courte période végétative rend difficile tout rattrapage en cas d'incident (mauvaise levée, condition climatique défavorable...). Ayant une racine pivot, le lin doit être

planté dans une terre finement préparée. Cette préparation de terre puis le semis nécessite des conditions climatiques optimales, et un réel savoir-faire. Par ailleurs, le lin est une plante exigeante pour les terres et exporte beaucoup de matières organiques hors des champs. Les rotations de lin se doivent donc d'être très lentes, au minimum 5-6 ans entre deux cultures sur une même parcelle.

❖ **Caractères botaniques**

Le lin se présente classiquement sous l'aspect d'une tige unique se terminant par une inflorescence en forme de cyme. La plante atteint une hauteur comprise entre 0,8 et 1,2 mètre pour un diamètre au collet de l'ordre de 1 à 2 millimètres. Sur la tige se développent 80 à 100 feuilles allongées et sessiles. L'inflorescence porte de nombreuses fleurs dont la couleur varie d'un bleu pur jusqu'à un blanc plus ou moins rosé, selon les variétés. La floraison peut durer jusqu'à 15 jours. Les fleurs pourtant ont une durée de vie de quelques heures. Elles sont formées de 5 pétales. Le fruit de chacune d'elles est une capsule contenant 10 graines riches en huile. Les graines sont de couleur brun, parfois jaune clair, lisse, plat, petit et léger (entre 4 et 7 grammes les mille grains).

❖ **Utilisation**

La graine de lin est principalement cultivée pour ses fibres, mais aussi pour ses graines oléagineuses qui contiennent environ 200 à 250 g de protéine brute et 400 à 430 g de lipide par kg, constituant une source de protéines et d'énergie à pouvoir être utilisées dans l'alimentation des animaux. Les graines de lin sont également une excellente source d'acide gras oméga 3, en particulier l'acide alphalinoléique, qui présente actuellement un intérêt pour l'alimentation animale et humaine à la fois. La graine de lin peut constituer un moyen naturel pour moduler le profil d'acide gras poly insaturés notamment l'oméga 3 qui présentent plusieurs intérêts.

❖ **Composition chimique de la graine de lin entière**

La graine de lin est riche en cellulose, ainsi qu'en détergent fibre neutre (NDF) qui représente les teneurs en cellulose, hémicellulose et lignine.

Tableau N°05: Composition chimique de la graine du lin (INRA2007)

Description	Valeur
Taux de matière sèche (%)	90.3
Calcium total (g/kg)	4.2
NDF (g/kg)	245
ADF (g/kg)	148
ADL (g/kg)	62
MAT (g/kg)	250
Cellulose brute (g/kg)	102
MO (g/kg) 952	952
Amidon (g/kg) 0	0
Sucres (g/kg) 37	37
Matière grasse (g/kg) 362	362
Mg (g/kg) 4	4
S (g/kg) 3	3
Na (g/kg) 0,8	0.8
Cu (mg/kg) 13	13
Zn (mg/kg) 50	50
Mn (mg/kg) 32	32
Co (mg/kg) 0,10	0.10
Se (mg/kg) 0,10	0.10
Iode (mg/kg) 0,44	0.44
Vitamine A (UI/kg) 200	200
Vitamine D (UI/kg) 0	0
Vitamine E (UI/kg)	40

La graine de lin est composée de 20 à 25% de protéine et de 35 à 45 % d'huile dans la teneur en acide gras sont de l'ordre de 95% avec une assez forte proportion d'acide 44 alphalinoléique. La composition en différents acides gras de la matière grasse de la graine de lin est donnée par le tableau 05.

Tableau N°06: Composition en acides gras de la matière grasse de la graine du lin (INRA 2002).

Acides gras		
	% AG	g/kg
Acide myristique C14:0	0,1	0,3
Acide palmitique C16:0	6,4	19,9
Acide palmitoléique C16:1	0,1	0,3
Acide stéarique C18:0	3,4	10,6
Acide oléique C18:1	18,7	58,0
Acide linoléique C18:2	14,7	45,6
Acide alphalinoléique C18:3	54,2	168,2

❖ Valeurs alimentaires

La graine de lin présente une valeur énergétique élevée supérieure à celle de l'orge et du maïs (1,22 UFL), et avoisinant celle de la graine de soja toastée (1,47 UFL). Cette densité énergétique importante s'explique par la richesse de cette graine en matière grasse (362 g/kg). Le tableau 07 présente les valeurs alimentaires de la graine de lin.

Tableau N° 07: Valeurs alimentaires de la graine de lin (INRA, 2007).

Description	Valeur	Unité
UFL	1,58	UFL/kg
UFV	1,56	UFV/kg
PDIA	52	g/kg
PDIN	161	g/kg
PDIE	84	g/kg
Lys DI	5,90	%PDIE
Met DI	1,84	%PDIE
Energie métabolisable	4281	Kcal
Energie brute	6402	Kcal
Digestibilité MO	80	%

I.7. La face cachée des céréales :

I.7.1. Intérêt nutritionnel des céréales complètes :

Selon le nutritionniste **Thierry Souccar (2006)** l'intérêt nutritionnel des céréales repose sur quatre grandes raisons essentielles:

1) Les glucides sont présents dans les céréales sous forme d'amidon qui doit être dégradé par plusieurs enzymes successifs pour aboutir au glucose, cette lenteur de dégradation et d'assimilation cellulaire (d'où le terme de sucre lent) permet à l'énergie fournie d'entretenir les besoins de l'organisme de façon continue. En outre, l'assimilation des sucres contenus dans les céréales complètes est facilitée par les nombreuses vitamines des groupes B qui y sont présentes, ce qui fait que leur combustion est pratiquement totale. Et voilà pourquoi, non seulement les céréales complètes ne font pas grossir mais au contraire, préviennent l'obésité (**Wang et Mazza, 2002**).

2) Toutes les céréales contiennent également des protéines: ces acides aminés sont très variés. L'organisme peut les synthétiser sauf huit d'entre eux qu'il a besoin de trouver quotidiennement dans l'alimentation et qui sont appelés de ce fait: acides aminés essentiels (isoleucine, leucine, lysine, méthionine, thréonine, phénylalanine, tryptophane et valine). Selon **Bedard et Galibois (2005)** il suffit 100 grammes de céréales complètes pour couvrir les besoins quotidiens d'un adulte en acides aminés essentiels.

3) Les céréales complètes contiennent aussi des lipides; 1.5 à 2 % dont 60 % des lipides apolaires et 40 % des lipides polaires (**Favier, 1989; Godon et Willm, 1991**) les trois quarts de ces lipides sont des acides gras insaturés, dont l'intérêt diététique est aujourd'hui parfaitement reconnu spécialement en ce qui concerne la prévention d'un excès de cholestérol et de ses graves conséquences sur le plan cardiovasculaire (**Narayana et al., 2001**).

4) Les céréales complètes contiennent un très grand nombre d'éléments majeurs qui participent en bon fonctionnement de l'organisme (**Souccar, 2006**); des vitamines notamment des vitamines de groupes B, et de la vitamines E (**Cuvelier et al., 2003**) des substances minérales et des oligo-éléments 1.8-2.3 mg/100g (Lopez et al., 2001) (calcium, cuivre, magnésium, fer, phosphore, potassium, etc.(Dujardin, 2006; Baribeau & Lemieux, 2005) ainsi que de nombreuses diastases indispensables a une bonne assimilation digestive (amylase, lipase, polyphénoloxydases, etc.) (**Feillet, 2005**).

En dehors de leur remarquable avantage nutritionnel les céréales alimentaires possèdent toutes une valeur énergétique importante puisque 100 grammes apportent en moyenne 330 à 385 Kcal (**Favier, 1989; Bedard et Galibois 2005**).

I.7.2. Le pouvoir des céréales complète :

Les aliments à base de céréales complètes représentent des sources importantes de nutriments et de phytoprotecteurs, lesquels font plutôt défaut dans notre régime alimentaire (**Dujardin, 2006**).

Et selon **Jiménez et al (2000)** et **Baribeau (2005)** de longues études d'observation ont montré une réduction du risque des maladies chroniques avec une consommation élevée de céréales. Cependant cette diminution n'est pas liée à la consommation de l'endosperme de céréales ni aux fibres isolées, mais à l'association des polyphénols et des fibres continues dans les céréales complètes (**Sarni-Manchado et Cheynier, 2006**).

Les données récentes de la littérature montrent un intérêt croissant des nutriments, notamment ceux possédant un fort pouvoir antioxydant présent naturellement dans les céréales, mais qui ne sont pas malheureusement plus présent dans la farine blanche. (**Salvin, 2003**)

Selon **Bedard et Galibois (2005)** toutes les céréales peuvent aussi se consommer crues et germés, la plus utilisée sous cette forme étant le blé germé. L'avantage de la germination est de multiplier par deux ou trois le taux de nombreux constituants (acides aminés, vitamines, substances minérales) (**Weidner et al., 2002**).

CHAPITRE II

GENERALITE

SUR LA

FARINE



II.1. Définition de la farine :

La farine, sous forme qualitative, correspond au produit résultant de la mouture exclusive de l'amande du grain de blé nettoyé et industriellement propre, étant entendu que la qualité du blé mis en œuvre est basée sur les normes du blé sain, loyal et marchand. (Chene, 2001)

II.2 Technologie de transformation du blé :

La première transformation des céréales a pour but d'isoler l'albumen amylicé sans contamination par les parties périphériques du grain, (enveloppe, couche à aleurone). Les étapes des grains sont :

- Transport et réception.
- Le nettoyage du blé et préparation à la mouture.
- Mouture du grain. (Lockwood, 1950).

II.2.1 Transport et réception :

La réception du blé comprend le déchargement des blés arrivant par bateau, par wagon ou par camion, jusqu'à un silo de stockage après le pesage de la quantité reçue.

Les cellules de stockages sont équipées d'un système de ventilation qui permet de renouveler l'air ambiant et d'éliminer la chaleur et l'humidité libérée par les grains.

II.2.2 Nettoyage et préparation à la mouture du blé :**❖ Nettoyage :**

Après avoir quitté les cellules des blés sales, avant d'entrer au moulin ils passent dans la section de nettoyage, il est lavé, nettoyé et conditionné avant d'être envoyé au premier broyage.

L'ordre de nettoyage n'est pas absolument standardisé mais la marche générale est la suivante :

Tableau N° 08 : Etapes de nettoyage du blé et impuretés éliminés

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

❖ Préparation à la 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 ce qui facilite leur séparation.
- Amener l'amande farineuse dans un état physique tel que sa réduction en farine fine soit obtenue le plus rapidement possible.

Le blé subit les opérations suivantes avant qu'il soit broyé :

a- le mouillage : le mouillage doit porter le blé à une humidité de 16 à 16.5% et même à 17% après la préparation, cette opération est réalisée par l'addition d'eau au blé.

b- le conditionnement : permet à l'eau de pénétrer dans le grain et de bien se répartir dans l'amande farineuse. Ce repos peut avoir lieu dans des « boisseaux de repos » ou dans des appareils spéciaux appelés conditionneurs- sécheurs, le lot de blé y séjourne de 18 à 36 h.

-un nouveau brossage vient immédiatement après le conditionnement.

-vient ensuite un deuxième pesage du blé par une bascule enregistreuse.

-pour finir, un magnétisme est comme dispositif de sécurité pour retenir toutes les pièces métalliques accidentelles. (calvel, 1980).

❖ La mouture :

La mouture du blé comporte deux opérations :

- **Fragmentation :** elle consiste en un broyage qui permet d'abord une réduction du grain en particules grossières. Elle s'effectue grâce à des claqueurs, des convertisseurs et des désagrégeurs ce qui aboutit à l'obtention des particules plus fines (farine semoule).

- **Séparation :** elle aboutit à la séparation des enveloppes et des particules par un tamisage. On utilise les sasseurs dans le cas du blé dur et de plansichters pour le blé tendre.

II.3 Les différents produits de la mouture :

Selon **R. Calvel (1980)** les différents produits rencontrés au cours de la mouture sont :

-La farine : est le principal produit de la mouture.

-Les semoules : sont des morceaux d'amande, plus ou moins vêtus d'enveloppe, il y a des semoules grosses et des semoules fines.

-Les finots : sont des semoules très fines et très pures, ils proviennent des passages du broyage.

-Les gruaux : sont des produits analogues aux finots, ils proviennent de la réduction des semoules en tête du claquage et de convertissage.

Les issues sont les produits finis autre que la farine dont on distingue :

- **Le son** (son gros et son fin) constitué par les enveloppes du grain.

-Les remoulages qui comprennent un mélange d'enveloppes et d'amande farineuse, on rencontre deux types de produits :

* **Le remoulage bis** : les plus gros, couleur rouge qui constituent le refus finale du claquage.

***le remoulage blanc** : les plus fins, les plus riches en farine recueillie enfin de convertissage.

-Les farines basses : farine de couleur bise, extrêmement piquées correspondant aux farines obtenues en faible quantité à la fin du claquage et du convertissage.

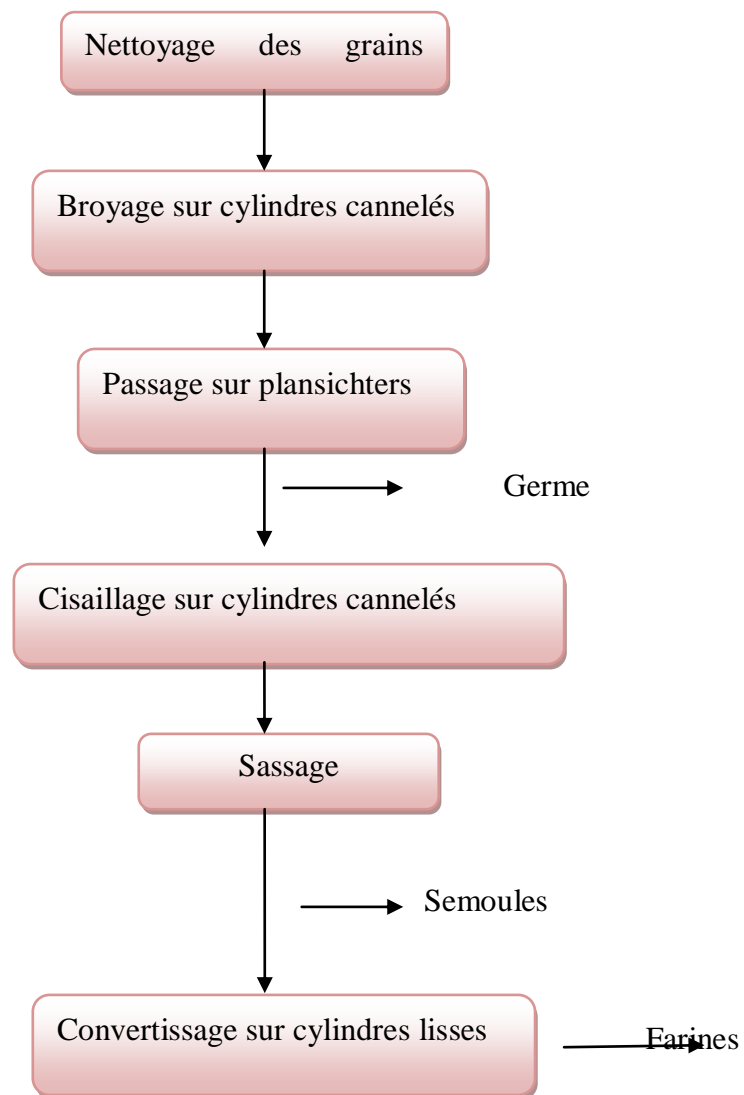


Figure 04: Le bilan de la mouture du grain de blé tendre (M. Moll et N .Moll, 2002)

II.4 Composition biochimique de la farine :

Le tableau ci-dessous résume la composition chimique d'une farine

Tableau N° 09 : Composition biochimique de la farine (Godon 2002)

Humidité	14 à 16 %
Matières azotées	9 à 12%
Matières minérales	0,50 à 0,60%
Matières grasses	1,30 à 1,50%
Sucres simples	1 à 2%
Amidon	65 à 70%
Matières cellulosiques	Trace
Vitamines	du groupe B- et E

Les variations dans la composition chimique sont régies selon certains auteurs notamment **Nuret, 2000** et **Godon 2002**, par plusieurs facteurs :

- Les facteurs génétiques.
- Les facteurs du milieu naturel, et les techniques culturales (travail du sol, fertilité).
- Les conditions de mouture, la préparation du blé et son conditionnement.
- Les conditions de stockage et de conservation des farines.

II.4.1. L'eau :

La teneur en eau varie entre 14 à 16 %, c'est ainsi que dans les transactions commerciales et selon la campagne céréalière la teneur en eau est sanctionnée par des réfections sur prix. (**Calvel, 1980**)

II.4.2. Les glucides :**a- Les petites molécules glucidiques :**

Du point de vu pondéral ce sont des composés mineurs mais leur importance technologique est grande car ce sont des sucres fermentescibles et assimilables par les micro-organismes : glucose, fructose, saccharose, maltose. (**J.Pylere, 1988**)

b-L'amidon :

Il représente 60 à 65% du poids du grain, c'est un polymère du glucose. Cet amidon (par proportions moyennes chez le blé d'après **Michel-Roussel- 1998** est constitué de :

- Amylose (chaines non ramifiées 23%).
- Amylo-dextrines (chaines ramifiées 77%). (**P.S.Belton, 1999**)

II.4.3. Les protéines :

✓ Albumine et globuline :

Ils sont classiquement considérés comme les seuls constituant des protéines en milieu salin neutre. Ces protéines solubles représentent 10 à 20% des protéines de la farine. Elles sont toutes à la fois riches en lysine et en arginine mais faible en acide glutamique et en proline. (Branlard, 1996)

✓ Gliadines et gluténines :

- **Les gliadines :** Les gliadines se caractérisent par une forte teneur en acide glutamique et en proline, en revanche leur teneur en acides aminés est faible.
- **Les gluténines :** C'est la fraction protéique présentée dans le résidu d'extraction des farines de blé par des solvants tel que l'éthanol et acide acétique dilués. Les protéines de blé, comme d'autres céréales ont une teneur trop faible en acides aminés indispensables et en particulier en lysine, les teneurs les plus courantes sont de l'ordre de 3 grammes de lysine pour 16 grammes d'azote qui correspond à environ 100 grammes protéines. (Martini .1999)

Tableau N^o 10: Composition des protéines de blé (Roussel, 1991).

	Gliadines (gr)	Gluténines (gr)	Globuline (gr)
Glycololle	3.1	7.5	9.5
Alanine	3.3	4.4	6.1
Valine	4.8	4.8	2.4
Leucine	7.0	6.5	9.0
Isoleucine	4.3	3.7	1.4
Phénylalanine	4.3	3.6	2.4
Proline	16.2	1.9	3.6
Tryptophane	0.4	1.3	-
Sérine	0.1	7.0	11.1
Théonine	4.2	6.5	4.8
Tyrosine	1.8	2.5	1.6
Cystéine	3.3	2.6	13.6
Méthionine	1.2	1.4	0.4
AC.Aspartique	2.8	3.6	6.0
AC. Glutamique	34.5	2.8.9	5.1
Lysine	0.6	2.0	10.6
Histidine	1.9	1.9	1.8
Arginine	2.0	3.0	10.6

II.4.4. Les matières minérales :

Les matières minérales constituantes pondéralement mineures servent essentiellement à déterminer la pureté d'une farine ainsi que le type. Elles possèdent également un intérêt nutritionnel par l'apport de phosphore, potassium, calcium, soufre, et magnésium dans notre ration.

II.4.5. Les vitamines :

Les vitamines sont des substances indispensables à l'organisme, et la farine est un produit qui contient une quantité non négligeable, mais ces substances sont fragiles à la chaleur donc en partie détruite à la cuisson. **(L.Le goff, 1997)**

II.4.6. Les enzymes :

Les enzymes sont présents dans la farine et d'autres sont additionnées :

a- L' α amylase : C'est une enzyme qui coupe les chaînes glucidiques au hasard, et induit une libération des dextrines et une chute rapide de la viscosité de la pâte.

b- La β amylase :

La farine est riche en β amylases, qui attaquent les extrémités d'une chaîne glucidique, en détachant le maltose, provoquant l'abaissement progressif de la viscosité du milieu.

c-La lyxogénase :

Est une enzyme qui oxyde les lipides, elle oxyde les acides gras insaturés libres non estérifiés qui correspondent aux acides gras essentielles. **(Popineau, 1992)**

II.5. Les propriétés physiques de la farine :**❖ Blancheur de la farine :**

La farine peut être d'un blanc éclatant ou légèrement crème, sa nuance doit être uniforme. Il paraît difficile d'apprécier cette blancheur, il existe pourtant un moyen bien simple, c'est le procédé de **PEKAR**, on remarque :

-Si une farine paraît légèrement crème ou plus au moins rougeâtre et qu'elle subit une altération.

-Si de nombreuses piqûres se remarquent, elles indiquent que le blé employé est maigre ou que le taux d'extraction est élevé. **(J.Bure, 1979)**

❖ Odeur et saveur de la farine :

La farine n'a pas d'odeur soutenue, une légère odeur lui est propre. Dans la bouche, la farine laisse un goût de froment suivant son degré d'altération. Les farines avariées ont un goût amer, un peu savonneux parfois. **(R.Calvel, 1984)**

❖ La granulation :

Suivant les moulins, la granulation ou le degré de finesse de la farine due à la répartition par la grosseur de particule, varie beaucoup. On peut juger de cette finesse par un test de laboratoire basé sur le tamisage. (H.Namoune, 1996)

II.6. Les propriétés mécanique :**II.6.1. Les propriétés plastiques:**

Elles sont caractérisées par le degré de l'élasticité, de ténacité et de souplesse de la pâte. Il arrive assez souvent que l'on emploie, à leur propos le terme de force.

C'est le gluten qui dans ce domaine, économique ses propriétés plastique propre à la pâte. Les propriétés plastiques constituent l'un des aspects les plus importants de la valeur boulangère. Cependant, il y a deux ou trois facteurs qui sont directement reliées aux propriétés plastiques d'une pâte. Il s'agit de la capacité d'absorption d'eau d'une farine, de la maniabilité et de tolérance de la pâte.

La capacité d'absorption d'eau d'une farine est l'aptitude de celle-ci à supporter plus ou moins fortement d'addition d'eau.

Cette absorption est très importante, puisqu'elle conditionne le rendement en pain d'une farine donnée.

La maniabilité de la pâte c'est sur le plan pratique, l'ensemble des qualités qui font que celle-ci est souple et tenace sans être collante et qu'elle conserve ses caractéristiques tout au long de la fabrication.

La tolérance est représentée par les facultés qu'à une pâte de ne pas souffrir d'un léger défaut, au contraire de supporter un petit excès de fermentation, sans que finalement la qualité du produit s'en ressente. La souplesse qui en découle se traduit par une plus grande régularité et une meilleure qualité. (A.Bertram, 2005)

II.6.2. Les Propriétés fermentatives :

La production gazeuse, qui se produit durant la fermentation, est liée à la quantité de sucre préexistant et à la bonne marche de l'amylose. Cette dernière est liée à la teneur de la farine en amylose et aux conditions dans les quelles elles se développent (température, acidité du milieu).

La production gazeuse étant normale, un autre facteur de la valeur boulangère, qui est dépendant des qualités physiques de la pâte entre en jeu. C'est sous son degré de rétention des gaz. (B.E.Brooker, 1996)

II.7. La valeur boulangère ou valeur en panification :

Elle présente l'aptitude d'une farine à donner un pain bien développé, à croute fine et dorée, Et dont la mie, régulière et complètement alvéolée, une odeur et une saveur agréable. Une seule méthode permet la détermination directe : l'essai de panification.

Le développement optimal du pain ne peut être obtenu que l'orsque certains compromis existent entre la force boulangère et la poussée gazeuse de la farine. La rétention est possible grâce au gluten qui intervient quantitativement et qualitativement.

La richesse en sucres de la farine et l'équilibre enzymatique doivent assurer la transformation de l'amidon en dextrines puis en maltose. (Godon et al, 1997)

II.8. Les types de farines :

Les farines commercialisées sont réglementairement lassées d'après leur taux de cendre. Le taux de cendres mesure la quantité de résidus présent dans la farine Sa valeur se calcule en proportion de matière sèche. La farine la plus blanche possède un taux de cendres et d'extraction les moins élevés. Il s'agit d'une farine essentiellement extraite de l'amande et d'une partie du germe. Inversement, moins il est éliminé de résidus, plus le taux de cendres et d'extraction s'élèvent. (R.Delfrate ; C.Stephane, 2005)

La classification officielle des farines figure dans le tableau suivant :

Tableau N° 11: Les types de la farine (Roussel, 1991).

Dénomination	Taux d'extraction	Taux de cendre de la farine exprimé en % par rapport à la MS
Type 45	68 à 70 %	Au dessous de 0,50
Type 55	75%	de 0,50 à 0,60
Type 65	78 à 80%	de 0, 62 à 0, 75
Type 80	85%	de 0,75 à 0,90
Type110	88 à 90%	de 1,0 à 1,20
Type 150	95%	Au dessus de 1,40

II.9. Les différents types de farines commercialisées

II.9.1. La farine ordinaire ou « ménagère »

Elle est constituée d'un mélange de différentes variétés de blés tendre ou de blés durs. Les farines de blé tendre seront essentiellement utilisées pour la fabrication du pain ainsi à la fabrication de pâtisseries ou de gâteaux. (Roussel, 2003)

II.9.2. La farine non blanchie

C'est une farine qui n'a pas été blanchie artificiellement. Son goût est par conséquent plus naturel du fait qu'aucun additif ne lui a été ajouté.

II.9.3. La farine à gâteaux :

C'est une farine blanche constituée exclusivement de blé tendre moulu très finement. Elle est plus riche en amidon mais contient moins de protéines. On obtiendra ainsi des gâteaux légers mais elle ne pourra pas être utilisée pour la panification. (J.F.Thrrault et al 1990)

II.9.4. La farine à pâtisseries :

Elle est essentiellement constituée de blé tendre mais peut parfois contenir du blé dur. Sa teneur en gluten est faible et elle est moins fine que la farine à gâteaux. Elle est ainsi utilisée pour réaliser des pâtisseries, des biscuits, et elle peut subir la panification.

II.9.5. La farine de boulangerie ou la farine à pain :

Elle est constituée d'un mélange de blés tendres et sa teneur en gluten trop élevée fait qu'elle ne peut servir à un usage domestique. (P.Bonnardel, 1993)

II.10. Les critères de qualité :**II.10.1. La teneur en eau :**

Elle constitue une condition importante pour la bonne conservation des farines. Elle intervient dans le taux d'hydratation des pâtes et dans leurs caractéristiques rhéologiques. (Calvel, 1980)

II.10.2. L'acidité grasse :

L'acidité grasse varie avec l'état de conservation et le taux d'extraction de la farine. L'acidité de la farine de nature récente est voisine à 0,025. Elle s'élève progressivement jusqu'à 0,050. Les qualités plastiques du gluten se modifient, les propriétés mécaniques des pâtes décroissent, ces dernières devenant courtes et grasses. (Jacomain, 1982)

II.11. La qualité des farines :

La qualité d'une farine dépend de son utilisation future et il n'existe pas sur le marché une mais des qualités de farines, cette dernière par son aptitude à donner un bon produit fini, dans le cas de pain, c'est une farine qui permet d'obtenir du bon et du beau pain.

(Godon et william, 1991)

II.12. Caractéristiques d'une farine panifiable :

D'après les dispositions du décret N°91-572 de 1991 relative à la farine et au pain, la farine de panification est le produit de la mouture de grains de céréales aptes à la panification et préalablement nettoyés, sans autre modification que la soustraction partielle ou totale des germes et enveloppes. Les spécifications techniques de cette farine sont les suivantes :

- La teneur en eau doit être inférieure ou égale à 15.5%.
- L'indice de chute entre 180 et 280 sec.
- Le rapport de configuration P/L entre 0.45 et 0.65.
- L'indice de Zeleny de 22 à 30.
- Travail de déformation W est égale à 180.

(Calvel, 1980).

Une farine panifiable est également caractérisée par sa valeur boulangère qui est son aptitude à donner du pain bien levé, de bel aspect, dont la mie présente une structure fine et régulière et la saveur sont agréables.

Cette valeur boulangère dépend de trois facteurs :

- La production gazeuse (phénomène biochimique).
- La rétention gazeuse (phénomène mécanique).
- Le pouvoir d'hydratation de la farine.

(Jacomain, 1982).

CHAPITRE III

GENERALITE

SUR LE PAIN



III. Le pain :

III.1. Définition :

D'après **Calvel**, le mot pain sans autre qualification est réservé au produit résultant de la cuisson de la pâte obtenue par pétrissage d'un mélange de la farine de blé destiné à la panification et correspondant à un type officiellement défini, d'eau potable, de sel de cuisine et d'un agent de fermentation.

III.2. La valeur nutritionnelle du pain :

La consommation du pain permet de couvrir une partie des besoins en matières protéiques et énergétiques. Elle permet aussi un apport à l'organisme de plusieurs vitamines (A, B, PP et E) et des oligo-éléments.

C'est un aliment énergétique du fait de sa richesse en glucides comme le montre sa composition :

- Glucides : 55 %
- Protides : 7.5 %
- Lipides : 1.3 %

100 grammes de pain fournissent à l'organisme 257 kilocalories, soit environ 9% des besoins caloriques journaliers moyens (**Tremolieres, 1983**).

III.3. Les ingrédients utilisés en panification :

❖ La farine :

La farine est l'élément de base et contient toutes les qualités qui feront du pain un bon aliment, une farine panifiable est une farine qui peut servir à la panification du pain. C'est le gluten qu'elle contient qui la rend panifiable en rendant la pâte à pain une fois pétrie élastique et « étanche à l'air ». Ainsi, grâce au gluten contenu dans la farine, le gaz carbonique dégagé par les levures du levain va rester emprisonné dans la pâte et va donc permettre la levée du pain.

❖ L'eau :

L'eau est, après la farine, le plus important constituant de la pâte et joue un rôle majeur au cours de la confection de la pâte, elle sert à mouiller la farine et rend possible le pétrissage. Elle doit être modérément dure. Il est connu que les sels de calcium et de magnésium contenus dans l'eau contribuent à durcir le gluten

❖ Le sel

Il est conseillé d'utiliser en panification du sel fin étant donné que le sel gros se dissout mal lors du pétrissage. La présence des tâches rougeâtres sur la croûte du pain est le résultat des gros cristaux de sel. Il a plusieurs rôles à savoir :

- Améliorer la saveur du pain.
- Régulariser la fermentation.
- Augmenter la tolérance des pâtons.
- Améliorer les qualités plastiques des pâtes.
- Améliorer la maniabilité.
- Favoriser la coloration de la croûte durant la cuisson.
- Augmenter la durée de conservation du pain.

❖ La levure

Ce sont des champignons microscopiques unicellulaires appelés *saccharomyces cerevisiae* qui servent à ensemencer. Ils sont ainsi responsables de la fermentation alcoolique qui a lieu selon la réaction :



Afin que les ferments soient actifs dès leur incorporation dans la pâte, il est aussi recommandé de ne pas les diluer avec du sel (**Stephan, 2004**).

III.4. Les étapes de la panification :

III.4.1. Pétrissage

C'est la première opération de la panification proprement dite. Il permet d'assurer à la fois le mélange des matières premières mises en œuvre et la confection de la pâte.

Le pétrissage, par l'application d'une force mécanique, provoque le développement, le déroulement et l'orientation des protéines de gluten ainsi que l'incorporation d'air dans la pâte.

De la structure du réseau de gluten résultant dépendra la structure alvéolaire de la mie. Un pétrissage mécanique intense sera responsable d'une mie très développée à alvéolage petit, tandis qu'un pétrissage lent et court permettra l'obtention d'un alvéolage plus irrégulier, avec de grosses alvéoles. L'excès de pétrissage peut engendrer une rupture du réseau de gluten et par conséquent empêcher le développement correct du grain.

III.4.2. Le pointage

C'est la première fermentation. On laisse reposer la pâte pour permettre l'activité de la levure. Celle-ci va donc réaliser la fermentation alcoolique en utilisant les oses résiduels de la farine (prévenant de la dégradation de l'amidon par les amylases). Il y a donc production de CO_2 qui permet un début de levée de la pâte qui devient alors tenace et plus élastique.

Plus un pointage est long, plus la pâte aura de force et plus les arômes se développeront.

III.4.4. Division

Il s'agit de découper la pâte que l'on a laissé fermenter, en pâtons plus petits. On utilise une balance pour effectuer le pesage de ces pâtons et assurer leur régularité, et éventuellement une diviseuse.

III.4.5. Boulage

Il consiste à arrondir ou à compresser une pièce de pâte dans le but d'enlever les grandes poches d'air.

III.4.6. Détente

Les pâtons sont laissés au repos une nouvelle fois. Cette étape permet au réseau de gluten de se détente après les étapes de division et de boulage. Sans cette étape, le réseau de gluten aurait tendance à déchirer au moment du façonnage.

III.4.7. Façonnage

Chaque pâton est retravaillé pour lui donner la forme voulue. Il peut être réalisé manuellement ou à l'aide des machines appelées façonneuses.

III.4.8. Apprêt

C'est la deuxième fermentation, elle s'effectue dans des conditions de température et d'hygrométrie contrôlées pour éviter le « croûtage » des pâtes. L'apprêt dure de une à trois heures.

Cette étape est très importante pour l'obtention d'un pain bien développé, elle permet à la pâte de se détendre pour être à nouveau aérée et acquérir l'extensibilité et la maturité perdues lors du façonnage suite aux traitements mécaniques subis (**Geoffroy, 1950**).

III.4.9. Grignage ou scarification

Avant l'enfournement, les pâtons sont scarifiés avec une lame pour faciliter leur développement et éviter qu'ils ne se déchirent durant la cuisson à cause de l'échappement du gaz carbonique. Les grignes ainsi obtenues interviennent également dans le côté esthétique du pain.

III.4.10. Cuisson

Les pâtons sont placés dans un four chauffé à 250°C pendant 15 à 30 min (en fonction de la forme et du poids du pain) dont on règle l'humidité par injection de vapeur d'eau ce qui évite le dessèchement du pain et permet la formation d'une croûte dorée et brillante.

Sous l'action de la chaleur, les pâtons continuent de gonfler, la mie se forme, l'extérieur se dessèche, durcit et se colore pour donner la croûte.

- **À partir de 60°C**, une partie des zones cristallines de l'amidon est désorganisée ce qui provoque un gonflement des grains d'amidon ; c'est la gélatinisation.

- À 70°C, les protéines du gluten subissent une dénaturation ce qui augmente leur digestibilité.
- 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 d'eau qui se répartit dans la pâte.
- Dès 110°C, il y a dextrinisation de l'amidon c'est à dire dégradation partielle de celui-ci en dextrans.
- À 150°C, il ya torréfaction et grillage des produit glucidiques. Les réactions de Maillard ont lieu produisant ainsi les arômes du pain.

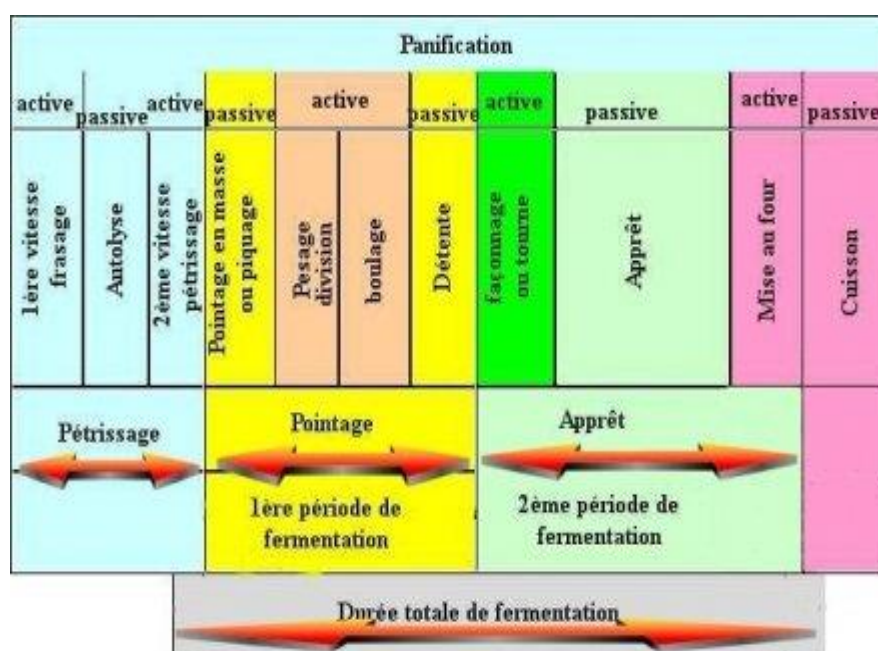


Figure 05 : les étapes de la panification (Frédéric Montessinos et al.2003)

III.4.11. Le ressuage ou refroidissement :

Après le défournement, on laisse refroidir le pain pendant un temps variable suivant sa forme et son poids. La vapeur d'eau et le CO₂ diffusent alors il travers la croûte et sont remplacés progressivement par l'air ambiant. (B.Borgies, 2001)

III.5. Les différents types de pain commercialisés :

III.5.1. Pain de campagne :

Il est à base de farine blanche ou bise (farine blanche + son), avec addition ou non de farine de seigle type 170. La fermentation est réalisée avec de la levure ajoutée à du levain. Le pétrissage doit être lent. La croûte est farinée. (C. Cabrol, 2006)

III.5.2. Pain au son :

C'est un pain fabriqué avec une farine de type 55 avec, éventuellement, un léger apport de remoulage bis et de farine de seigle type 170. Sa consommation permet d'enrichir l'alimentation en fibres végétales, en particulier en lignine contenue surtout dans les céréales. Par ailleurs, l'apport important de fibres et d'acide phytique diminue l'absorption de nombreux minéraux dont le calcium. (C. Cabrol, 2006)

Tableau N° 12: Recette conseillée pour réalisation du pain au son

(Fiche technique MSB)

Farine prête à l'emploi	100Kg		
Eau	62 à 66%		
Levure	1%		
Sel	2%		
Température de base 62 °C			
Temps de pétrissage	Pétrin	1^{er} vitesse	5 min
	Bras oblique	2^{ème} vitesse	15 à 16 min
	Pétrin	1^{er} vitesse	4 min
	Bras spirale	2^{ème} vitesse	7 à 8 min
Température de fin de pétrissage 28-30°C			
Pointage	15 min puis détailler		
Division	300 à 350 g de pâte		
Détente	10 min		
Apprêt	1h00 environ		
Cuisson (avec buée)	20-25 min à 220-230 °C		

III.5.3. Pain complet :

Il est fabriqué avec une farine résulte de la mis en œuvre d'une farine intégrale (amande et enveloppe comprise) type 55, dont le taux d'extraction varie de 92 à 96 %. Sa teneur plus élevée en fibres (environ 7 %, contient trois à quatre fois que le pain blanc) confère à ce pain un risque plus faible de constipation, problème de cholestérol et de troubles intestinaux. (C. Cabrol, 2006)

Tableau N° 13 : Recette conseillée pour réalisation du pain complet

Farine prête à l'emploi	100Kg		
Eau	62 à 66%		
Levure	1%		
Sel	2%		
Température de base 62 °C			
Temps de pétrissage	Pétrin	1^{er} vitesse	5 min
	Bras oblique	2^{ème} vitesse	15 à 16 min
	Pétrin	1^{er} vitesse	4 min
	Bras spirale	2^{ème} vitesse	7 à 8 min
Température de fin de pétrissage 28-30°C			
Pointage	15 min puis détailler		
Division	3 00 à 350 g de pâte		
Détente	10 min		
Apprêt	1h00 environ		
Cuisson	20-25 in à 220-230 °C		

III.5.4. Pain à l'orge :

C'est un pain fabriqué avec une farine de type 55, avec un apport d'orge concassée est de semoule type SSSF : la farine sera donc riche en vitamine B12 aide à la formation des globules rouges et le système nerveux. (M.Moll,N.Moll, 2002)

Tableau N° 14: Recette conseillée pour réalisation du pain à l'orge

Farine prête à l'emploi	100Kg		
Eau	60%		
Levure	1%		
Sel	2%		
Température de base 62 °C			
Temps de pétrissage	Pétrin	1^{er} vitesse	5 min
	Bras oblique	2^{ème} vitesse	15 min
	Pétrin	1^{er} vitesse	5 min
	Bras spirale	2^{ème} vitesse	8 min
Température de fin de pétrissage 26-28 °C			
Pointage	30 min puis détailler		
Division	300 à 350 g de pâte		
Détente	10 à 15 min		
Apprêt	45 min		
Cuisson (avec buée)	35 min /220 à 230 °C		

III.5.5. Pain au seigle :

Il doit contenir au moins 10 % de farine de seigle type 170 complété par de la farine de blé type 55. Le seigle riche en fibre, vitamines et en sels minéraux, aussi il est un bon réducteur de risque contre cancer et un bon moyen pour lutter contre l'obésité. et en sels minéraux, aussi il est un bon réducteur de risque contre cancer et un bon moyen pour lutter contre l'obésité. (B. godon et C. Willm 1998)

Tableau N° 15 : Recette conseillée pour réalisation du pain au seigle

Farine prête à l'emploi	100Kg		
Eau	61-63%		
Levure	1%		
Sel	2%		
Température de base 62 °C			
Temps de pétrissage	Pétrin	1^{er} vitesse	5 min
	Bras oblique	2^{ème} vitesse	8 à 10 min
	Pétrin	1^{er} vitesse	3 min
	Bras spirale	2^{ème} vitesse	3 à 4 min
Température de fin de pétrissage 28-30°C			
Pointage	20 min puis détailler		
Division	300 à 350 g de pâte		
Détente	15 à 20 min		
Apprêt	40-50 min		
Cuisson	20-25 min à 240-250 °C Puis 10 min four tombant		

III.5.6. Pain de seigle :

Il doit contenir au moins 65 % de farine de seigle.

Tableau N° 16 : Comparaison de la valeur nutritionnelle de différents types de pains
(Répertoire général des aliments, A. Martin, 2000)

Nutriments	Pain blanc	Pain de seigle	Pain complet
Eau (%)	29	36	36,5
Protéines (%)	8	6,7	9
Glucides (%)	56	49	44
Lipides (%)	1	1	1,8
Fibres (%)	3,5	5,5	7
Magnésium (mg/100g)	26	33	81
Potassium (mg/100g)	120	130	225
Calcium (mg/100g)	23	26	58
Fer (mg/100g)	1,4	2,4	2
Phosphore (mg/100g)	90	114	195
Vitamine B ₁ (mg/100g)	0,09	0,18	0,3
Vitamine B ₂ (mg/100g)	0,05	0,11	0,14
Vitamine PP (mg/100g)	1	1,2	0,3
Vitamine B ₆ (mg/100g)	0,12	0,22	0,21
Vitamine E (mg/100g)	0,18	1,2	1

III.6. Intérêts nutritionnels de consommer du pain :

Le pain est une source importante d'énergie d'origine glucidique (en particulier de glucides complexes). C'est donc une des formes essentielles d'apport d'amidon de la ration. L'apport protéique n'est pas négligeable mais du fait de la présence de facteur limitant, ces protéines végétales nécessitent une complémentation par les aliments animaux voire végétaux tels que les légumes secs ou les graines oléagineuses.

La consommation actuelle en France est trop faible car les consommateurs lui préfèrent d'autres produits céréaliers à concentration énergétique très forte (plus gras et plus sucrés) favorisant des maladies telles qu'obésité ou maladies cardiovasculaires. L'apport en vitamines et minéraux est un peu faible mais cependant non négligeable. (D. Chaplot, 2004)

III.7. Les défauts du pain :

Suite à la matière première utilisée ou aux défaillances des procédés appliqués, le pain peut présenter plusieurs défauts comme le résume le tableau suivant :

Tableau N °17 : Les défauts du pain

Défaut	Causes
Pain plat	Manque de force (pâte trop douce, manque de pointage, etc) Excès de pousse (excès de levure, durée d'apprêt trop longue, température trop élevée) Manque de chaleur au four
Pain peu développé	Excès de force, manque de fermentation, mauvaises incisions, température du four trop élevée.
Pain baisé	Manque de farce, pâton trop serrés, excès de pousse
Grignes déchirées	Excès de force, pâton croûté (pâte trop ferme, pâte chaude, oubli du sel), manque de chaleur au four
Absence de grignes	Pâttons collants (pâte trop douce, pâte froide), pâttons croûtés, excès de pousse, four trop chaud
Croûte rouge	Manque de force, pâttons collants, excès de caramélisation (farine trop diastasique due : aux blés germés ou à un excès de malt), cuisson trop longue.
Croûte pâle	Excès de force, pâttons croûtés, manque de sucre (farine peu diastasique, excès de fermentation).
Croûte dure	Excès de force, durée de cuisson trop longue (température de four trop faible, manque de sucre)
Croûte molle	Pâttons collants, durée de cuisson trop courte, pains trop entassés
Croûte friable	Pain très développé (excès d'acide ascorbique, trop d'apprêt), croûte très fine.
Mie trop serrée	Pâte trop ferme, excès de force, manque de développement au four due aux : mauvaises incisions, four trop chaud, etc.
Mie collante	Farine trop diastasique, manque de farce, manque de cuisson interne (excès d'hydratation, température du four trop vive).
Mie trop blanche	Présence de beaucoup de farine de fèves ou de soja Pétrissage trop long
Mie qui s'émiette	Pâte trop ferme, excès de levure, pointage trop court, apprêt trop court

III.8. Les altérations du pain :

- **Les moisissures**

C'est l'altération la plus fréquente, mais elle ne se propage qu'après quelques jours de conservation.

Pour lutter contre cette altération, on additionne généralement à la pâte un conservateur ; celui-ci est un produit chimique ayant des propriétés fongicides qui peut être du propionate de calcium ou de l'acide propionique à dose maximum de 0.5 %.

Ou bien pour une conservation de longue durée, on peut faire recours à la stérilisation.

Dans les deux cas, les produits finis devront être offerts aux consommateurs avec une date de limite de consommation.

- **La maladie du pain filant**

Celui –ci est provoqué par des bactéries (bacillus mésentéricus et bacillus subtilis) qui se développent sur toute la longueur du pain. La croûte ainsi formée ne pouvant résister se déchirera par la pression des gaz qui s'échappent à travers elle, ce qui donnera lieu à un pain de forme irrégulière et de volume réduit ; la mie devient grisâtre, collante et visqueuse et dégage une odeur de fruit pourri. Cela se produit à partir de 10 à 12 heures après la cuisson.

L'action de ces bactéries se manifeste en période chaude et humide, avec des pains fortement hydratés ou trop lentement refroidis (zone dangereuse entre 32 et 42°C).
Anonyme₇

Chapitre IV

Les améliorants pour panification



ohne Zusatz sans ajout	60ml Ascorbinsäure Avec 60 p.p.m. d' acide ascorbique	60ml Orangensaft Avec 60 p.p.m. de jus d'orange
---------------------------	---	---

Extrait de "Fabrication de pain et de pâtisserie
bio." publié dans "Bio-Lebensmittel aus Getreide"
Behr's Verlag, 1990, p.36, par J.M. BRUNNER.

IV. Les améliorants :

IV.1. Définitions :

Améliorants ou régulateurs, ces termes sont utilisés pour désigner le mélange des produits naturels, ou de synthèse, qui permet de corriger les défauts de certaines farines.

L'améliorant ou régulateur peut comporter en mélange : des additifs, des adjuvants, et des auxiliaires technologiques.

- L'adjuvant :

C'est une substance d'origine naturelle, qui permet de corriger, d'améliorer ou de faciliter la fabrication d'un produit. Exemple : farine de fève, farine de soja, gluten.

- Auxiliaire technologique :

C'est une substance qui est utilisée dans le but de préserver ou de renforcer les qualités du produit, auxiliaire technologique n'est retrouver par la cuisson (enzyme).

L'améliorant de panification facilite et sécurise le travail du boulanger en agissant sur le comportement de la pâte sur les plans :

- **Rhéologique** : en augmentant sa tenue, sa force ou son extensibilité pour mieux supporter les passages en machine.
- **Fermentaire** : en optimisant l'action de la levure par la régularisation de la fermentation et l'augmentation de la capacité de rétention gazeuse.
- **Prise de volume** : en favorisant le développement des produits à la cuisson.

La performance d'un améliorant dépend du choix et du dosage de chacun des ingrédients pour un effet de synergie optimum d'activité. Tout cela évidemment en rapport avec la qualité de farine, le type d'équipement utilisé, le procédé de panification et bien sûr la nature du pain.

IV.2. Les différents améliorants de panification

Les principaux améliorants autorisés en boulangerie sont :

IV.2.1. La farine de froment (3SF) :

Cette farine est dite SSSF parce qu'il s'agit d'une Semoule Sassée sous un Sasseur Fin. C'est une semoule fine provenant de l'albumen périphérique, elle est d'aspect farineux, sa production lors de la mouture est indésirable mais inévitable. C'est un produit très riche en protéines, en sels minéraux et en certaines vitamines.

Elle est incorporée dans la farine panifiable à une dose de 20% du poids de la farine.

IV.2.2. La farine de fève :

Issue de la graine d'une plante appelée fève qui peut atteindre souvent 1 mètre de hauteur, elle se trouve à l'état sauvage en Asie et en Afrique. Ses fruits se présentent sous forme de gousses de couleur vertes puis noirâtres à maturité. A l'intérieur de ses gousses se trouvent 2 à 5 graines rougeâtres qui ressemblent à de gros haricots aplatis.

La farine de fève accélère l'oxydation de la pâte par l'intermédiaire d'une enzyme appelée lipoxygénase qui fixe l'oxygène de l'air au cours du pétrissage. L'oxygène possède un pouvoir décolorant et agit directement sur les pigments de la farine en favorisant le blanchiment de la pâte. Cette oxydation dénature également le goût du pain. Elle participe en partie à l'augmentation du volume du pain grâce au renforcement du réseau glutineux.

Le dosage est en moyenne de 0,7 à 2% du poids de la farine.

IV.2.3. La farine de soja :

C'est une plante légumineuse grimpante dont la hauteur atteint en moyenne 80 centimètres à 1 mètre.

La farine de soja est fabriquée à partir des fèves de soja et tourteaux (résidu de l'extraction de l'huile de soja).

Elle est cultivée aux Etats Unis, Chine, Brésil, Argentine et l'U.R.S.S.

La farine de soja ne contient pas de gluten, est riche en protéines, en matières grasses et pauvre en amidon. Sa valeur alimentaire est très élevée.

Comme la farine de fève, la farine de soja a tendance à faire blanchir la pâte du fait de la présence de la même enzyme (la lipoxygénase) mais en quantité plus importante. C'est pour cette raison que son incorporation se fait dans des proportions moindres (0.5% du poids de la farine). Elle participe également au renforcement du réseau glutineux et assouplit la pâte grâce à ses propriétés émulsifiantes.

IV.2.4. La farine de lin :

L'ajout de graines de lin à une formulation alimentaire représente un excellent choix dans l'amélioration de la valeur nutritive du produit. Riches en protéines, fibres, lignanes et ALA, les graines de lin ont beaucoup à offrir, y compris sa propre allégation de santé. Ils améliorent également la saveur et la texture des aliments et peuvent être utilisées dans une variété d'applications.

IV.2.5. Le malt :

La farine de malt est obtenue par mouture de grains d'orge ou de blé germés. Elle favorise la fermentation grâce à un apport supplémentaire d'amidon et par un apport

d'amylases qui transforment l'amidon de la farine en maltose (sucre du malt assimilable par la levure).

Le malt sert ainsi à améliorer les qualités fermentatives des farines qui sont pauvres en sucres, à compenser une insuffisance amyliasique et à favoriser la coloration de la croûte à la cuisson. Son incorporation se fait à hauteur de 0.3% du poids de farine.

Dans le cas de surdosage, il a l'inconvénient de produire :

- des pâtes collantes voire suintantes,
- un excès de coloration de la croûte,
- une mie à tendance collante.

IV.2.6. Les amylases fongiques :

Provenant de la multiplication de petits champignons microscopiques nommés aspergillus, ces enzymes produisent davantage de sucres fermentescibles que les amylases provenant du malt. Aucune règle de dosage n'est fixée.

Elles améliorent l'activité fermentative de la pâte, l'aspect des pains et contribuent à une meilleure coloration de la croûte.

Pour la dose, aucune règle n'est fixée (**Stephan-c, 2004**).

IV.2.7. Le gluten :

Le gluten entre pour 8 à 12 % dans la composition de la farine. Il fait partie des protéines, et se trouve uniquement dans le grain de blé. A l'état naturel, dans l'amande, il ne s'appelle pas gluten : ce sont deux matières, la gliadine et la gluténine qui, associées à l'eau forment le gluten.

Le dosage du gluten se situe entre 0,5 et 2% du poids de la farine suivant le type de produit fabriqué et la qualité des blés employés pour la mouture.

Il peut absorber 2 à 3 fois son propre poids en eau et après hydratation, il se caractérise par son aptitude à former un réseau élastique, extensible et imperméable.

Il exerce diverses fonctions :

- il accroît le rendement de la farine
- il améliore le réseau glutineux
- il améliore la rétention gazeuse
- il améliore le développement des pâtons
- il permet une durée d'apprêt plus longue

IV.2.8. L'acide ascorbique :

C'est l'améliorant le plus utilisé en panification, il s'agit d'un produit de synthèse obtenu à partir de jus de sorbier fermenté et du piment : son apport accroît la force et la tolérance de la pâte en fermentation ; les pains obtenus ont un volume supérieur avec une croûte brillante non éclatée, et une mie plus blanche et aérée. Bien que ce soit un agent réducteur, il se comporte dans la pâte comme un oxydant. Son action se déroule en trois étapes :

- oxydation de l'acide ascorbique en acide déshydroascorbique en présence d'une acide ascorbique oxydase (ou deshydroascorbase) endogène de la farine.

- oxydation du glutathion par l'acide déshydroascorbique en présence de la glutathion dèshydrogénase .

- oxydation des groupements sulfhydryles de la cystéine des protéines par le glutathion oxydé. L'incorporation moyenne est de 1 à 2%, au-delà, il peut survenir des problèmes tels que :

- excès de force
- blocage des pâtes
- mauvaise conservation du produit fini
- écaillage de la croûte du pain

IV.2.9. Les émulsifiants (lécithine de soja) :

Appelés agents de surface ou tensioactifs, ils constituent des substances qui possèdent une affinité à la fois pour l'eau et pour l'huile; ceci grâce à la présence dans la molécule de groupement hydrophile et lipophile.

Ils améliorent les liaisons entre les différents composants de la pâte, particulièrement quand la pâte contient des matières grasses. Ces meilleures liaisons entraînent un volume plus important et un rassissement retardé.

Ils améliorent également la souplesse et la tolérance des pâtes et diminuent la porosité des pâtons.

Dans le cas de surdosage, ils ont l'inconvénient de donner des pâtes trop extensibles et la mie du pain donne une sensation de mie grasse.

I. Méthodologie :

I-1 Objectif de l'étude :

L'objectif de notre essai consiste à étudier les effets d'incorporation des différentes farines (le seigle, l'orge, le soja) sur les qualités technologiques des farines destinées à la panification.

- On mélange la farine de blé avec celle de seigle, d'orge, et de soja avec des différentes proportions, puis chacun deux va subir des analyses physicochimiques, technologiques, et des essais de panification.
- Ajout de la farine de lin comme un additif naturel et l'acide ascorbique additif chimique pour étudier leurs effets sur le mélange.

I-2 Matériels et méthodes :

L'étude a été réalisée dans le laboratoire d'analyses de la minoterie SIDI BENDHIBA à MOSTAGANEM.

Matières premières :

- La farine de blé tendre mis en œuvre dans l'expérimentation provient de la mouture du blé français de la même minoterie
- L'orge
- Le soja
- Le seigle

I.2.1. Analyses physico-chimiques

Les échantillons de blé et des farines ont été analysés selon une méthode qui prend en compte les éléments suivants :

- La teneur en eau
- Les impuretés
- Le poids de 1000 grains
- La teneur en amidon
- Détermination de la teneur en protéines
- Indice de zeleny
- Taux de cendres
- Indice de chute

I.2.2. Analyses technologique

- Dosage de gluten
- Essai alvéographiques

I.2.3. Essais de panification

II. Caractéristiques physico-chimiques et technologiques de blé tendre mise en œuvre :

II-1 Analyses physico-chimiques du blé

II-1-1 Résultats des analyses physico-chimiques

Tableau N°18 : Analyse physico-chimiques du blé

Analyses effectuées	Résultats	Normes
Teneur en eau (%)	13.5	12.8-14.5
Protéine (%)	11.1	10.5-11.5
Amidon (%)	70.13	64-68
Gluten (%)	24.23	-
Zeleny (mm)	25.4	22-25
Poids. Spécifique (PHL)	72	73-76
Impuretés (%)	01.2	2

II-1-2 Interprétation des résultats :

a. Teneur en eau

Le taux d'humidité de blé est inférieur à la norme qui est aux alentours de 14.5%, nous constatons que notre échantillon a un taux d'humidité de l'ordre de 13.5% c'est un blé humide, cette teneur en eau est très intéressante pour la conservation, lorsque le grain est sec il y a moins de risques de moisissures et les grains se conservent mieux dans les silos.

b. Teneur en protéine :

La teneur en protéine du blé utilisé est légèrement supérieure au seuil minimal 10.5% qui est fixé par l'organisme mondial de normalisation.

c. Teneur en amidon :

L'amidon est une source importante de glucides dans l'alimentation humaine. La détermination de la teneur en amidon est faite par l'infratec. La teneur en amidon du blé analysé est de 70.13%.

D'après le résultat, nous constatons que le blé mis en œuvre est nettement riche en amidon.

d. Indice de zeleny (indice de sédimentation) :

La mesure de l'indice de sédimentation permet de classer les blés suivant leurs qualités. Le principe de cette mesure repose sur l'aptitude des protéines de farine à gonfler en milieu acide et donc la mesure de la hauteur du dépôt obtenu après agitation et sédimentation d'une préparation de farine en suspension dans un réactif. **ITCF**

Dans notre expérimentation, nous avons déterminé l'indice de zeleny du blé utilisé avec l'infretect (lecteur directe).

Le résultat obtenu, montre une valeur de 25.4 mm. Ce résultat est proche de la fourchette proposée par **Roussel (2000)** pour une farine destinée à la boulangerie courante qu'est de 22 à 25 mm.

e. Le poids a l'hectolitre (phl) :

C'est la masse volumique apparente des grains mesurés dans un récipient de volume connu. Cette mesure nous donne une idée sur sa valeur meunière à savoir le rendement et le taux d'extraction en meunerie. Il est aussi signe de richesse en protéine, car un blé vitreux est plus dense qu'un blé farineux, donc de masse volumique ou de densité plus importante.

Tableau N°19 : Les normes du poids spécifique des blés tendres. ITCF(2001)

Classe de poids	Caractéristique et qualité
Au dessous de 70 kg/hl	Blé anormal, non commercial
Au dessous de 72 kg/hl	Blé inacceptable a l'intervention
Entre 72-75 kg/hl	Masse faible, léger et de faible valeur meunière
Entre 75-77 kg/hl	Masse moyenne
Entre 77-79 kg/hl	Masse élevée, blé lourd et de bonne valeur meunière
Au dessus de 80 kg/hl	Masse très élevée, blés très lourd, vitreux et dense à très bon rendement

D'après le tableau indiquant les normes, la comparaison avec le blé mis en œuvre fait apparaître que notre blé appartient à la 3^{ème} catégorie avec un poids spécifique 72 kg/hl.

Il est de masse faible, léger et de faible valeur meunière.

f. Les impuretés :

La connaissance du taux d'impuretés et leur nature est intéressante, car elles provoquent un réel risque pour la minoterie et le produit fini. La nature des impuretés varie avec les lots de blé et leurs origines.

D'après les résultats obtenus, on remarque que notre blé présente une valeur correctement admise (1.2%).

III. Caractéristiques physico-chimiques et technologiques des farines mises en œuvre

La farine de blé que nous avons utilisée est obtenue au sein de la minoterie même. C'est une farine panifiable de type 55.

Tableau N°20 : Résultats des analyses physico-chimiques et technologiques des farines mises en œuvre

Analyses	Farine de blé Témoin	Farine de seigle	Farine d'orge	Farine de soja	Normes
Teneur en eau (%)	15.3	13,9	13.3	8.2	<15.5
Teneur en protéines (%)	9.9	12.5	11	38.7	14-15.5
Taux de cendres (%)	0.54	0.59	0.60	0.89	<0.70
Teneur en gluten (%)	21.5	20.9	16.4	–	–
W.A (%)	56.5	64.7	63.3	65.9	–

Interprétation des résultats

a. Teneur en eau

La teneur en eau de nos farines est conforme à la norme. Cela montre qu'elles sont issues des grains bien séchés et bien conservés.

b. Teneur en protéines

Cette teneur a été obtenue par l'utilisation d'un appareil dit infratec dont le principe est la transmission dans le proche infra rouge. Il permet de déterminer plusieurs constituants que ce soit dans le blé entier ou dans la farine.

La teneur en protéines des farines de blé, de seigle, et d'orge est de 9.9 ; 12.5 ; 11 % légèrement inférieur au seuil minimal, Selon **Godon (1985), Grandvoinet et Pratz (1994)** la teneur en protéines des farines de blé destinées à la fabrication de produits de cuisson varie de 14.00 à 15.50 %.

c. Taux de cendre

Le taux de cendre également obtenu grâce à l'infratec est pour notre farines les résultats sont conforme à la norme internationale, par contre la farine de soja a un taux de cendre qui ne répond pas à la norme de farine de blé de type 55.

d. Teneur en gluten et coefficient d'hydratation

Le principe de dosage du gluten repose sur son insolubilité dans l'eau salée et sur ses propriétés de s'agglomérer lorsqu'on le malaxe sous un filet d'eau pour éliminer les constituants solubles. La masse plastique obtenue est pesée à l'état humide puis à l'état sec après dessiccation.

Le coefficient d'hydratation est alors obtenu par la formule :

$$WA = \frac{\text{gluten humide} - \text{gluten sec} \times 100}{\text{Gluten humide}}$$

Les résultats de cette analyse peuvent également être obtenus grâce à l'infratec, ce qui nous a montré que notre farine de blé et de seigle a un coefficient d'hydratation convenable et une bonne teneur en gluten par rapport à la farine d'orge qui a une faible teneur de gluten.

e. Détermination de l'activité amylasique (indice de chute) :

Le principe de la méthode repose sur la mesure de la viscosité d'un empis formé par la gélatinisation d'une suspension aqueuse de farine ou de mouture complète placée dans un

bain d'eau bouillante. L'évolution de sa viscosité, liée à l'activité des enzymes, est appréciée par le temps mis par un agitateur pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids. Une activité amylasique importante provoque la liquéfaction rapide de l'empois et la durée de chute de l'agitateur est courte (faible indice de chute), inversement un blé à faible activité enzymatique a un indice de chute élevé. **ITCF(2001)**.

Pour l'obtenir, nous avons utilisé la méthode appelée le « temps de chute de Hagberg ».

L'indice de chute de notre farine de blé (271 sec) est conforme à la norme, indique une activité optimale, des grains non germés aptes à la panification.

➤ Essais alvéographiques de la farine de blé

Ces essais sont réalisés grâce à un appareil appelé Alvéographe de Chopin.

1 .Le principe :

Le principe de la mesure repose sur l'étude du comportement d'un échantillon de pâte, formé à partir d'un mélange de farine et d'eau salée lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant. Dans un premier temps le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis gonfle sous forme de bulle plus ou moins volumineuse selon son extensibilité et éclate. L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe, appelée alvéogramme. **ITCF**

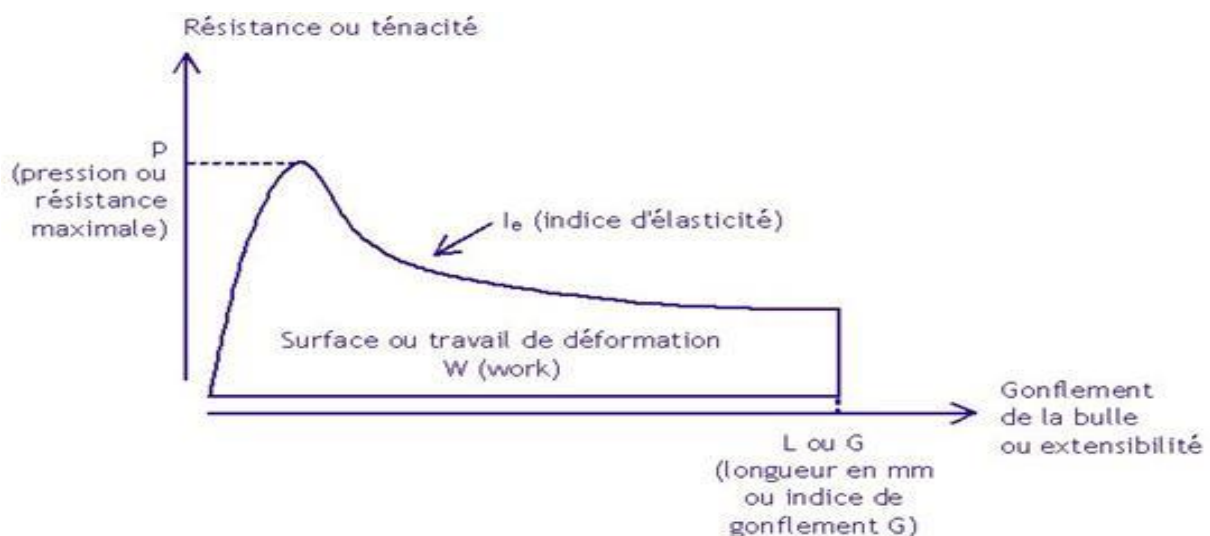


Figure 06 : Alvéogramme de chopin (Sophie Berland et Philippe Roussel, 2005)

Tableau N°21 : Utilisations potentielles des blés selon leur force boulangère ITCF

Force W	Rapport P/L	Utilisations
>170	< 0.7	Panification

Expression des résultats

L'alvéographe est caractérisé par 4 paramètres principaux ; P, G ou L, W et le rapport P/L. Le W ou surface du digramme est assez bien corrélé avec la quantité du gluten. Les valeurs de P, G, Ie sont des indicateurs de qualité des propriétés rhéologiques des pâtes (résistance, extensibilité) (**Sophie Berland et Philippe Roussel, 2005**)

Tableau N°22: Résultats des essais alvéographiques de la farine de blé mise en œuvre

Paramètres alvéographiques	W	P	L	G	P/L	Ie
Farine mise en œuvre	183	86	58	17	1.48	49.8
Normes	130- 220	60-80	-	>18	0.45-0.65	45-55

Interprétation des résultats

Notre farine témoin a présenté un gonflement (G) de 17 cm³, une ténacité (P) de 86 mm, une extensibilité (L) de 58 mm, le rapport de configuration (P/L) est de 1.48 et un travail de déformation (W) de 183 J.

La comparaison des caractéristiques alvéographiques de la farine mis en œuvre aux normes de la panification données par **J.O.R.A. (1991)** a montré que le gonflement (G) de 17cm³ est non admis par ces normes (G > à 18 cm³), tandis que le rapport de configuration (P/L) de 1.48 est un peu élevé (P/L : compris entre 0.45 et 0.65) renseignant sur la ténacité élevée de cette farine et se traduisant par un alvéogramme légèrement déséquilibré.

La farine témoin s'est caractérisée par un travail de déformation (W : 183 J) est supérieur a la norme algériennes **J.O.R.A. 1991** (W compris entre 130 et 180 J), renseignant sur une farine destinée à la panification avec une force boulangère modérée ,mais se rapprochent a l'intervalles de valeurs données par **Guinet et Godon (1994)** en panification française (W : compris entre 200 et 250 J). Sur la base des valeurs alvéographiques.

IV. Réalisation des mélanges

Notre expérimentation est dans l'objectif de formuler une farine panifiable, par l'incorporation des autres farines à des différentes proportions « seigle, orge et soja », comme suit :

Pour la farine de l'orge et de seigle

80% FB+ 20% FO/ FSg

70% FB+ 30% FO/FSg

50%FB+ 50% FO/FSg

Et pour la farine de soja

80% FB+ 20%FS

90%FB+ 10%FS

94%FB+ 6%FS

97%FB+3%FS

Chacun de ces mélanges a subi des analyses physico-chimiques, technologiques et des essais alvéographiques pour tester leurs aptitude a la panification.

1. Mélange de farine de blé et la farine de seigle

Tableau N°23 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques des mélanges de farine de blé avec la farine du seigle

Analyses	80 % FB+ 20% FSg	70% FB + 30% FSg	50% FB + 50% FSg	Normes
Teneur en eau (%)	14.30	14.20	14.20	<15.5
Teneur en protéines (%)	11.70	11.00	10.70	14-15.5
Taux de cendres (%)	0.72	0.78	0.90	<0.70
Teneur en gluten (%)	24.1	20.7	19.13	–
W.A (%)	56.9	62.5	64.8	–
Indice de chute (sec)	298	279	248	180 à 280

Compte tenu des résultats ci-dessus, nos mélanges ont des caractéristiques physico-chimiques et technologiques conformes à la norme à part pour l'activité amylasique où seul le mélange 80% FB+20% FSg qui est supérieur au seuil maximum de la norme

Tableau N°24 : Résultats des essais alvéographiques des mélanges de farine de blé avec la farine du seigle

Farine	W	P	L	G	P/L	Ie
80 % FB+ 20% FSg	162	104	37	13.5	2.81	0
70 % FB+ 30 % FSg	173	107	38	13.7	2.82	0
50 % FB + 50 % FSg	161	103	34	13	3.03	0
Normes	130- 220	60-80	-	>18	0.45-0.65	45-55

D'après les résultats des essais alvéographiques ci-dessus, nous avons choisi de travailler avec le mélange 50% FB+50%FSg car ses caractéristiques rhéologiques sont en dessous de la norme, elle nécessite donc une correction.

2. Mélange de la farine de blé avec la farine de l'orge

Tableau N°25 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques des mélanges de farine de blé avec la farine de l'orge

Analyses	80 % FB+ 20% FO	70% FB + 30% FO	50% FB + 50% FO	Normes
Teneur en eau (%)	14.80	14.80	14.50	<15.5
Teneur en protéines (%)	10.10	10.10	10.40	14-15.5
Taux de cendres (%)	0.72	0.79	0.97	<0.70
Teneur en gluten (%)	18.7	16.7	16.5	—
W.A (%)	56.5	56.6	57.5	—
Indice de chute (sec)	203	143	82	180 à 280

Selon les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus, les caractéristiques physico-chimiques et technologiques pour le mélange 80% FB+20% FO répondent à la norme, mais les deux autres mélanges (70% FB+30% FO ; 50% FB+50% FO) leurs indices de chute sont inférieurs au seuil minimum de la norme.

Tableau N°26 : Résultats des essais alvéographiques des mélanges de farine de blé avec la farine de l'orge

Farine	W	P	L	G	P/L	Ie
80 % FB+ 20% FO	107	104	23	10.7	4.52	0
70 % FB+ 30 % FO	80	97	18	9.4	5.39	0
50 % FB +50 % FO	62	97	13	8	7.46	0
Normes	130- 220	60-80	-	>18	0.45-0.65	45-55

Les caractéristiques rhéologiques des trois formules à base de farine d'orge et de blé ont été étudiées pour le gonflement (G), le rapport de configuration (P/L) et le travail de déformation (W), très différentes de celles de la farine de blé témoin ainsi que des normes algériennes de panification **J.O.R.A.1991**

Parmi les trois formules à base de farine d'orge c'est la formule (80%FB+20% FO) qui a présenté un gonflement ($G= 10.7 \text{ cm}^3$) et un travail de déformation ($W= 107 \text{ J}$), donc on a choisie cette formule pour la correction.

3. Mélange de la farine de blé et la farine de soja

Tableau N°27 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques des mélanges de farine de blé avec la farine du soja

Analyses	97 % FB + 3 % FS	94 % FB + 6 % FS	90 % FB + 10 % FS	80 % FB + 20 % FS	Normes
Teneur en eau (%)	14.80	14.70	14.8	14.10	<15.5
Teneur en protéines (%)	10.30	11.20	11.6	13.66	14-15.5
Taux de cendres (%)	0.66	0.91	1.11	1.53	<0.70
Teneur en gluten (%)	22.46	21.96	20.10	20.08	–
W.A (%)	56.8	57.2	57.3	58.6	–
Indice de chute (sec)	290	314	270	210	180 à 280

La farine de soja ; C'est une farine riche en protéines, La comparaison de la composition des quatre formules de mélange (tableau N° 27) avec celles de farine de blé (tableau N° 20) nous a permis de constater que la complémentation blé-soja a sensiblement changé la teneur en protéine Cette dernière a marqué une augmentation de 10.30% à celle du farine de blé, soja pour la formule de (97% FB+3% FS), de 11.20% pour (94% FB+6% FS), de 11.6% pour la formule (90% FB+10% FS) et 13.66% pour la formule (80% FB+ 20% FS).

Par contre, l'indice de chute de nos mélanges reste conforme à la norme sauf pour le dernier qui présente une valeur de 210 sec.

Tableau N°28 : Résultats des essais alvéographiques des mélanges de farine de blé avec la farine de soja

Farine	W	P	L	G	P/L	Ie
97 % FB + 3 % FS	148	85	44	14.8	1.45	44
94 % FB + 6 % FS	112	99	44	14.8	1.93	45.6
90 % FB + 10 % FS	110	64	26	11.4	3.81	0
80 % FB + 20 % FS	64	67	21	10.2	3.19	0
Normes	130- 220	60-80	–	>18	0.45-0.65	45-55

Les valeurs des indices alvéographiques de nos mélanges ont été pour le gonflement (G), le rapport de configuration (P/L) et le travail de déformation (W), très différentes de celles du témoin de blé tendre ainsi que des normes algériennes de panification **J.O.R.A. 1991** (W : 130-220 x10⁻⁴J ; P/L : 0.45-0.65 et G > à 20 cm³).

Concernant les valeurs du gonflement (G) et Le travail de déformation (W), ce sont celle de la formule (97% FB+3%FS) pour (G = 14.8 cm³ ; W = 148 J) qui se rapprochent le plus des normes algériennes **J.O.R.A. 1991** (G > à 20 cm³ ; W entre (130-220) x 10⁻⁴ J) et du témoin de blé tendre (G = 17 cm³ ; W = 183 x 10⁻⁴ J) d'après ces résultats nous avons essayé de travailler avec le mélange (80%FB+20%FS) car ses caractéristiques rhéologiques sont en dessous de la norme.

V. L'effet de l'acide ascorbique et la farine de lin sur les différents mélanges a corrigés

-acide ascorbique dans la proportion de 6g/quintal (0.001-0.002%)

-farine de lin 50 g/kg

➤ **La correction des mélanges farine de blé avec la farine de seigle**

Tableau N°29 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine du seigle

Analyses	Ft (50 % FB+ 50% FSg)	Ft + FL	Ft + Ac asc	Normes
Indice de chute (sec)	248	261	262	180 à 280

Nous remarquons que tous les additifs ont eu un effet positif sur l'activité amyliasique de notre farine dont l'indice de chute a pris les valeurs comprise dans l'intervalle de la norme (180 à 280 sec) avec une nette amélioration par l'utilisation de l'acide ascorbique.

Tableau N°30: Résultats des essais alvéographiques de la correction des mélanges de farine de blé avec la farine de seigle

Farine	Ft (50 % FB+ 50% FSg)	Ft + FL	Ft + Ac asc	Normes
W	161	190	218	130 – 220
P	103	109	123	60 – 80
L	34	43	41	-
G	13	14.6	14.3	> 18
P/L	3.03	2.53	3.00	0.45 – 0.65
Ie	0	0	0	45 – 55

Effet de la farine de lin : l'effet de cette farine est ressenti au niveau de la force de la pâte (161 à 190 J). Par contre, une légères augmentation de tenacité et l'extensibilité ce qui nous a donné une amélioration du rapport de configuration (3.03 a 2.53 mm).

Effet de l'acide ascorbique : ce mélange a entraîné l'augmentation de la force de la pate (161 à 218 J), il a eu un effet négatif sur notre farine car il a augmenté la tenacité.

➤ **La correction des mélanges de farine de blé avec la farine de l'orge**

Tableau N°31 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine d'orge

Analyses	Ft (80 % FB+ 20% FO)	Ft + FL	Ft + Ac asc	Normes
Indice de chute (sec)	203	178	196	180 à 280

Pour ce mélange l'acide ascorbique à un effet positif sur l'activité amylasique de notre farine dont l'indice de chute a pris de valeur conforme a la norme.

Tableau N°32 : Résultats des essais alvéographiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine d'orge

Farine	Ft (80 % FB+ 20% FO)	Ft + FL	Ft + Ac asc	Normes
W	107	91	109	130 - 220
P	104	91	95	60 - 80
L	23	23	25	-
G	10.7	10.7	11.1	> 18
P/L	4.52	3.96	3.80	0.45 – 0.65
Ie	0	0	0	45 - 55

Effet de la farine de lin : elle diminue le travail de déformation W (107 a 91 J) ainsi que la tenacité P une diminution du rapport de configuration (4.52 a 3.96 mm).

Pour l'acide ascorbique leur effet est positif, une amélioration remarquable sur le rapport de configuration (4.52 a 3.80) et sur la force boulangère de la pate (107 a 109 J).

➤ **La correction des mélanges farine de blé avec la farine de soja**

Tableau N°33 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine du soja

Analyses	Ft (80 % FB+ 20% FS)	Ft + FL	Ft + Ac asc	Normes
Indice de chute (sec)	210	204	174	180 à 280

On constate que l'indice de chute de mélange (Ft+FL) reste dans l'intervalle des normes, par contre le mélange (Ft+Ac.asc) qui est au seuil minimum de la norme.

Tableau N°34 : Résultats des essais alvéographiques de la correction des mélanges farine de blé avec farine de soja

Farine	Ft (80 % FB+ 20% FS)	Ft + FL	Ft + Ac asc	Normes
W	64	73	64	130 – 220
P	67	82	81	60 – 80
L	21	19	17	-
G	10.2	8.3	9.2	> 18
P/L	3.19	4.32	4.76	0.45 – 0.65
Ie	0	0	0	45 – 55

D'après le tableau ci-dessus, la farine de lin a entraîné une augmentation de la force boulangère de la pâte W (64 à 73 J) et la tenacité P (67 à 82 mm), et un effet négatif pour les additifs sur notre mélange car ils ont augmentés d'une manière très remarquable le rapport de configuration (3.19 à 4.32, 4.76).

Tableau N°35 : Résultats des analyses physicochimiques et technologiques de farine de blé avec le mélange des farines (FO. FS. FSg).

Analyses	Ft (54%FB+ FM)	Ft +FL	Ft + Ac asc	Normes
Teneur en eau (%)	13.33	12.53	12.3	<15.5
Teneur en protéines (%)	13.66	13.4	13.76	14-15.5
Taux de cendres (%)	1.42	1.49	1.27	<0.70
Teneur en gluten (%)	25	22.6	22.06	
W.A (%)	64.7	62.8	63	
Indice de chute (sec)	173	209	194	180 à 280

D'après nos résultats en remarque que l'indice de chute de mélange avant la correction est inférieur a la norme 173 secondes présente une activité enzymatique importante liée a des grains germés hyper diastasiques, donnant du pain a mie collante et une croûte rouge (Sophie Berland et Philippe Roussel,2005).

Tableau N°36 : Résultats des essais alvéographiques de farine de blé avec le mélange des farines (FO. FS. FSg)

Farine	Ft (54% FB+ 46% FM)	FB + FM L	FB+ FM Ac	Normes
W	108	119	87	130 – 220
P	81.66	78.66	56	60 – 80
L	16	17	16	-
G	9.2	13	10.11	> 18
P/L	2.72	2.25	1.72	0.45 – 0.65
Ie	0	0	0	45 – 55

Les caractéristiques rhéologiques des trois mélanges a base de farine de blé (54%FB+46%FM, 54%FB+46%FM +Flin, 54%FB+46%FM +Acide ascorbique) ont été pour le gonflement (G), le rapport de configuration (P/L) et le travail de déformation (W),

très différentes de celles du farine témoin de blé tendre ainsi que des normes algériennes de panification **J.O.R.A.1991**

En ce qui concerne le gonflement (G) et le travail de déformation (W), temps de chute, c'est le mélange (FB+FML) : (G= 13 cm³ ; W= 119 J; temps de chute= 209 sec) qui a présenté les meilleurs valeurs de (G, W) ainsi un temps de chute qui se rapproche aux normes algériennes **J.O.R.A. 1991** (G> a 20 cm³ ; temps de chute (180-280).

En conclusion, l'addition de la farine de lin a influé positivement sur les caractéristiques alvéographiques (G, p/L, W) et sur sa valeur diététique et nutritionnelle.

VI. Essais de panification

Les essais de panification ont été réalisés au niveau du fournil de la minoterie de **SIDI BENDHIBA(MSB)**.

❖ But de la panification :

Le test de panification permet :

- De déterminer la qualité boulangère des variétés de blé pures ou des mélanges.
- De rechercher une formulation optimisée (additifs, auxiliaires technologique ou tout autre ingrédient) pour un process de panification.
- De contrôler l'aptitude d'une farine commerciale à être panifiée.

❖ Principe de panification :

Dans le but de réduire les causes de variation entre fournils et pour se rapprocher davantage des réalités boulangères , les travaux effectués dans le cadre du **BIPEA** ont permis de définir une méthodologie commune d'essai pour tester la qualité boulangères des blés et des farines commerciales .

Le test **BIPEA** reproduit à l'échelle du laboratoire, le diagramme de panification pratiqué par l'artisan boulanger :

- Obtention d'une pâte par pétrissage intensifié de farine, d'eau, de levure, de sel, d'acide ascorbique et de malt.
- Pointage, première phases de fermentation en cuve.
- Fractionnement, boulage, détente et façonnage mécanique des pâtons sous forme de bâtard.
- Apprêt, fermentation sur couches (01.5H-02 H à 30C⁰).
- Cuisson des pains (20 minutes à 250⁰C).

❖ Expression des résultats :

Les caractéristiques de la pâte et des pains spéciaux sont appréciés par le boulanger à toutes les étapes de la panification :

- A la fin du pétrissage
- Avant l'enfournement Après la cuisson des pains spéciaux
- Après la cuisson des pains spéciaux

1. Matériels et ingrédients utilisés en panification

Matériels : - Balance de précision

- Un pétrin oblique
- Thermomètre
- Façonneuse
- Plateau pour la fermentation
- Lame pour l'incision
- Un four rotatif

Ingrédients : - 3kg de farine

- 30g de levure
- 20g de sel
- 1800g d'eau
- 7.5g d'améliorant de marque EKA

NB : Cet améliorant est toujours utilisés quand on travail avec un four rotatif. Ces ingrédients représentent la quantité nécessaire pour chaque essai.

2. Mode opératoire de la panification

a) Détermination de la température d'hydratation

Celle-ci se détermine à base de la température de base qui est de 58°C selon la norme algérienne et qui cumule la température de l'ambiance du fournil, la température de la farine et celle de l'eau.

Température de l'eau = température de base – (température de fournil + température de la farine)

b) Préparation de la pâte:

- Peser avec précision 3kg de farine, 30g de levure, 7.5g d'améliorant et 20g de sel.
- Déterminer la température de l'eau et peser 1800g d'eau à la température déterminée.
- Verser tous ces ingrédients dans le pétrin sauf le sel qui sera ajouté vers la fin du pétrissage pour ne pas gêner l'action de la levure.

Etude expérimentale

- Mettre en marche le pétrin en première vitesse et laisser tourner pendant 5min, déclencher la deuxième vitesse et attendre 15min ; après cela on détermine la température de la pâte.
- Laisser reposer la pâte pendant 15min. Cette étape est suivie par le découpage, le pesage et le façonnage.
- Ces pâtons sont laissés au repos pendant 10 à 15min puis conduits dans la chambre de fermentation où ils vont passer 90min à une température comprise entre 30 et 35°C et une humidité relative de 60%.
- Après cela ils sont sortis et on pratique des coups de lame à leurs surfaces avant l'enfournement qui dure 20min à une température de 250.

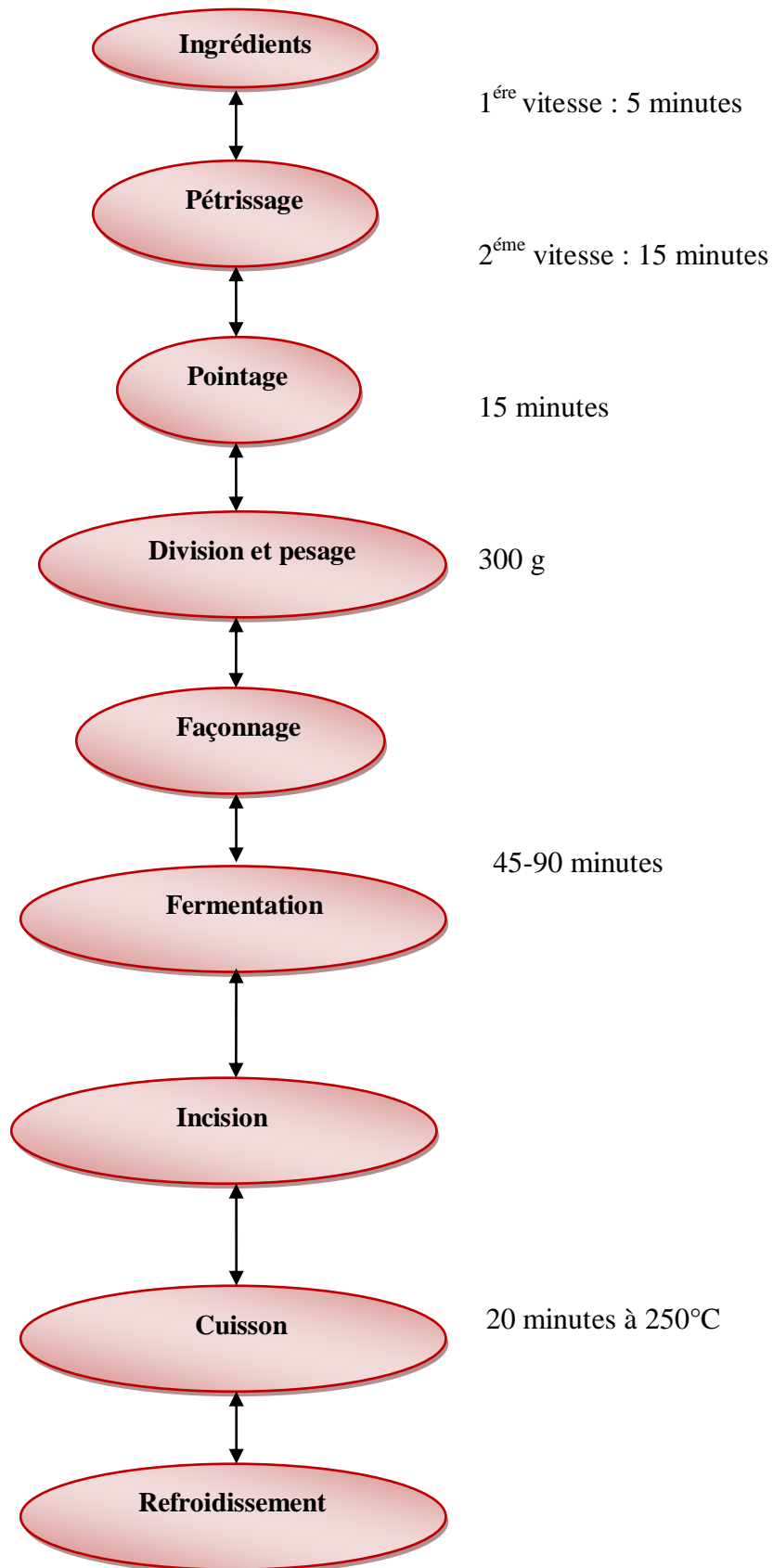


Figure 07 : Diagramme de fabrication du pain

3. Résultats du test de panification

Tableau N°37 : Les critères d’appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de seigle

Essais		20% FSg+ 80% FB	30% FSg+ 70% FB	50% FSg+ 50% FB	
Température	Fournil	21.1	21.2	21.2	
	Farine	19.1	22.6	22	
	Eau	18.8	14.2	14.8	
	Pate	27.3	27.5	29.30	
Pétrissage	Relâchement	+	+	+	
	Lissage	+	+	+	
	Consistance	+	+	+	
	Collant	+	+	+ -	
Façonnage	Extensibilité	+	+	+ -	
	Elasticité	+	+	-	
Aspect du pain	Section	Ronde	+	+	+ -
		plate			
	Couleur		+	+	+
	Epais, croute		+	+	+ -
	Coups de lames		++	+	-

Observation= très bien (++) bien (+), mauvais (-), très mauvais (- -)

Les résultats du tableau ci-dessus, montrent que la farine (50%FB +50% FSg) présente quelques défauts sur les caractéristiques de la pâte. Elle présente une insuffisance au niveau du pétrissage, pointage, façonnage et l’aspect du pain.

Tableau N°38 : Les critères d’appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de soja

Essais		20% FS+80% FB	10% FS+90% FB	6%FS+94% FB	3%FS+97%FB
Température (°C)	Fournil	19	18.4	18.4	21.1
	Farine	20	17.3	18	19.1
	Eau	19	22.3	21.6	18.8
	Pate	23.8	26.3	24.1	25.3
Pétrissage	Relâchement	-	+	+	+
	Lissage	-	+	+	+
	Consistance	-	+-	+	+
	Collant	-	+	+	+
Façonnage	Extensibilité	+	+	+	+
	Elasticité	-	+	+	+
Aspect du pain	Section	Ronde	-	+	+
		plate			
	Couleur	-	+	+	+
	Epais, croute	-	-	-	+
	Coups de lames	-	+	+	+

D’après les résultats du tableau ci-dessus, le pain de blé et soja (90%FB +10% FS, 94%FB+6%FS ,97%FB+3%FS) ont présentent des caractéristiques de la pâte normale illustrée dans le tableau N° 38 ; une pâte lisse et relâchement normal et non collante, en outre une croûte de couleur marron, mais fine et croustillante seulement pour le dernier mélange. Par contre le pain (80%FB+20%FS) présente beaucoup de défaut sur les caractéristiques de la pâte et une insuffisance au niveau du pétrissage, pointage, façonnage et l’aspect du pain.

Tableau N°39 : Les critères d’appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine d’orge

Essais		20% FO+ 80% FB	30% FO+ 70% FB	50% FO+ 50% FB
Température (°C)	Fournil	21	18	21
	Farine	20.5	20	21
	Eau	16.5	20	16
	Pate	26.5	26	23.3
Pétrissage	Relâchement	+	+	+
	Lissage	+	+	-
	Consistance	+	+	-
	Collant	-	+	+
Façonnage	Extensibilité	-	+	+
	Elasticité	--	+	-
Aspect du pain	Section	Ronde	+	+ -
		Plate	/	
	Couleur	+	+	+
	Epais, croute	+	+	+ -
	Coups de lames	(+) avant (-) après	--	-

Si nous regardons les résultats du tableau ci-dessus, nous remarquons que notre farine (80%FB +20%FO) présente peu de défaut sur les caractéristiques de la pâte. Cette dernière présente une insuffisance au niveau de l'élasticité et de l'extensibilité.

2. La correction par l'addition de l'acide ascorbique et la farine de lin

Tableau N°40 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de seigle corrigé

Essais		FT 50%FSg+ 50%FB	50%FSg+ 50%FB+ Flin	50% FSg+ 50% FB+ AC.Asc	
Température	Fournil	21.2	20.4	20.4	
	Farine	22	21	21.3	
	Eau	14.8	16.6	16.3	
	Pate	29.30	28.2	26.6	
Pétrissage	Relâchement	+	+	+	
	Lissage	+	+	+	
	Consistance	+	+	+	
	Collant	+-	+	+-	
Façonnage	Extensibilité	+	+	+	
	Elasticité	+	++	+	
Aspect du pain	Section	Ronde	+	+	+
		plate			
	Couleur	+	+	+	
	Epais, croute	+	+	+	
	Coups de lames	+	+	+	

Le pain de mélange blé et seigle (50%FB+50%FSg) a présenté des caractéristiques de la pâte normale après l'ajout des additifs telle que le lin et l'acide ascorbique, qu'ils ont des effets positifs sur les étapes de panification, une pâte lisse et relâchement normal et non collante juste pour le lin, en outre une croûte de couleur marron foncé, fine et croustillante. D'autre part, la mie est de couleur crème à marron, elle a présenté des alvéoles de forme régulière, l'odeur du pain est jugée bonne et ne présente pas de défaut particulier.

Tableau N°41 : Les critères d'appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine d'orge corrigé

Essais		FT 20% FO+ 80% FB	20% FO+ 80%FB+ Flin	20% FO+ 80%FB+ AC.asc
Température	Fournil	21	21	21
	Farine	20.5	21.1	21.5
	Eau	16.5	15.9	15.5
	Pate	26.5	27.7	25.8
Pétrissage	Relâchement	+	+	+
	Lissage	+	+	+
	Consistance	+	+	+
	Collant	-	+-	+-
Façonnage	Extensibilité	+	+	+
	Elasticité	-	-	+-
Aspect du pain	Section	+	+	+
	ronde			
	plate			
	Couleur	+	+	+
	Epais, croute	+	+	+
	Coups de lames	(+) avant (-) après	+ -	+ -

Les résultats obtenus de la panification de mélange blé et orge additionné sont identiques au niveau du pétrissage et pointage qui confère une pâte lisse, moins collante par rapport à la pâte témoin, par contre l'ajout de l'acide ascorbique a entraîné l'augmentation de la force de la pâte. Ce dernier a un effet positif sur la fermentation, cette pâte gonfle très bien.

Tableau N°42 : Les critères d’appréciation de la pâte de la farine de blé avec la farine de soja corrigé

Essais		FT 20% FS+ 80% FB	20%FS+ 80%FB+ F.lin	20%FS+ 80%FB+ AC.Asc
Température (°C)	Fournil	19	21	21
	Farine	20	22.5	21.9
	Eau	19	14.5	15.1
	Pate	23.8	24.6	22.2
Pétrissage	Relâchement	-	+	+
	Lissage	-	-	-
	Consistance	-	+-	+
	Collant	-	-	--
Façonnage	Extensibilité	+	+	+
	Elasticité	-	+-	+
Aspect du pain	Section			
	Ronde	-	+-	-
	plate			
	Couleur	-	+	+
	Epais, croute	-	-	-
	Coups de lames	-	-	+-
			--	-

Le tableau montre que les résultats de panification sont similaires au niveau de pétrissage et façonnage par l’addition des deux additifs, qui confère une pâte moins lisse, collante et relâchement normal.

Concernant le gonflement au court de la fermentation on constate un mal levé de la pâte. La structure de la mie se trouve molle, une croute plus moins fine de couleur marron dorée.

Tableau N°43 : Les critères d’appréciation de la pâte de la farine de blé avec le mélange des farines de seigle, l’orge et du soja

Essais		FT 54%FB+ 46%FM	54%FB+ 46%FM+ F.Lin	54% FB+ 46% FM+ AC.asc	
Température	Fournil	20.6	20.6	20.6	
	Farine	20.3	21.3	21.3	
	Eau	17.1	16.1	16.3	
	Pate	26.6	23.5	26.6	
Pétrissage	Relâchement	+	+	+	
	Lissage	+	+	+	
	Consistance	+	+	+	
	Collant	-	+	+	
Façonnage	Extensibilité	+	+	+	
	Elasticité	+	+	+/-	
Aspect du pain	Section	Ronde	-	+/-	+
		plate			
	couleur		+	+	+
	Epais, croute		+	+	+
	Coups de lames		-	+	+
			-	-	

D’après le tableau ci-dessus, on remarque une amélioration par l’effet des deux additifs, une pâte bonne, c’est-à-dire la dernière a pu corriger tous les défauts de notre mélange, donc le pain était jugé mieux apprécié, une couleur, une odeur et une croûte normales et ne présente plus de défaut particulier.

Conclusion

Les résultats obtenus pour le premier lieu de ce travail consistent à déterminer la composition de la matière première en réalisant des analyses physico-chimiques technologiques et organoleptique pour la farine de blé importé. Nous avons relevé que les résultats dégagés sont proches à la norme généralement admise.

Le deuxième lieu, l'étude consiste a réaliser des mélanges de farine de blé et de seigle, d'orge, et de soja a des différentes proportions et une correction a été faite par l'incorporation des améliorants sur les mélanges qui présente des défauts du point de vue des caractéristiques rhéologiques.

D'après les résultats obtenus, la formule (Ft+F.Lin) de mélange 50% farine de blé plus 50% farine de seigle a présenté un profil idéal avec un gonflement ($G= 14.6$) et le travail de déformation ($W= 190$) ainsi un rapport de configuration ($P/L= 2.53$) et un temps de chute de 261 sec.

En outre, et concernant le mélange 80% farine de blé plus 20% farine d'orge les résultats relevés nous ont permis de déduire que la formule (Ft+Ac asc) a présenté les meilleurs résultats avec un gonflement ($G= 11.1$) et un travail de déformation ($W= 109$) ainsi un temps de chute de 196 sec de plus le rapport de configuration ($P/L= 3.80$).

Les résultats dégagés sur le mélange 80% farine de blé plus 20% farine de soja nous ont permis de conclure que le mélange témoin présenté les meilleurs résultats pour le gonflement ($G=10$) par rapport au deux reste mélanges corrigés (Ft+F.Lin ; Ft+ Ac asc).

Pour Le mélange 54% farine de blé plus 46% de mélange de faine d'orge, de seigle et de soja , l'adition de la farine de lin et l'acide ascorbique a influé positivement sur les caractéristiques alvéographiques ($G, p/L, W$).

Enfin, dans le troisième lieu le test de panification de nos farines corrigées a été réalisé par l'ajout des améliorants. Les résultats obtenus ont révélé que les pains (Ft+Flin) pour le mélange de blé plus seigle et (Ft+Ac asc) pour le mélange blé plus l'orge ont été très appréciés par les connaisseurs, par contre le mélange blé plus soja reste désagréable

Pour le mélange final reste le plus beau et bon et sa valeur diététique et nutritionnelle plus importante.

Références bibliographiques

- ❖ **AFNOR, 1991-** Recueil de normes –contrôle de la qualité des produits alimentaires : céréales et produits céréaliers. AFNOR/DGCC RF. 3^{ème} édition. Paris.360p.
- ❖ **ANCELLIN et al. (2004).** « Allergies alimentaires : connaissance, clinique et prévention ». afssa. Paris 65p.
- ❖ **BARC, 1995.** Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Gide pratique. ITCF. Paris. 253p.
- ❖ **BARIBEAU, H; LEMIEUX, S. 2005.** Quelques mots sur le blé. Blé-passeport santé net. htm.
- ❖ **BEAUGRAND, J. 2004.** Bases cytologiques et moléculaires de la dégradation enzymatique du son de blé tendre. Thèse de Doctorat. Univ de reims Champagne – Ardenne. Coll. INRA.
- ❖ **BEDARD, A; GALIBOIS, I. 2005.** l'orge : profil de santé .org.passeport-santé.net.html.
- ❖ **BELTON P.S. 1999.** On the elasticity of wheat gluten. In : le grain de blé : composition et utilisation FEILLET P. INRA. Paris. 308p.
- ❖ **BERK Z ,1993.** « Technologie de production de farine alimentaire et de protéique issus du soja », Bulletin des servies agricoles de la FAO, 97, Rome/Italie, 133 p.
- ❖ **BERKANI. S, 2007.** Evaluation de la valeur boulangère d'ingrédients et de formule sans gluten par l'alvéographe de Chopin. Diplôme d'ingénieur d'état. INATTA. Constantine. Algérie.
- ❖ **BERTRAM, A. 2005.** Elasticity and plasticity of large deformations. Springer. Germany 322p.
- ❖ **BONNARDEL.P, (1993).** Effet correcteurs en panification de la levure de boulangerie désactivée, Industries des céréales,82, 32-39.

- ❖ **BORGIES. B, 2001.** Enquête sur le rôle et la place du pain dans l'équilibre alimentaire des étudiants de la métropole lilloise.
- ❖ **BOUDREAU.A, MENARD.G, 1992-** le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. 4^{ème} trimestre. Québec et Ottawa. 413p. Bread and cereals, their contribution to the pleasure of eating.
- ❖ **BROOKER. BE, 1996.** The rôle of fat in the stabilisation of gas cells in bread dough. Cereal science. 24(3) : 187-198.
- ❖ **BULEON. A, COLONA. P, LELOUP.V, 1990.** Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. IAA Juin : 515-532.
- ❖ **BURE, J. 1979.** Le pain. Acte du colloque Du C.N.E.R.N.A. Edition C.N.R.S. Paris.243p.
- ❖ **CALVEL R, 1984.** La boulangerie moderne. 10^{ème} édition. Eyrolle. Paris. 436p.
- ❖ **CALVEL, R, 1980.** « La boulangerie moderne ». 9^{ème} édition.
- ❖ **CALVEL. R, 1984.** La boulangerie moderne. 10^{ème} édition. Eyrolle. Paris. 436 p.
- ❖ **CANADAS, D. 2006.** Evaluation du procédé OxygreenR pour son potentiel de décontamination en ochratoxine A du blé. Les effets toxiques liés à une exposition sub-chronique à lochratoxine A sont-ils atténués? Thèse de Dctorat. INPT.Toulouse.
- ❖ **CHAPLOT. D, 2004** apport nutritionnels conseillés pour la population française ; agence français de sécurité sanitaire des aliments 2^{ème} édition 450p : 250.
- ❖ **CHENE, 2001.** La farine. Journal de l'ADRIANOR. (26),pp. C.3-C.8.
- ❖ **DACOSTA Y, 1990.** « Lait de soja et toufu », Actualités scientifiques et technique en Industries Agro-alimentaire N°45, CDIUPA 1, avenue des Olympiades, Paris/France, 102 p.
- ❖ **DACOSTA. Y., 1986.** Le gluten de blé et ses applications. APRIA. ISBN2. Paris. 124p.

- ❖ **DEFLOOR, 1995.** Factors governing the bread making potential of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour. Ph.D. thesis University of K.U. Leuven, Leuven, Belgium, 155 p.
- ❖ **DELFRATE R. et STEPHANE C ,2005.**Mieux connaître la farine, spécial analyses. *SOTAL*, 12 p.
- ❖ **DUBOIS M., 1994.** Le contrôle qualité. In : la panification française. GUINET R., GODON B. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 506-522.
- ❖ **DUJARDIN, P. 2006.** Le pouvoir des céréales complètes. Medinet.be.Uwgesondheidsgids. Dujardinp@fsagx.ac.be
- ❖ **FAO, 2005.** « Statistiques de blé ».
- ❖ **FAO, 2006.** « Statistiques de blé ».
- ❖ **FAVIER, J.C. 1989:** valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leur transformation. PDF. Céréales en régions chaudes: AUPLLF-URFF Eds John libbey Paris. Pp (285.287).
- ❖ **FEILLET. 2000.** « Le grain de blé composition et utilisation ». INRA. Paris 308p.
- ❖ **FREDERIC MONTESSINOS et al. (2003).** « Les étapes de la panification », site : <http://www.Technoboulangier.com> consulté 30 avril 2012.
- ❖ **FREDERICMONTESSINOS, BERNARD CADIOT, ALAIN LAFAYE , JACQUE RICHARD , 2003.** Les étapes de la panification.
- ❖ **FREDOT, E. (2005).** « connaissance des aliments ». Pages : 157 à 199. Edition TEC et DOC. Lavoisier-Paris.
- ❖ **GEOFFROY, 1950.** « Détermination qualitative et quantitative des membranes internes des grains de blé. » INRA.
- ❖ **GNIS, 2008.** Cultivons la diversité des plantes cultivées. www.semencemag.com

- ❖ **GODON, 1985, GRANDVOINET et PRATX, 1994.** Farines et mixes. In : La panification française. Guinet R , Godon B. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 100-130.
- ❖ **GODON, B., ET WILLIAM, C.I (1991).** « les industries de première transformation des céréales ». page : 79 à 85.

- ❖ **GODON, B. ET C. WILLM , 1998.** les industries de première transformation des céréales. Tec et Doc. Lavoisier. Paris.679p.

- ❖ **GODON. B AND LOISEL, W. 1697.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Technologies et documentation. Paris p819.

- ❖ **GUINET ET GODON , 1994.** La panification française. Tec et Doc. Lavoisier.Paris.525p.

- ❖ **HADTIA, R. 2006.** Adaptation et spatialisation des modèles strics pour la gestion d'un périmètre céréalier irriguée en milieu semi aride. Thèse de doctorat. univ Cadi AYYAD Samlalia- Marrakech.

- ❖ **ITCF, 2001.** Institue technique des céréales et des fourrage.

- ❖ **J.F CRUZ ET AL, 1989** « Conservation des grains en région chaudes ». 2^{ème} édition. Page : 5 à 13.

- ❖ **J.O.R.A. 1991 (Journal Officiel de la République Algérienne) (1991).** Décret exécutif N° 91/ 572 du 31 décembre relatif à la farine de la panification et du pain.

- ❖ **JACOMAIN, 1982.** Du pain de froment, valeur boulangère.
- ❖ **JEANTET, R., CROGUENNEC, T., PSCHUCK, P and GERARD BRULE.2007** : Science des aliments:Biochimie Microbiologie, procédés produits Pp138-159.

- ❖ **JIMENEZ, L. 2000.** Cereal product with high antioxydant power. <http://www.freepatensonline.com/Ep1541026.html>.

- ❖ **KELLOU R, 2008.** « Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du

pole de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives sud céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop ». centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM), Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

- ❖ **KENT, N .L.M.A, Phd.1975.**Technology of cereals: with special reference to wheat.2ème Ed.Pergamon Press. 297p. La fondation Historica du Canada.

- ❖ **LAUNA B. (1991).** Techniques rhéologiques. In : technique d'analyse et de contrôle dans les IAA. Tome 2. Principe des techniques d'analyses. 2^{ème} édition. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 183-21.

- ❖ **LE GOFF L., 1997.** Connaitre ce que l'on mange. In : encyclopédie de l'alimentation biologique et de l'équilibre nutritionnel. ROGER JOLLIOS, Paris, 675p.

- ❖ **LEENHARDT, F.; Lyan, B.; Rock, E.; Boussard, A.; Potus, J.; Chanliaud, E.; Rémésy, C.** Genetic variability of carotenoid concentration and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. European Journal of Agronomy 2005, in press.

- ❖ **LOCKWOOD, J.F. (1950).** « la meunerie ». pages : 489-497
- ❖ **LORIENT.D, CHEFTEL J.C, CUQ J.L, 1985.** Protéines alimentaires : biochimie propriétés fonctionnelles, valeur nutritionnelle, modification chimiques. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 309p.

- ❖ **M. Moll et N. Moll, 2002** « sciences et techniques agroalimentaire » 2^{ème} édition. Page : 203.

- ❖ **MARTIN. A, 2000** apport nutritionnels conseillés pour la population française ; agence français de sécurité sanitaire des aliments 3^{ème} édition 300p : 155.

- ❖ **MC BEAN, D.S ; MCLEOD, J.G. 2007.** le seigle L'encyclopédie canadienne: enligne:

- ❖ **MICROSOFT ENCART ,2009.** Ouvrage documentaire électronique, 2,48 Gb.

- ❖ **NAMOUNE, H. 1996.** Panification de blé : mise au point d'un test de panification et aspect variétaux, génétiques, histologique et technologique. Thèse de doctorat d'état. I.N.R.A. Laboratoire de technologie des céréales de Montpellier. I.N.A.T.A.A. Université de Constantine Algérie.

- ❖ **NARAYANA, K.R., REDDY, M.S., CHALUVADI, M.R et KRISHANA, D. R. 2001 .** Bioflavonoids classification, pharmacological, Biochemical effects and Therapeutic Potential.*I ndian Journal of Pharmacology.*33, 2-16.

- ❖ **NIQUE, G., ET LASSERAN, J.C., 1989.** « Guides pratiques, stockage et conservation des grains à la ferme ».

- ❖ **NURET, 2000,** le grain de blé ; composition histologique et chimique du grain p 23.

- ❖ **PADILLA ET OBERTI, 2000.** Cité par Rym Kellou (2008).
- ❖ **POPINEAU.Y, 1992,** Transformation enzymatique des protéines de blé, publié dans la biotransformation des produits céréaliers, Lavoisier, chap.2p 34-38.

- ❖ **PRATS, J; GRANDCOUNT, M. C. 1971.** Les céréales 2ème éd. Coll d'enseignement Agricole.288 P.

- ❖ **PYLER E.J, 1988.** The dough mixing process. Baking science and technology. Vol 2. 589-624.

- ❖ **RAMARSON, 2002.** « Etude de faisabilité techico-économique du Soyourt ou lait de soja fermenté », Mémoire d'ingénieur en Agronomie option IAA, ESSA Ankatso/Antananarivo/Madagascar, 68 p.
- ❖ **ROUSSEL ,2003.** Les pains français : évolution, qualité, production. MAE-ERIT.293p.
- ❖ **ROUSSEL, CHIRON, DELLA VALLE & NDIAYE, 2010.** « Recueil de connaissances sur les descripteurs de qualité des pâtes et des pains ou variables d'état pour la panification française ». INRA.
- ❖ **ROUSSEL.P, 1991,** Amélioration de la qualité des farines, publiées dans Les industries de premières transformations des produits céréaliers, Lavoisier, chap.2 p 36, chap.4 p 97.
- ❖ **RUEL. (2006).** Cité par Debabsa Rafika et al. En 2008.
- ❖ **SARNI-MANCHADO, P ; CHEYNIER, V.2006.** les polyphenols en agroalimentaire, Tec et Doc Lavoisier-Paris.
- ❖ **SCHMITZ J. (2007).** Le régime sans gluten chez l'enfant. Journal de pédiatrie et de périculture, 20 : 337-344.
- ❖ **SEGUCHI. M, ISHIHARA C. YOSHINO.Y, NAKATSUKA K., YOSHIHIRA. T SOUCI S.W, FACHMANN W, KRAUT. H, 1994.** La composition des aliments : tableau des valeurs nutritives. Medpharm Scientific publishers. 5^{ème} édition. Stuttgart. Germany. 1091p. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 226-276.
- ❖ **SEYER, 2005.**Collection Mémoires et thèses électroniques. Université LAVAL.
- ❖ **SLAVINI, J. 2003.**Why whole grains are protective: biological mechanisms. Proceedings of the Nutrition Society, 62, 129-134. IN: Historique de fibres alimentaires. Marie-eve.

- ❖ **SOLTNER, D.2005.** les grandes productions végétales.20ème.Ed.CCTA .Pp20-140 STEPHAN C. (2004). « Devenir boulanger ».
- ❖ **THRAULT J.F ET LAUNAY B, 1990.** Compactage sous pression de farine de blé et de formules type « pain-plat ».
- ❖ **WANG, J ; MAZZA, G. 2002.** Effect of Anthcyanins and other phenolic compounds on the production of Tumor Necrosis Factors α in LPS/IFN- γ -Activated RAW.264.7.Macrophages.*J.Agric.Food.Chem.*50.4183-4189, 2002.
- ❖ **WRIDNER, S., KRUPA, U., AMARWICZ, R and KARAMAC. 2002.** Phenolic compounds inembryons of triticales caryopses at different stages of development and maturation in normal environment and after dehydration treatment: *Euphytica*, Volume 126, Number 1, 2002, Pp115-122(8)115-122(8).
- ❖ **YVES et de BUYER, 2000.** Cité par Debabsa Rafika et al. En 2008.
- ❖ **ZOHARAY, D. 1973.** The Origine of cultivates cereals and pulses in the near east chromosomes today, 4 307-320. In: Amélioration des espèces végétales cultivées. Gallais, A ; Bamenerot, H 1992.Pp39-54.

Liste des sites consultés

- ❖ Anonyme₁ (2016) : www.planéscope.com. Annales des départements américain de l'agriculture (usda), « Production mondiale record pour le blé ».
- ❖ Anonyme₂ (2016) : <http://www.jeune-indipendant.net> , « Production algérienne des céréales », dernière mise a jour, le 08 Avril 2016.
- ❖ Anonyme₃ (2016) : <http://fr.wikipedia.org>
- ❖ Anonyme : INRA. Janvier 2008. [05.02.2008]. available from Internet : < URL:http://: www.inra.fr>.
- ❖ Anonyme₇,2016 : <http://www>. Duretz sur le net consulté le 25 mai 2016



80 % FB +20 %FO



70 % FB + 30 % FO



50 % FB + 50 % FO



97 % FB + 3 % FS



94 % FB + 6 % FS



90 % FB + 10 % FS



80 % FB + 20 % FSg



80 % FB + 20 % FO + farine de lin



80 % FB +20 % FO + l'acide ascorbique



80 % FB +20 % FS + l'acide ascorbique

80 % FB+ 20 % FS + la farine de lin



**50 % FB+ 50 % FSg + la
farine de lin**



**50 % FB+ 50 % FSg+
l'acide ascorbique**



**54 % FB+ 46 % FM + la
farine de lin**



**54 % FB +46 % FM
+l'acide ascorbique**

Introduction

Partie théorique

Partie

Expérimentale

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes