

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوقرة بومرداس
Université M'hamed Bougara Bumerdes



Faculté des Sciences

Département de Biologie

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Science alimentaire

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de Master en Nutrition et Science des Aliments

Impact de l'incorporation de la farine de pain rassis sur les propriétés technologiques de la farine et essai de panification

Présenté par :

- AKCHICHE SARAH
- DJADI MARIA

Devant le jury :

Dr. YOUYOU

S. Présidente

UMBB

Dr. CHENAH

M. Examinatrice

UMMTO

Dr. KENNAS

A. Promoteur

UMBB

Année universitaire 2022/2023

Avant propos

Ce travail a été effectué en partie au niveau de l'Unité AGRODIV SPA de CORSO.

Ce travail a donné lieu à une communication affichée dans le 1er Congrès national (SAAD 2023) sur : « Les systèmes alimentaires en Algérie : Quels enjeux pour la durabilité ? » qui s'est tenu le 20 juin 2023 au niveau de l'Université M'hamed Bougara de Boumerdes. La communication est intitulée : **'' Effect of stale bread flour incorporation on sensory acceptance of bread: a sustainable solution''**.

Remerciement

D'abord, nous remercions le bon DIEU qui nous adonné tout ce que nous avons dont la santé, la volonté et la patience pour mener à bien nos cursus d'étude « DIEU MERCI ».

Nous remercions infiniment nos parents de nous avoir aidés financièrement et moralement pour que nous puissions continuer nos études et de réussir.

Nos remerciements les plus cordiaux a notre promoteur **Dr. KENNES Abderrezak** d'avoir accepté de nous encadrer et également témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury

Dr. YOUYOU S.UMBB Présidente

Dr. CHENAH M.UMMTO Examineur

Nous adressons nos sincères remerciements aux enseignants de la spécialité Nutrition et sciences des aliments pour leur aide lorsque nous avons eu besoin.

Nous adressons nos profonds remerciements pour tous les membres de laboratoire **CIC Corso AGRODIV**, Mme **AZIZI Amel**, Mme **IGLOULI Linda** et Mme **MEHANNI Samia** et un merci particulier pour nos amis.

Enfin, tous ce qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce modeste travail trouvent ici l'expression de nos parfaite reconnaissance.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A ma chère mère

A mon cher père

A mes chers frères et ma chère sœur Ryma

A mes chères amies Djadi Maria, Belaid Nesrine et Touabi Sélina

A ma famille Akchiche et Sekhi

A ma Tante Karima et sa famille Nedjari

A tous ceux qui m'aiment

A vous cher lecteur

« A force de tentatives, on finit toujours par réussir »

Hérodote

Sarah

Dédicace

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

- ✓ *A mes très chères parents **Mohamed** et **Fouzía** qui ont sacrifié leur noble existence pour bâtir la mienne et ont contribué à ma réussite, et ceux qui méritent toute mon affection, mon respect et ma reconnaissance " Que dieu les protèges*
- ✓ *A ma source de tendresse et d'encouragement mes sœurs : **Faten**, **Maroua** et ses enfants **Adem** et **Wassim**.*
 - ✓ *A mes très chères frères: **Slimene**, **Tarek**, et **Chaker**.*
 - ✓ *A les plus chères personnes mes cousines **Malak**, **wissam**. Qui m'ont encouragé et soutenue tout au long de mon parcours.*
 - ✓ *Et à tous les membres de ma famille et toutes les personnes qui porte le nom **Djadi** et **Kellakh**.*
 - ✓ *A ma binôme: **Sarah**, et à toute sa famille.*
 - ✓ *A toutes mes amies: **Mira**, **Chahra**, **Bouchra**, **Basma**.*
 - ✓ *A toute la promotion de Science alimentaire 2022-2023.*
 - ✓ *A tous ceux que j'aime et je respect.*

« Le plus difficile est de décider d'agir, le reste n'est que persévérance »

Amelia Earhart.

María

TABLE DES MATIÈRES

Liste des abréviations.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	III

Introduction	1
--------------------	---

Revue de littérature

Chapitre I : Généralités sur le blé et la farine

I.1. Généralités sur le blé.....	3
I.1.1. Caractéristiques botaniques	3
I.1.2. Caractéristiques morphologiques et composition biochimique du blé	3
I.1.3. Production nationale et mondiale de blé.....	4
I.1.4. Utilisation du blé.....	5
I.1.5. Différence entre le blé dur et le blé tendre.....	6
I.1.6. Caractéristiques du blé tendre	7
I.1.7. Notion de valeur meunière du blé tendre	7
I.2. Généralités sur la farine	7
I. 2.1. Définition de la farine	7
I.2.2. Composition chimique de la farine de blé tendre	7
I.2.3. Technologie de fabrication de la farine de blé tendre.....	8
I.2.3.1. Transport et réception	8
I.2.3.2. Nettoyage	8
I.2.3.3. Préparation du blé (conditionnement).....	9
I.2.3.4. Mouture de blé	9
I.2.4. Principales opérations effectuées dans un moulin	10
I.2.5. Caractéristiques physico-chimiques et les Différents types de la farine.....	11
I.2.6. Notion de valeur boulangère	12
I.2.7. Notion de valeur technologique	13
I.2.8. Facteurs de qualité – critères généraux	13
I.2.9. Contaminant.....	13
I.2.10. Conditionnement.....	13

Chapitre II : pain et panification

II.1. Définition du pain.....	14
II.2. Valeur nutritionnelle du pain	14
II.3. Consommation du pain et sécurité alimentaire.....	15
II.4. Le gaspillage du pain en Algérie	15
II.5. Généralités su panification	15
II.5.1. Principe de la panification	16
II.5.2. Matières premières.....	16
II.5.2.1. Farine de blé tendre	16
II.5.2.2. Eau	16

II.5.2.3. Chlorure de sodium (Na Cl)	17
II.5.2.4. Agents de fermentation.....	17
II.5.2.4.1. Levure de boulangerie	17
II.5.2.4.2. Levain	18
II.5.2.4.3. Améliorants.....	18
II.6. Les étapes de panification.....	18
II.6.1. Pétrissage	19
II.6.2. Le pointage	19
II.6.3. La mise en forme	19
II.6.4. L'apprêt.....	20
II.6.5. La cuisson	20
II.6.6. Le ressuyage	21
II.6.7. Rassisement de pain	21

Chapitre III : Impact de la rétrogradation de l'amidon sur le pain

III.1. Définition de l'amidon	22
III.2. Production mondiale de l'amidon	22
III.3. Utilisation de l'amidon	22
III.4. Amidon de blé	23
III.5. Transformation de l'amidon	25
III.7. Rôle et influence de plastifiant	26
III.8. Phénomène de sorption.....	26
III.9. Processus de gélatinisation	26
III.10. Rétrogradation (refroidissement de l'empois Après cuisson)	27
III.11. Rôle de l'amidon dans la panification	29

Partie expérimentale

Chapitre I : matériel et méthodes

I.1. Présentation de l'organisme d'accueil	30
I.2. Préparation de poudre du pain rassis	30
I.2.1. Récupération du pain rassis.....	30
I.2.2. Séchage du pain rassis	30
I.2.3. Broyage	31
I.2.4. Tamisage	31
I.2.5. Formulation de la farine contenant la poudre du pain rassis.....	31
I.3. Caractérisation physicochimiques des farines	31
I.3.1. Détermination de l'humidité	31
I.3.2. Détermination du Taux de cendre.....	32
I.3.3. Détermination du taux d'affleurement (Granulométrie).....	33
I.3.4. Détermination du taux de gluten.....	34

I.4. Ingrédients et procédé de panification	34
I.4.1. Ingrédients.....	34
I.4.2. Panification	35
I.5. Test sensoriel	36
I.6. Analyse statistique	37

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Taux d'humidité	38
II.2. Taux de cendre.....	39
II.3. Taux de gluten	40
II.4. Taux d'affleurement	40
II.5. Propriétés sensorielles	41

Conclusion.....	44
------------------------	-----------

Références bibliographiques	45
--	-----------

Annexes

Liste des abréviations

Institution et organismes

FAO : Food and Agriculture Organisation.

AND : Agence Nationale des Déchets.

ISO : Organisation Internationale de Normalisation.

USDA : Département de l'Agriculture des États-Unis.

JORA : Journal officiel de république Algérien

Produits

PPR : Poudre du pain rassis.

FBT : Farine du blé Tendre.

FND : Farine des noyaux des dattes.

Autres

USD : Le code de monnaie international

TCAC : Taux de croissance annuel composé.

A_w : Activité de l'eau.

Liste des figures

Figure 01 : Structure d'un grain de blé.....	3
Figure 02 : Différence entre le blé tendre et le blé dur.....	6
Figure 03 : Diagramme de fabrication semoule et farine.....	11
Figure 04 : Etapes de la fabrication du pain.....	19
Figure 05 : Impact bio-physicochimique de la cuisson sur les pâtons.....	20
Figure 06 : Structure de l'amylose et l'amylopectine.....	23
Figure 07 : Structure de l'amylose Dans un grain de blé.....	24
Figure 08 : Structure de l'amylopectine du grain de blé.....	24
Figure 09 : Schématique d'un grain d'amidon	25
Figure 10 : Schéma du mécanisme de plastification à l'échelle moléculaire.....	26
Figure 11 : Formation des doubles hélices et des « cristaux ».....	27
Figure 12 : Comportement d'un amidon lors de la cuisson et du refroidissement.....	28
Figure 13 : Tamiseur électrique.....	31
Figure 14 : Etapes de panification.....	36
Figure 15 : Le pain produit à partir du mélange des deux farines.....	36
Figure 16 : Fiche de dégustation.....	37
Figure 17 : Taux d'humidité déterminé en farine de blé tendre et en farine de pain rassis.....	38
Figure 18 : Taux de cendre déterminé en farine de blé tendre et en farine de pain rassis.....	39

Liste des tableaux

Tableau I : Compositions chimiques moyennes des différentes parties du grain et des farines de blé tendre en g pour 100g de matières sèche.....	4
Tableau II : Production de quelques céréales au niveau mondial en 2022\2023 (en millions tonnes métrique).....	5
Tableau III : Production mondiale de blé par pays.....	5
Tableau IV : Différence entre un blé tendre et un blé dur.....	6
Tableau V : Composition chimique de la farine de blé.....	7
Tableau VI: Type de farine de blé.....	12
Tableau VII: Les différents domaines d'application de l'amidon.....	23
Tableau VIII : Taux de gluten des deux farines.....	40
Tableau IX : Taux de gluten de la formule (95% farine commerciale et 5% de la poudre du pain rassis).....	40
Tableau X : Taux d'affleurement de la poudre du pain rassis.....	40
Tableau XI: Taux d'affleurement de la poudre du pain rassis.....	41
Tableau XII: Taux d'affleurement 95%PPR et 5% PDF.....	41
Tableau XIII: Scores des différents pains après l'analyse.....	42

Introduction

Le pain est l'aliment de base traditionnelle dans de nombreuses cultures et régions. Différentes sortes de pains existent à travers le monde. Chaque pain traduit le génie du peuple qui l'a façonné en l'adaptant aux habitudes alimentaires, à la culture et aux conditions géographiques du pays (**Curcean, 2019**).

Mais qu'est-ce que le pain ?! D'abord il n'y a pas de pain sans céréales ; ensuite il n'y a pas de pain bien levé sans céréales contenant suffisamment de gluten pour permettre une bonne tenue, une bonne élasticité de la pâte de farine et d'eau, pétrie, fermentée et cuite, qui constitue le pain au sens strict. De ce fait, le choix du blé tendre et, particulièrement, le choix de la farine représente l'étape clé de la préparation du pain.

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Le blé représente une part importante de la consommation alimentaire locale, cette forte demande est satisfaite par la production nationale et par les importations. D'après les statistiques de la FAO, les Algériens achètent et consomment une moyenne quotidienne nationale de plus de 40 millions de baguettes boulangères. Selon **Mehmet et Colin (2013)**, le gaspillage des produits de boulangerie se situe entre 7 et 10 % de sa production totale, compte tenu de la production annuelle mondiale estimée de pain qui est d'environ 100 millions de tonnes ; la quantité de déchets générés peut atteindre même 10 millions de tonnes par an dans le monde. Il résulte donc qu'environ 4 millions de baguettes sont quotidiennement gaspillées en Algérie. Ce problème est la résultante de la politique de subvention, de l'absence de civisme chez certains consommateurs et boulangers mais aussi du rassissement rapide du pain et par conséquent de la perte de sa qualité organoleptique.

Le pain est un aliment connu de tous et consommé par presque tous. Cependant, au cours du temps, le pain devient rassis. La croûte est moins croustillante, la mie perd du moelleux, le pain s'émiette. Ce rassissement de la mie est provoqué par la recristallisation partielle de l'amidon (**Roussel et al., 2002**). Le pain perd ses qualités sensorielles et organoleptiques, et devient un produit facilement jeté et non consommé. Ce problème technologique est parmi les causes majeures du gaspillage alimentaire ménager.

Ce constat nous oblige, en tant que futurs cadres de l'agroalimentaire, à penser à trouver des solutions efficaces, rentables et durables notamment par la valorisation du pain rassis. Ainsi, Le principal objectif de notre travail est d'estimer la faisabilité de la substitution de la farine de blé destiné à la panification par de la farine du pain rassis. En outre, Il s'agit d'une étude de l'impact de cette addition sur les propriétés sensorielles. Ce manuscrit est composé de deux parties et est organisé comme décrit ci-dessous.

La partie bibliographique présente un état de l'art des connaissances nécessaires à la compréhension et l'interprétation des résultats. Il couvre une présentation générale de la composition, la production et l'intérêt socio-économique et nutritionnel du blé tendre, de la farine et bien entendu du pain. Par ailleurs, la revue de littérature parle de la rétrogradation de l'amidon et son effet sur le rassissement du pain.

La deuxième partie qui est la partie expérimentale, englobant le chapitre matériel et méthode et le chapitre résultat et discussion, présente en premier lieu, la méthodologie suivie pour l'obtention de la farine du pain rassis, la préparation du pain et l'analyse hédonique du pain préparé, et en deuxième lieu la discussion et l'analyse des résultats.

Enfin, pour compléter le présent travail, une discussion générale sur l'ensemble des résultats est présentée ; les principales conclusions et perspectives pour les études à venir sont proposées.

Revu de littérature

Chapitre I :
Généralités sur le
blé et la farine

I.1. Généralités sur le blé

I.1.1. Caractéristiques botaniques

On entend par céréales des aliments « bruts » de base tels que : blé, riz, seigle, orge, maïs, millet, avoine, qui sont des graminées. Le blé fait partie des trois grandes céréales avec le maïs et le riz. C'est la troisième espèce par importance de la récolte mondiale, et la plus consommée par l'homme (**Jean louis, 2014**).

Le blé est une plante herbacée monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des graminées. Les deux espèces dominantes sont le blé tendre et le blé dur. Ce fruit sec est constitué d'une graine unique intimement soudée à l'enveloppe du fruit qui la contient. Sur l'épi, le grain est entouré d'enveloppes qui n'adhèrent pas à la graine et qui sont éliminées au moment du battage (**Surget et Barron, 2005**).

Le blé tendre est cultivé pour faire la farine panifiable utilisée pour le pain. Ses grains se séparent de leurs enveloppes au battage. Communément dénommée blé tendre ou tout simplement blé, cette espèce a connu une très grande dispersion géographique et est devenue la céréale la plus cultivée. La sélection moderne, initiée à la fin du XIXe siècle par Henry de Vilmorin, s'est concentrée sur trois axes : la résistante aux aléas climatiques, la richesse en protéines, notamment le gluten pour la panification et bien entendu le rendement (**Armand et Germain, 1992**).

I.1.2. Caractéristiques morphologiques et composition biochimique du blé

Comme l'illustre la figure 01, un grain de blé se compose de 3 parties :

- L'enveloppe « couche périphérique » : environ 14 à 16% du poids du grain ;
- L'amande farineuse « albumen » : environ 81 à 88% du poids total du grain ;
- Le germe ou l'embryon : représente environ 2% à 3% du poids de grain, il constitue la future plante (**Surget et Barron, 2005**).

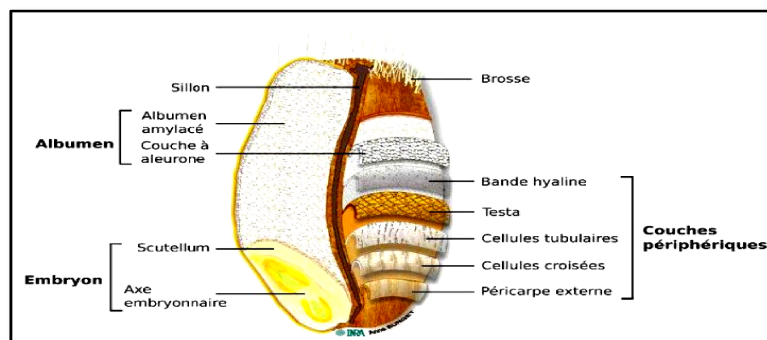


Figure 01 : Structure d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).

Les grains des céréales ont en commun une teneur significative en protéines (10 à 12 % du poids sec), une forte teneur en glucides, amidon essentiellement dont la teneur est

d'environ 70 %, une teneur faible, mais variable, en lipides. Brutes, non raffinées, les céréales sont des sources importantes de fibres (8%). Ces fibres sont multiples : lignine (à l'origine des lignanes), cellulose, hémicelluloses. Le blé est une source également intéressante de minéraux, notamment de magnésium et dans une moindre mesure de fer, calcium et de vitamines B (sauf B12) et E (Tableau I) (**Jean Louis, 2014**).

Tableau I : Compositions chimiques moyennes des différentes parties du grain et des farines de blé tendre en g pour 100g de matières sèche (**Pilon et Méjean, 1988**).

	Matières minérales	Matières azotée totales	Matières grasses	Glucides totaux	Matières cellulosique
Grain entier	1,7-2,0	10-13	1,45-2,5	70-75	2-3
Enveloppes	8-10(80%)	18-22	3-5	65-68	15-20
Germe	5-6(3%)	25-30	15-19	35-45	0,1-0,2
Amande	0,4-0,6(17%)	9-11	0,5-1	80-85	0,5-0,6
Farine	0,5-0,6	9-11	0,4-0,7	75-80	0,2-0,3

Actuellement, l'intérêt pour les fibres a conduit les industries de l'agroalimentaire à la valorisation de nouveaux coproduits dont le son de blé est le plus connu.

Les minéraux sont présents à une proportion d'environ 2 à 3 % de matière sèche du grain (**Nicket et Lassernan, 1989**). Les céréales ont une teneur élevée en potassium (340mg/100g), en phosphore (400mg/100g), en magnésium et une faible teneur en fer, zinc, calcium (45mg/100g) et en sodium (8mg/100g) (**Fredot, 2005**). Ils sont souvent associés ou présents sous forme de sels tels que les phosphates, chlorures ou sulfates.

Les pigments et les vitamines sont concentrés dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles (**Feuillet, 2000**).

I.1.3. Production nationale et mondiale de blé

Les céréales, plus particulièrement le blé (*Genre Triticum*) et ses produits, sont très important en nutrition humaine. Le blé est un composant majeur du régime alimentaire mondial, en particulier pour les populations urbaines. Selon le site spécialisée Statista (**Anonyme1, 2023**), chaque année, environ 750 à 800 millions de tonnes de blé sont produites dans le monde (tableau II).

Tableau II : production de quelques céréales au niveau mondial en 2022\2023 (en millions tonnes métrique) (Statista, 2023).

Production en millions de tonnes métriques	
Soja	390,4
Riz	519,5
Blé	770,8
Mais	1187,8

La République populaire de Chine est le plus grand producteur de blé au monde avec 131 447 224 tonnes de production par an. L'Inde arrive deuxième avec une production annuelle de 99 700 000 tonnes. Avec 72 136 149 tonnes de production par an, La Fédération de Russie est le troisième producteur de blé (Tableau III) (Atlasbig, 2023).

Tableau III : Production mondiale de blé par pays (Atlasbig, 2023).

Pays	Production (Tonnes)	Production par personnes (Kg)
République populaire de Chine	131 447 224	94,304
Inde	99 700 000	74,599
Fédération de Russie	72 136 149	491,133
États-Unis d'Amérique	51 286 540	156,474
France	35 798 234	531,944

En Algérie, la récolte de blé est prévue pour s'établir à 3,3 millions de tonnes en 2022/2023. C'est ce qu'indique le Département américain de l'agriculture (USDA) dans son dernier rapport sur les céréales en ce qui concerne les pays d'Afrique du Nord (Agenceecofin, 2023).

I.1.4. Utilisation alimentaire du blé

L'utilisation alimentaire la plus importante de blé est la production de farine pour faire du pain, des biscuits de la semoule et des produits de pâtisserie (blé tendre). De petites quantités de blé sont transformées en céréales de petit déjeuner, en aliments tels que le boulgour et en semoule pour l'industrie des pâtes alimentaires (blé dur) (Finney et al., 1987). Le blé en grains entiers est peu utilisé en alimentation humaine mais, il existe des formes d'utilisation telle que le pil-pil, le blé soufflé, le blé germé (Roudaut et Lefrancq, 2005).

I.1.5. Différence entre le blé dur et le blé tendre

Le blé tendre et le blé dur se différencient au niveau de la couleur, de la forme et du sillon (figure 02). En effet, le blé tendre est de couleur blanchâtre, de forme ovale et de sillon moins profond, tandis que le blé dur est de couleur vitreuse, de forme large et de sillon profond (Feuillet P, 2000).

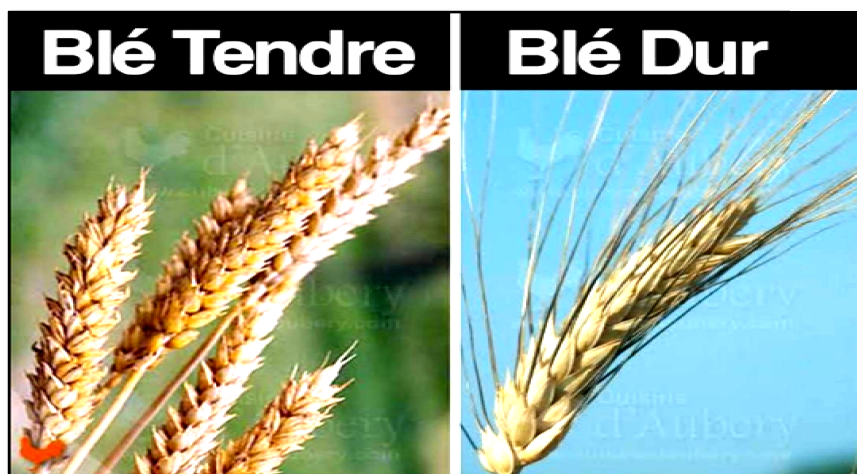


Figure 02 : Différence entre le blé tendre et le blé dur (Cuisinedaubery, 2023).

Les différences qui existent entre un blé tendre et un blé dur sont résumées dans le tableau suivant (Tableau IV) :

Tableau IV : différence entre un blé tendre et un blé dur (Feuillet P, 2000).

Caractère	Blé tendre	Blé dur
Aspect génétique	3 génomes A, B, et D $2n = 42 = 3. (2.7)$	2 génomes A et B
Prédominance	De l'amidon	Des protéines
Aspect de la plante	Feuilles très étroites, maturation très rapide.	Feuille large, maturation très longue, moisson tardive, exigeante du point de vue sol et climat.
Forme	Texture opaque, structure de l'amande farineuse	Texture vitreuse
Autres	Grain petit, germe arrondi, face dorsale aplatie, présence de brosse	Grain long, germe allongé, face dorsale pointue, absence de brosse.

I.1.5. Caractéristiques du blé tendre

Selon la composition biochimique et les aptitudes technologiques, on peut classer le blé tendre en trois classes:

- ✓ **Le blé tendre panifiable supérieur:** qui est un peu riche en protéines et en gluten (10 à 12%), et qui est utilisé principalement pour la fabrication traditionnelle et industrielle du pain, viennoiseries, pizza et nouilles asiatiques.
- ✓ **Le blé tendre panifiable:** caractérisé par une teneur en protéines supérieur à 12,4%, et au moins de 80% du gluten, c'est une céréale bien adaptée pour la fabrication du pain classique.
- ✓ **Le blé tendre biscuitier :** qui contient encore moins de protéines (8 à 11%) et très peu de gluten (Feuillet, 2000).

I.1.6. Notion de valeur meunière du blé tendre

La valeur meunière d'un blé caractérise le rendement de sa transformation en farine de pureté déterminée. Elle dépend des caractéristiques commerciales du lot (teneur en eau, quantité et nature des impuretés, taux de grains cassés) (Feuillet, 2000).

I.2. Généralités sur la farine

I.2.1. Définition de la farine

La dénomination farine désigne la farine de blé tendre *Triticum aestivum*, la farine de panification est le produit de mouture de graines des céréales aptes à la panification et préalablement nettoyée (Journal Officiel N°36, 1991).

I.2.2. Composition chimique de la farine de blé tendre

Il est important pour le meunier de pouvoir établir la carte d'identité de chacune de ses fabrications. Cela lui permet de classer ses farines et de répondre précisément aux besoins du boulanger (Tableau V). Chaque composant joue un rôle essentiel au moment de la fabrication du pain. (Atwell, 2001).

Tableau V : Composition chimique de la farine de blé (Atwell, 2001)

Constituants	Teneur en pourcentage (%)
Amidon	62 à 68
Protéine	7 à 15
Eau	16 (maximum)
Sucres	1 à 2
Matières grasses	1,2 à 1,4
Matières minérales	0,4 à 0,6

D'après **Feuillet (2000)**, la composition moyenne d'une farine est :

- ✓ **Amidon** : Représente 65 à 70 % du poids total de la farine, c'est une forme de réserve des glucides chez les Plantes. Il contient dans sa structure deux polymères : l'amylose et l'amylopectine. Ces molécules absorbent l'eau, et sous l'effet de la chaleur, elles forment un gel essentiel à la transformation de la Farine.
- ✓ **Matières minérales** : Représentant 0,45 à 0,60%, les teneurs en matières minérales sont peu importantes. La pureté de La farine se juge d'après sa teneur en résidu minéral. Les Matières minérales de la farine apparaissent. Après calcination, les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Comme les matières minérales Existent en plus grande quantité dans les enveloppes du blé, on conclut que moins il y a de cendres, plus que la farine est pure.
- ✓ **Protéines** : Elles se retrouvent dans l'endosperme (73 %), le son (19 %) et le germe (8 %). Elles représentent, en général 11 à 13,5 %. et les globulines (15 à 20 % des protéines totales); dont les gliadines (45 à 50 %) et les gluténines (55 à 60 %) qui forment le gluten. Elles sont classées selon leurs solubilités en : protéines hydrosolubles, et insolubles.
- ✓ **Lipides** : Les lipides de la farine de blé tendre sont constitués de 23 classes de lipides saponifiables séparés en 3 groupes (lipides neutres, glycolipides et phospholipides) dont les proportions varient selon leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de l'amidon.
- ✓ **Vitamines** : Le blé contient une quantité appréciable de vitamines que l'on retrouve surtout dans le son et le germe. On retrouve les vitamines du groupe B avec une teneur d'environ 4.6 mg /kg de grain et la Riboflavine avec 1.3 mg/kg. La mouture détruit une partie d'entre eux. Les vitamines C et D sont absentes du grain ; par contre, le blé est riche en vitamine E qui peut agir comme agent antioxydant.

I.2.3. Technologie de fabrication de la farine de blé tendre

La première transformation des céréales a pour but d'isoler l'albumen amylicé sans contamination par les parties périphériques du grain (enveloppe, couche aleurone). Pour que le blé soit transformé en farine, il doit passer par plusieurs étapes technologiques à savoir :

I.2.3.1. Transport et réception

La réception du blé comprend le déchargement des blés arrivant par bateau, par wagons ou par camion, jusqu'à un silo de stockage après le pesage de la quantité reçue. Les cellules de stockage sont équipées d'un système de ventilation qui permet de renouveler l'air

ambiant et éliminer la chaleur et l'humidité libérée par les grains. Le temps de stockage ne dépasse pas les 4-5 jours (**Feuillet, 2000**).

I.2.3.2. Nettoyage

Les grains de blé doivent être débarrassés de toutes leurs impuretés avant d'être envoyés sur le premier broyeur : les graines étrangères, graines d'autres céréales, pailles, pierres, pièces métalliques. Il est également souhaitable d'éliminer les blés mal venus dont la présence pourrait nuire à la qualité des farines. L'ensemble de ces opérations doit éviter de blesser ou de casser les grains (**Feuillet, 2000**).

I.2.3.3. Préparation du blé (conditionnement)

Après le nettoyage, le blé doit être conditionné de Manière à faciliter la séparation du son et de l'amande et le broyage de celle-ci (**Feuillet, 2000**). D'après **Doumandji et al. (2003)**, la préparation du blé passe par le mouillage, conditionnement et du brossage.

- ✓ **Mouillage** : doit porter le blé à une humidité de 16 ou Même à 17 % après la préparation, cette action est réalisée par l'addition d'eau au blé.
- ✓ **Conditionnement ou temps de repos** : Ce traitement 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. A la sortie du conditionneur, le blé doit subir un repos pendant de 4 à 8 h.
- ✓ **Brossage** : Cette étape vient immédiatement après le conditionnement. La brosse qui se trouve fonctionne à la cadence du moulin et parfait le nettoyage des grains juste avant le broyage.
- ✓ **Pesage** : Le pesage du blé se fait par une bascule automatique. Cette opération donne le poids du blé propre avant sa mise en mouture.

I.2.3.4. Mouture de blé

La mouture, opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules, repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires : une opération de fragmentation-dissociation des grains permet de dissocier l'amande et les enveloppes, de fractionner les semoules vêtues et de réduire l'amande en farine et une opération de séparation des constituants assure la séparation des sons et des enveloppes sur la base de leur granulométrie et leur propriété aérodynamique. Chaque opération de broyage est suivie d'une opération de

séparation par tamisage, qui permet de classer les produits avant de les envoyer sur l'appareil à cylindres suivant **(Feuillet, 2000)**.

I.2.4. Principales opérations effectuées dans un moulin

- ✓ **Broyage** : C'est la dissociation progressive de l'albumen et des parties périphériques (enveloppes et couche à aleurone) des grains par écrasement et cisaillement des produits entre des cylindres cannelés **(Boudroux, 1897; Ladraa, 2012)**.
- ✓ **Claquage et Convertissage** : C'est la réduction de la taille des grosses semoules par écrasement Entre des cylindres lisses **(Feuillet, 2000)**. La farine de broyage passe sur des rouleaux lisses qui l'écrasent de plus en plus finement et la séparent du germe, la farine de convertissage est très fine et blanche **(Roudaut et Lefrancq, 2005)**.
- ✓ **Blutage** : Elle permet le classement des produits en différentes tailles. Le passage des éléments à travers le tamis constitue l'extraction. Ce qui reste sur le tamis c'est le refus **(Doumandji et al., 2003)**. La séparation des produits de mouture (semoules, farines, sons) se fait sur la base de leurs dimensions (granulométrie) **(Ladraa, 2012)**.
- ✓ **Sassage** : C'est une opération intermédiaire entre le broyage et le claquage. Son but est de purifier Et de classer les produits allant vers le claquage. C'est une opération qui permet l'épuration des semoules par tamisage densimétrique (séparation selon leur densité) et volumétrique (séparation Selon leur taille) **(Boudroux, 1897 et ; Feuillet, 2000)**.
- ✓ **Mélange et ensachage de farine**
Les farine provenant du broyage, du convertissage et du curage sont collectés par une vis générale et sont conduite dans des boisseaux appelés chambre à farine, ces chambres complétés par des mélangeuses permettant d'obtenir une farine entière très homogène **(Clavel, 1980)**.

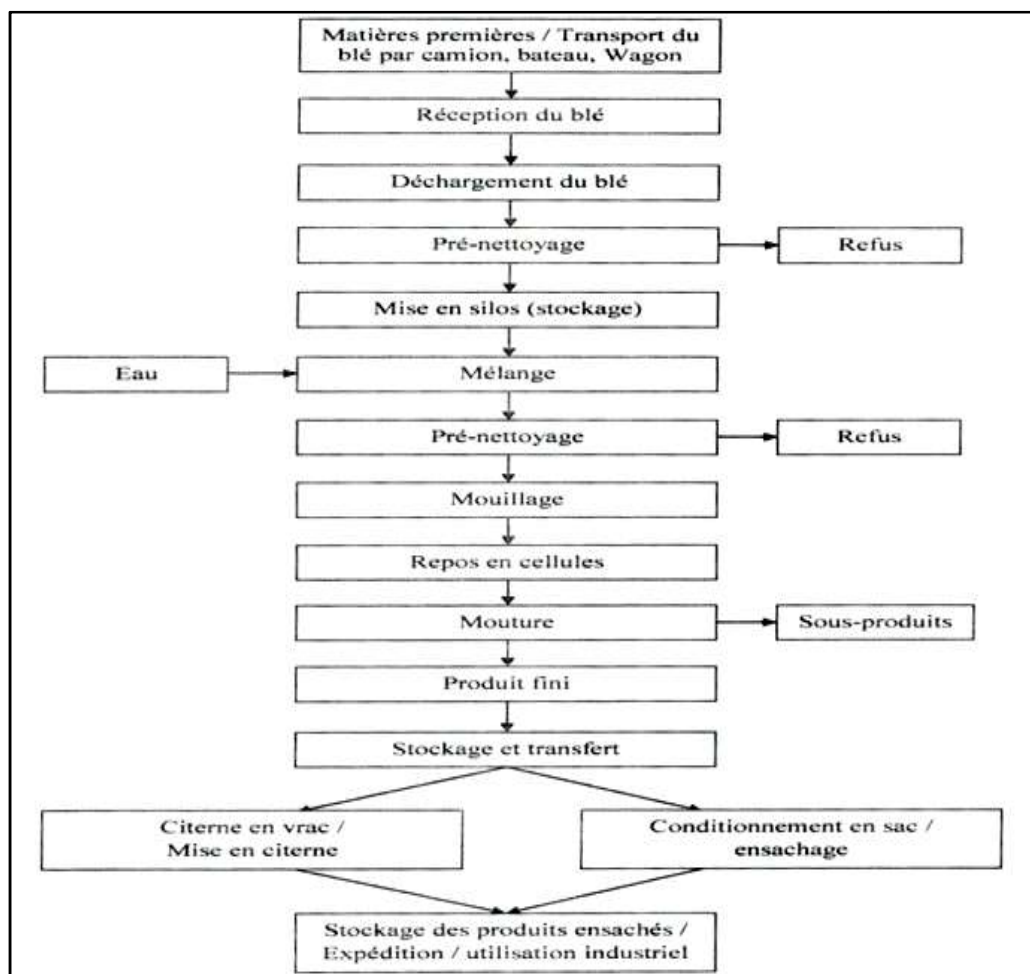


Figure 03 : Diagramme de fabrication semoule et farine (Feuillet, 2000).

I.2.5. Caractéristiques des différents types de la farine

La classification des farines (tableau VI), est basée sur la teneur en cendres ou matières minérales. Du type 45 à 150, on passe de la farine la plus blanche (faible taux d'extraction en farine) à la plus « piquée », riche en enveloppes du grain (taux d'extraction en farine élevé). Cette différenciation est basée principalement sur la notion de pureté ou de blancheur, et ne correspond pas à une notion de valeur technologique même si le travail des pâtes est plus aisé avec des farines blanches qu'avec des farines bises et complètes. Il existe un certain nombre de type de farine bien déterminée :

- ✓ T45 : Farine blanche utilisée pour la pâtisserie.
- ✓ T55 : Farine utilisée pour le pain de campagne.
- ✓ T65 : Farine blanche sert à faire le pain de campagne, ou tout autre pour des traditions généralement issues de l'agriculture biologique cette dernière ne contient pas d'acide ascorbique (vitamine C)
- ✓ T80 : Farine bise au semi complète utilisée couramment dans la boulangerie biologique sert à faire le pain semi complet.

- ✓ T110 : Farine complète.
- ✓ T150 : Farine intégrale est utilisée pour la fabrication du pain complet (**Romain et al., 2007**).

Tableau VI: Types de farine de blé (**Romain et al, 2007**).

Types de farine	Taux de cendre en ‰	L'humidité	Taux d'extraction moyenne	Aspect des farines
45	Inférieur à 0,5	15,5	67	Blanches
55	0,5 à 0,6	15,5	75	
65	0,63 à 0,75	15,5	78	
80	0,75 à 0,9	15,5	80 à 85	Bises
110	1 à 1,2	15,5	85 à 90	
150	Supérieure à 1,4	15,5	90 à 98	Complète

De ce fait, une farine est caractérisée par :

- ✓ Taux d'extraction, c'est-à-dire le rendement en farine pour 100 kilos de grains. La blancheur de la farine et sa pureté varient en rapport inverse avec le taux d'extraction, ainsi plus le taux d'extraction est élevé moins la farine est pure et par conséquent sa couleur est grise.
- ✓ Taux de blutage qui représente à l'inverse, le pourcentage d'issues éliminées.

I.2.6. Notion de valeur boulangère

Il s'agit de la valeur d'utilisation de la farine pour la fabrication d'un produit de boulangerie (**Berland, 2005**). La valeur boulangère (norme NF V03-716), intègre des notions distinctes :

- ✓ Le rendement en pâte : quantité d'eau que peut absorber la farine pour une consistance donnée.
- ✓ La machinabilité de la pâte : aptitude de la pâte à être travaillée sans difficulté, et ce de la panification jusqu'à la cuisson. Cette caractéristique qualitative prend en compte les notions de collant, d'élasticité et d'aptitude à la déformation de la pâte.
- ✓ Une activité de fermentation suffisante et régulière.
- ✓ Le développement de la pâte et du pain : aptitude à la rétention gazeuse et à la déformation.
- ✓ La qualité organoleptique de la mie du pain : couleur, odeur, texture.
- ✓ La tolérance au pétrissage (particulièrement le pétrissage intensifié) sans relâcher ni coller excessivement, tout en étant extensible et élastique (**Berland, 2005**).

I.2.7. Notion de valeur technologique

Il s'agit de la valeur d'utilisation de la farine pour la fabrication d'un produit (pain, biscuit...etc.) dans des conditions opératoires bien définies dont la détermination suppose des protocoles de fabrication ou de mise en œuvre d'analyses indirecte pour l'appréciation de la qualité de la farine (**Rounda et al., 2007**).

I.2.8. Facteurs de qualité – critères généraux

Les bonnes pratiques de fabrication requièrent que :

- 1/ La farine de blé et tous ingrédients lui étant éventuellement ajoutés doivent être sains et propres à la consommation humaine (**Codex Stan152, 1985**)
- 2/ La farine de blé doit être exempte d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants.
- 3/ La farine de blé doit être exempte de souillures (impuretés d'origine animale, y compris les insectes morts) en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.
- 4/ Teneur en eau 15,5 % m/m maximum : Une teneur moindre en eau peut être exigée pour certaines destinations, compte tenu du climat, de la durée du transport et de celle du stockage. Les gouvernements acceptant la norme sont priés d'indiquer et de justifier les critères applicables dans leur pays (**Codex Stan 152, 1985**).

I.2.9. Contaminant

- ✓ La farine de blé doit être exempte de métaux lourds en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine (**Codex Stan152, 1985**).
- ✓ La farine de blé doit être conforme aux limites maximales de résidus fixées par la commission du Codex Alimentaires pour ce produit (**Codex Stan 152, 1985**).

I.2.10. Conditionnement

La farine doit être emballée dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit. Les récipients, y compris les matériaux d'emballage, doivent être fabriqués avec des matériaux sans danger et convenant à l'usage auquel ils sont destinés. Ils ne doivent transmettre au produit aucune substance toxique, ni aucune odeur ou saveur indésirable. Lorsque le produit est emballé dans des sacs, ceux-ci doivent être propres, robustes et solidement cousus ou scellés (**Codex Stan 152, 1985**).

Chapitre II :
Pain et panification

Le pain que nous consommons actuellement résulte d'un long cheminement agricole, technologique et gastronomique, c'est un aliment très élaboré ; sa préparation met en œuvre des actions mécaniques, fermentaires et thermiques, dans un ordre bien défini. C'est un produit qui fait partie intégrante de la vie de l'humanité depuis des siècles. Le pain étant l'aliment de base traditionnelle dans de nombreuses cultures, différentes sortes de pains existent dans le monde. Chaque pain traduit le génie du peuple qui l'a façonné en l'adaptant aux habitudes alimentaires, à la culture et aux conditions géographiques du pays (**Crucean, 2019**).

II.1. Définition du pain

Selon le journal Officiel de la république Algérien (**JORA, 1991**) : « Le pain résulte conformément aux usagers loyaux et constants, de la cuisson dans un four répondant aux règles d'hygiène et sécurité, d'une pâte pétrie obtenue à partir d'un mélange de farine de blé tendre, d'eau potable, de sel de levure ou de levain et éventuellement d'adjuvant ou substance autorisées ».

Le pain est un aliment obtenu par cuisson au four d'une pâte pétrie, mise en forme et fermentée, composée essentiellement de farine (blé ou seigle), d'eau, de sel et d'un agent de fermentation (levure ou levain) (**Roussel et al., 2010**).

Il existe une très grande variété de pains qui se différencient par leurs recettes de fabrication mais également leurs formes (baguette, boule, épi, fougasse...) (**Cabrol, 2006**).

II.2. Valeur nutritionnelle du pain

Le pain est un élément central de notre alimentation aux propriétés nutritionnelles demeurant encore peu connues (**Saulnier et al., 2014**). Cet aliment se présente comme :

- ✓ Une source de glucides complexes à faible index glycémique (par exemple 57 ± 9 pour une baguette de tradition (**Rizkalla, et al., 2006**). Les glucides complexes devraient représenter 50 à 55 % de l'apport énergétique journalier.
- ✓ Une source de fibres, dont la teneur augmente avec le taux d'extraction de la farine ;
- ✓ Un faible apport en lipides (< 2 % de la matière sèche) ;
- ✓ Une source de protéines de bonne qualité pour l'adulte mais souffrant d'un déficit en lysine pour l'enfant en croissance (**Langraf, 2002**). L'association des produits laitiers et des céréales est très intéressante du point de vue biologique. Les céréales sont pauvres en lysine, elles sont valorisées par l'apport du lait qui sont riches en lysine.

II.3. Consommation du pain et sécurité alimentaire

Depuis son indépendance, l'Algérie n'a cessé d'œuvrer pour sa sécurité alimentaire du moins pour assurer une certaine disponibilité alimentaire à sa population. Cette disponibilité alimentaire, généralement appréciée à travers la ration nutritive (exprimée en kcal/j/pers), a été multipliée par 2, voire plus, entre 1960 (1 500 kcal/j/pers) à nos jours (3 300 kcal/j/pers) **(Bedrani, 2015)**. Comme pour la majorité des pays du Sud, cette dernière reste majoritairement d'origine végétale et essentiellement à base de céréales qui couvrent 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique (l'algérien en consommerait 200 kg/ an) **(Djermoun, 2009)**.

Le pain reste une denrée alimentaire quasiment fondamentale dans le système alimentaire de plusieurs pays et particulièrement en Afrique du Nord parmi lesquels l'Algérie.

Des rapports économiques récemment publiés ont révélé que la consommation moyenne de pain par habitant en Algérie était estimée à 110 kilogrammes par an, se classant au deuxième rang mondial après la Turquie, qui se classait au premier rang avec 120 kilogrammes par an comme le plus grand consommateur de pain au monde. Ceci explique la forte proportion des importations de céréales, notamment de blé, en Algérie **(Maghrebinfo, 2022)**.

II.4. Gaspillage du pain en Algérie

Les Algériens jettent plus de 900 millions de baguettes de pain par an. En 2021, une étude révélait que les Algériens jetaient 2 millions de baguettes de pain par jour ce qui revenait à cette époque à plus de 600 millions par an. Un autre rapport établissait que près d'un milliard de baguettes sont jetées annuellement par les ménages. Difficile de cerner les chiffres exacts du gaspillage. Cependant, un rapport de l'Agence nationale des déchets (AND) apporte une certaine approximation concernant le montant du gaspillage. Selon ce rapport, 800 millions de baguettes sont jetées chaque année **(Le carrefour dalgerie, 2021)**.

II.5. Généralités sur Panification

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

Pour obtenir du pain, il faut au départ trois composants dont l'action est complémentaire et indissociable qui sont l'amidon qui fournit les sucres, le gluten qui forme

le fin réseau élastique et assure la cohésion de l'ensemble et en fin la levure qui produit, comme son nom l'indique, la levée et l'allègement de la pâte (**Mosiniak, 2018**).

II.5.1. Principe de la panification

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

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

II.5.2. Matières premières

II.5.2.1. Farine de blé tendre

Elle doit être de bonne qualité c'est-à-dire extraite d'un blé sain, satisfaisant à des conditions strictes d'humidification, de grosseurs des grains et de taux maximum d'impuretés. La qualité de farine de blé la plus commercialisée est de type 55 et correspond à un taux de cendres compris entre 0,5 et 0,6 % (soit un résidu minéral compris entre 0,5 et 0,6 g après incinération de 100 g de farine humide) (**Fredot, 2009**).

II.5.2.2. Eau

L'eau servant à la fabrication du pain est nommée « eau de coulage ». Elle doit être potable, non calcaire et ne doit pas contenir trop de chlore ce qui inhiberait la fermentation, elle permet d'hydrater le gluten et l'amidon et elle est indispensable à la cohésion de la pâte.

La teneur en eau d'une farine se situe en moyenne autour de 15 g pour 100 g de farine humide en fin de mouture. Plus la teneur en eau de la farine est importante, plus sa qualité risque de se détériorer rapidement pendant son stockage du fait des activités des hydrolases, des oxydases et du développement possible de moisissures, de levures et de bactéries. Le taux d'hydratation d'une pâte est généralement compris entre 45 et 50 g pour 100 g de pâte humide. Pour le calculer, il est nécessaire de prendre en considération l'eau apportée par la farine mais aussi par les autres ingrédients, afin d'ajuster la quantité d'eau à ajouter dans la cuve du pétrin (**Fredot, 2009**).

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

II.5.2.3. Chlorure de sodium (Na Cl)

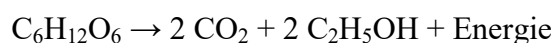
Le chlorure de sodium est un composé chimique ionique de formule NaCl. On l'appelle plus communément sel de table ou sel de cuisine, ou tout simplement sel dans le langage courant. Il est important mais non indispensable, il améliore les qualités organoleptiques de la pâte et il permet de régulariser la fermentation (en la freinant), participe à la bonne coloration de pain et retarde sa dessiccation (**Fredot, 2009**).

Aussi Il a également un impact bio-physicochimique fort sur la pâte, on peut citer :

- ✓ Une limitation de l'activité fermentaire de la levure ; plus la quantité de sel est grande, plus la durée de fermentation s'allonge (**Langraf, 2002**) ;
- ✓ Un brunissement plus rapide de la croûte (**Langraf, 2002**) ;
- ✓ Un impact sur la couleur de la pâte. La présence de NaCl inhibe partiellement l'activité lipoxygénasique du blé (**Nicolas, 1978**), or cette enzyme permet l'oxydation des pigments caroténoïdes et donc le blanchiment de la pâte et de la mie.
- ✓ Une augmentation brusque de la consistance de la pâte par une modification des interactions ioniques (**Feillet, 2000**). Cette augmentation de la consistance de la pâte peut être attribuée à l'hydratation des cristaux de sel qui diminue l'aw de la pâte et à la modification de la force ionique du milieu qui pourrait modifier la répartition des interactions de faibles énergies entre les protéines du gluten (**Preston, 1981**).

II.5.2.4. Agents de fermentation

Le métabolisme fermentaire de la levure apporte à la pâte du dioxyde de carbone, de l'éthanol et des arômes. Le CO₂ retenu par le réseau glutineux permet à la pâte de prendre du volume, ce phénomène est appelé la pousse. La plus grande partie de la fermentation se déroule au cœur de la pâte, en l'absence d'air. En anaérobiose, 95 % du glucose est métabolisé par la fermentation alcoolique de la levure (**Drapron et al., 1999**) suivant la réaction :



II.5.2.4.1. Levure de boulangerie : C'est un agent de fermentation plus facile à utiliser que le levain car il est produit industriellement et assure un résultat plus rapide et plus uniforme (**Fredot, 2009**). Les boulangers utilisent essentiellement deux types de levures (**Langraf, 2002**) :

- ✓ Le premier type est la levure fraîche pressée qui est le plus utilisé en France. De consistance pâteuse et très friable, son activité fermentaire peut être lente ou rapide. La levure rapide est moins répandue que la lente, elle contient plus de protéines et

occasionne dès le début de la fermentation une production importante de CO₂ qui ralentit ensuite rapidement.

- ✓ Le deuxième type est la levure sèche conditionnée sous vide. Ce produit est essentiellement utilisé dans les pays chauds pour sa longue conservation et sa facilité de stockage. Cette levure est obtenue par déshydratation de levure fraîche et permet de diviser sa masse par trois. Elle peut être directement mélangée à la farine sans réhydratation préalable.

II.5.2.4.2. Levain : Afin de fabriquer du levain, le boulanger prélève une petite quantité de pâte sur l'une des fournées du jour. Il la laisse ensuite reposer plus de 12 heures en ajoutant régulièrement de la farine et de l'eau. De minuscules micro-organismes capables de faire gonfler la pâte se forment alors peu à peu. Ils constituent la flore de levain constituée précisément d'un mélange de bactéries acidifiantes (lactiques et acétiques) et de levures sauvages (*Saccharomyces minor*). La fermentation au levain fait donc appel à une fermentation naturelle (**Langraf, 2002**).

II.5.2.4.3. Améliorants

Pour corriger les déficiences de certaines farines ou faciliter certains types de panification, des produits peuvent être additionnés en boulangerie (additifs, adjuvants, auxiliaires technologiques 'naturels, synthétiques') (**Fredot, 2009**).

II.6. Les étapes de panification

Pour qu'un pain soit de bonne qualité, il doit être léger, avec une mie fine et élastique. Le pain est généralement fabriqué selon les étapes suivantes (**Figure 04**).

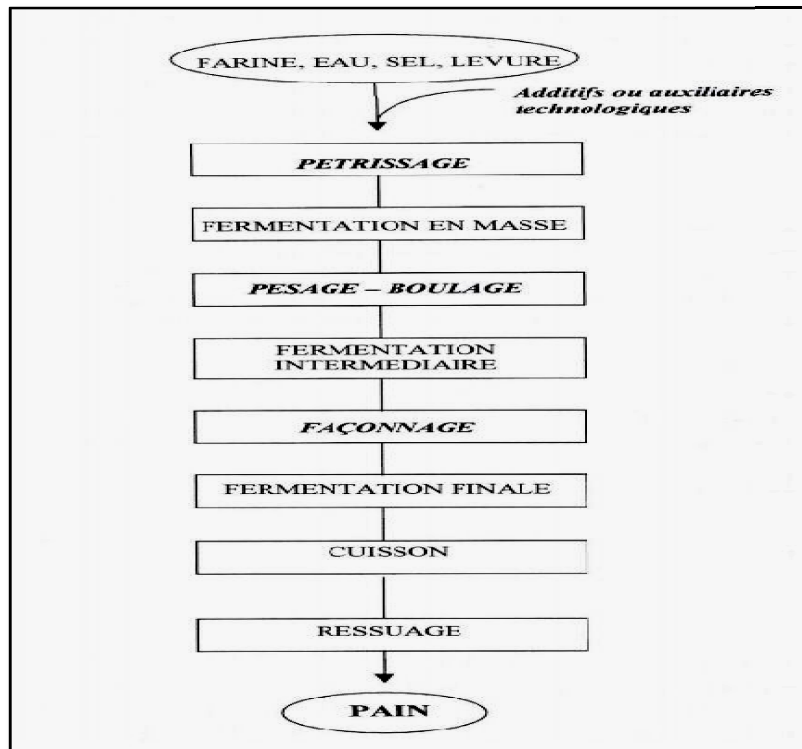


Figure 04 : Etapes de la fabrication du pain (Garcia, 2000).

II.6.1. Pétrissage

Le pétrissage est l'étape jugée la plus importante par de nombreux auteurs (**Drapon et al., 1974**). Il a pour objectifs l'obtention d'un mélange homogène des différents ingrédients (farine, eau sel, levain, etc...), la texturation du gluten et l'aération de la pâte (**Jeantet et al., 2007**).

II.6.2. Le pointage

Le pointage est la première fermentation qui produit du maltose et du CO₂, en milieu anaérobie, grâce à l'action de la levure sur l'amidon (**INBP, 2003**). Durant cette étape la pâte gonfle avec la formation de poches de gaz retenues par le réseau de gluten, on note aussi la formation d'arômes et l'accroissement de l'élasticité et de la ténacité du produit (**Doumandji et al., 2003**).

II.6.3. La mise en forme

La masse de pâte initiale doit alors être divisée en pâtons de masse déterminée en fonction du produit fini désiré (baguette, pain...). Par exemple, pour un pain de 400 g cuit, il faut un pâton de 550 g de pâte crue (**Langraf, 2002**).

Le pesage, le dévisage ainsi que le boulage altérer les qualités physiques de la pâte. Un temps de repos est donc nécessaire pour retrouver des qualités satisfaisantes. C'est alors qu'intervient la fermentation intermédiaire ou détente des pâtons (boules de pâte ayant la

masse unitaire requise pour chaque pain). Sa durée est courte mais elle suffit à donner au pâton une extensibilité suffisante pour que le façonnage (formation des pains) se fasse dans de bonnes conditions (Revy, 2005).

II.6.4. L'apprêt

C'est la fermentation finale du pâton. Au cours de cette opération, il y a formation de CO_2 et de l'éthanol. Le pâton levé et la texture finale de la mie est amorcée (Doumandji et al., 2003).

II.6.5. La cuisson

D'après Langraf (2002), la température idéale de cuisson du pain est de 250°C (Figure 05). Avant d'enfourner, le boulanger introduit de la buée dans son four. Cette opération a plusieurs objectifs :

- ✓ Entourer le pâton d'une mince pellicule d'eau qui assouplit la pâte et permet son dernier développement ;
- ✓ Limiter l'évaporation de l'eau contenue à l'intérieur du pâton ;
- ✓ Accentuer la finesse de la croûte et lui donner une couleur dorée.

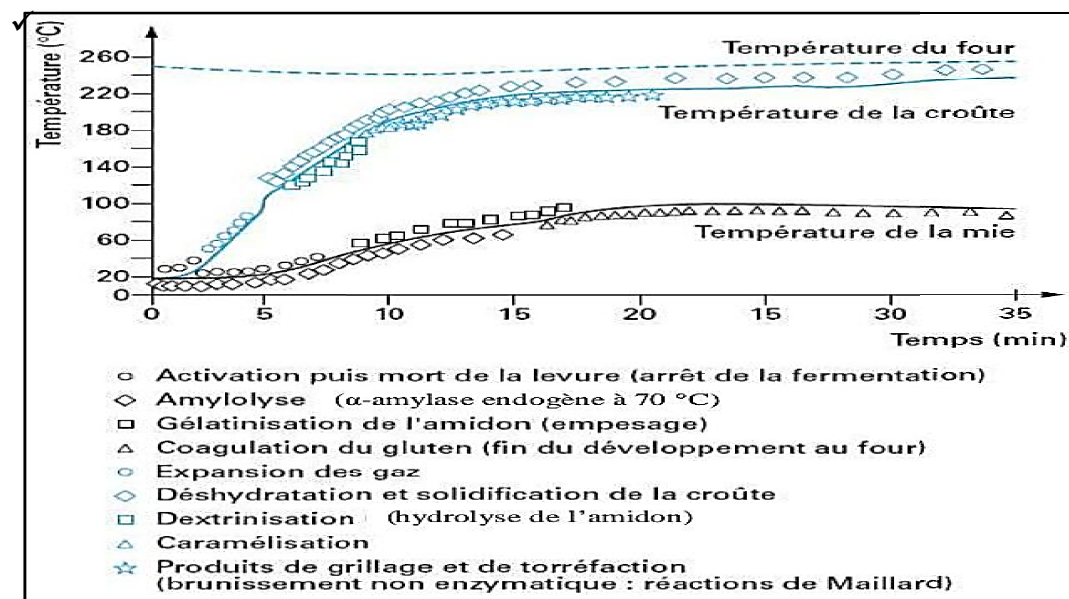


Figure 05 : Impact bio-physicochimique de la cuisson sur les pâtons (Langraf, 2002).

II.6.6.1. Le ressuyage

C'est la période durant laquelle le pain se refroidit. Ce refroidissement est accompagné d'un départ de vapeur d'eau et de CO_2 entraînant une légère perte d'humidité au niveau de la mie et pour le pain une perte du poids (Doumandji et al, 2003).

II.6.6.2. Rassisement de pain

Le rassisement du pain est une évolution négative de ses caractéristiques au cours de sa conservation. Elle correspond à trois types d'altération :

- ✓ Atténuation des qualités olfactives et gustatives due à la diffusion des constituants volatils de la croûte vers l'extérieur mais aussi vers la mie et inversement, et au fait que l'amidon forme des complexes avec ces constituants et les amène à un état non volatil et insoluble ;
- ✓ Altération des qualités visuelles : la mie passe de translucide à terne et opaque ;
- ✓ Dégradation des sensations buccales reposant sur des modifications de la structure et des caractéristiques de la mie qui passe de l'état tenace et souple à dure et friable. Le rassisement ne doit pas être assimilé à une déshydratation du pain (**Langraf, 2002**).

Chapitre III :
Impact de la rétrogradation
de l'amidon sur le pain

III.1. Définition de l'amidon

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale qui constitue la principale réserve glucidique des plantes supérieures. Présent dans tous les organes végétaux, l'amidon natif se concentre préférentiellement: dans les graines de céréales (ex. : blé, avoine, maïs) et de légumineuses (ex: pois, fèves). Dans les fruits (ex. bananes). Dans les parties souterraines (ex. : pommes de terre, rhizomes du manioc etc...). L'amidon est la principale source d'énergie dans l'alimentation animale et humaine. La moitié de la production industrielle mondiale de l'amidon est destinée à l'alimentation humaine (**Boursier, 2005**).

Le maïs, la pomme de terre et le blé sont les principales plantes utilisées pour la production des 35 millions de tonnes d'amidon natif consommés mondialement (**Jung et al., 2004**). Cet amidon est utilisé sous forme native ou sous forme modifiée dans plusieurs secteurs industriels tels que les textiles, l'industrie alimentaire, les pâtes et papiers et le domaine pharmaceutique.

III.2. Production mondiale de l'amidon

Le marché mondial des amidons industriels était évalué à 51 496,8 millions USD (Dollar américain) en 2021, et il devrait atteindre 70 469 millions USD en 2027, enregistrant un TCAC (taux de croissance annuel composé) de 5,40 % au cours de la période de prévision (2022-2027).

L'amidon est un glucide extrait de matières premières agricoles, qui trouve des applications dans de nombreux produits alimentaires et non alimentaires de tous les jours. Les amidons industriels sont dérivés de diverses sources, notamment le maïs, la pomme de terre, le blé et d'autres sources.

La demande d'amidons modifiés augmente parallèlement au développement rapide de l'industrie alimentaire. Les amidons modifiés offrent un nombre considérable d'avantages fonctionnels à divers aliments, tels que les boulangeries, les collations, les boissons et les aliments nutritionnels (**Mordorintelligence, 2023**).

III.3. Utilisation de l'amidon

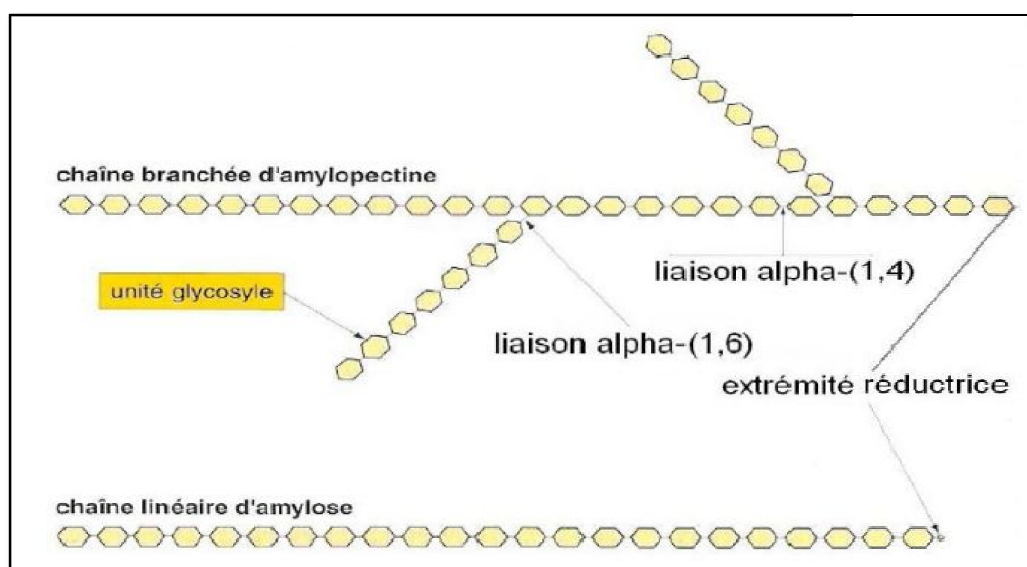
L'amidon a de nombreuses utilisations essentiellement dans le domaine alimentaire (51%), mais d'autres domaines d'applications (49%) (tableau VII) (**Adjouman, 2014**).

Tableau VII: Les différents domaines d'application de l'amidon (**Bendaoud, 2014**).

Amidon	Utilisation d'amidon /amidon modifié
Adhésif	Production d'adhésif
Agrochimique	Paillis, livraison de pesticides, enrobages de semences
Détergent	Poudre visage et talc
Aliments	Tensioactifs, constructeurs, co-constructeurs
Médical	Modificateur de viscosité
Forage pétrolier	Diluant, liant, administration de médicament
Médicaments	Charge biodégradable
Plastique	Dimensionnement, finition et impression
Textile	Résistance au feus

III.4. Structure de l'amidon de blé

Les grains d'amidon de blé sont constitués à 98% de la fraction glucidique (amidon), les 2% restants comportent un certain nombre de constituants mineurs (protéines, lipides, minéraux)(**Banks et Greenwood, 1975**).

**Figure 6 :** Structure de l'amylose et l'amylopectine (**Feillet, 2000**).

La fraction glucidique est constituée de deux types de chaînes polysidiques formées d'unités α -D-glucose (Figure 07):

- ✓ L'amylose (26% de la fraction glucidique) est un homopolymère essentiellement linéaire de 500 à 6 000 unités d' α -D-glucose qui sont liées par des liaisons α (1 $\rightarrow$ 4).

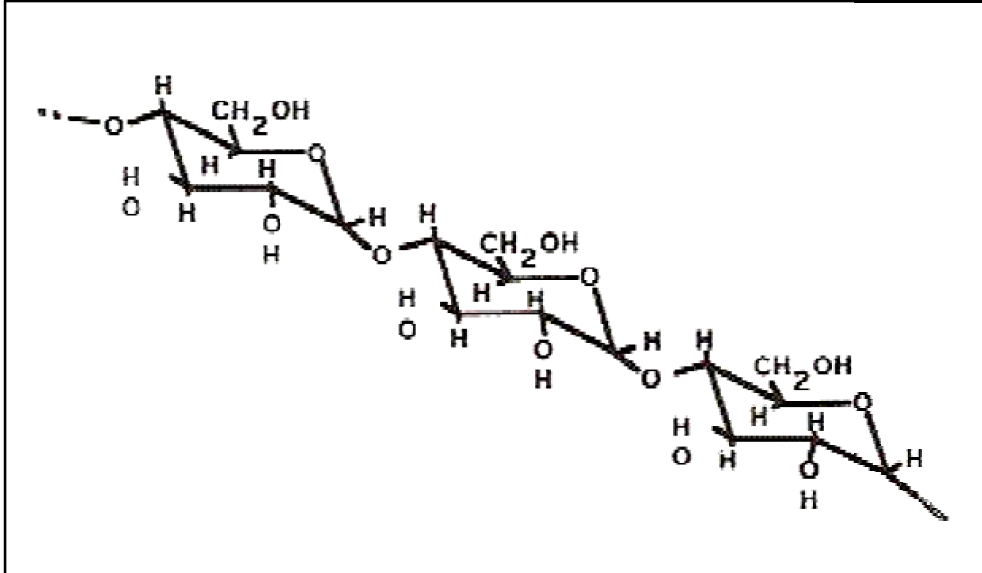


Figure 07 : Structure de l'amylose dans un grain de blé (Feillet, 2000).

- ✓ L'amylopectine est le principal constituant glucidique de l'amidon de blé normal avec une fraction de 74%. Il s'agit d'une molécule ramifiée pour laquelle des liaisons α (1 $\rightarrow$ 4) relient les unités D-glucose formant la chaîne principale et des liaisons $\alpha(1\rightarrow6)$ assurent les liaisons avec les ramifications (Figure 08) (Bornet et al., 1990).
- ✓ L'amylopectine est un des polysides les plus volumineux avec une masse moléculaire moyenne de 105 kDa (Feillet, 2000).

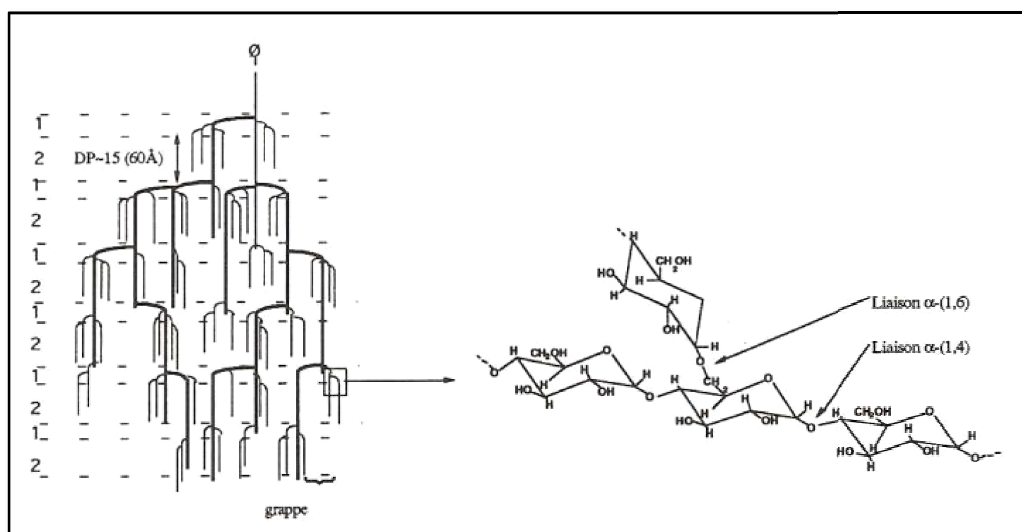


Figure 08 : Structure de l'amylopectine du grain de blé (Bornet et al., 1990).

A l'échelle supramoléculaire, l'amidon s'organise en grains semi-cristallins. L'amidon de blé présente deux populations de grains : des gros grains lenticulaires appelés grains A (15 à 35 μm de diamètre) et des grains polyédriques plus petits appelés grains B (environ 10 μm de diamètre) (Galliard et Bowler, 1987). En lumière polarisée, les grains sont biréfringents et présentent une croix noire appelée croix de malte. Cette croix est due à l'orientation radiale des chaînes de polymères à l'intérieur des grains.

Au niveau macromoléculaire, les grains d'amidon possèdent une cohésion radiale covalente et une cohésion tangentielle résultant de la formation de liaisons hydrogènes intermoléculaires. Ces liaisons contribuent à l'agrégation d'un grand nombre de chaînes et donc à la formation de zones cristallines. Celles-ci sont séparées les unes des autres par des régions complètement désordonnées appelées zones amorphes. Le degré de cristallinité des grains dépend de leur hydratation ; il est de l'ordre de 30 %. La structure cristalline est de type A à l'état natif et de type B une fois l'amidon rétrogradé, c'est-à-dire après réorganisation d'amidon gélatinisé. Le grain d'amidon est constitué de couches alternantes amorphes et semi-cristallines (Figure 09) (Jenkins et al., 1994).

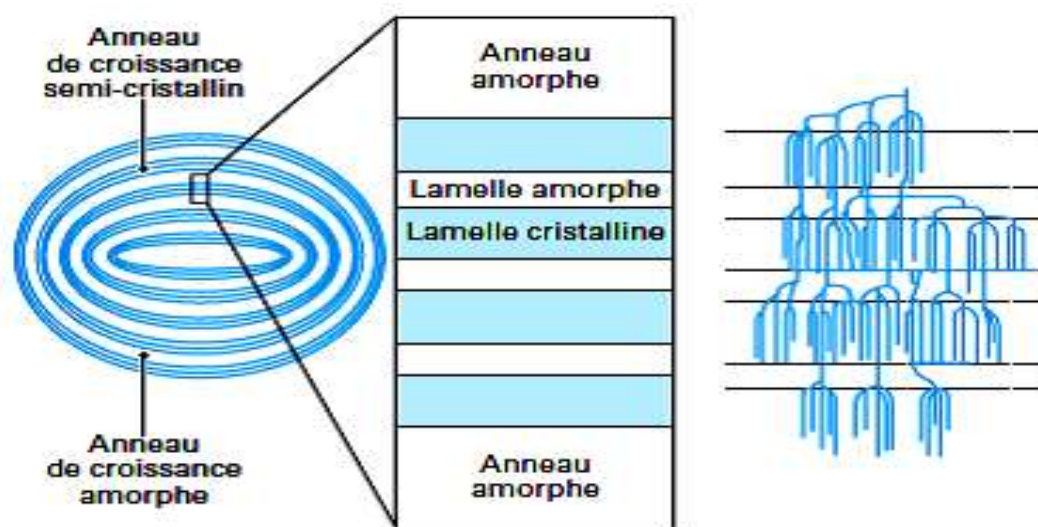


Figure 09: Schématique d'un grain d'amidon (Jenkins et al., 1994).

III.5. Transformation de l'amidon

A l'exception des cas où l'amidon natif est utilisé comme charge, toutes les autres applications sont basées sur la disparition de la structure cristalline. Ceci est facilement réalisable par l'extrusion en milieu condensé (plastification) ou par la solubilisation en solution (gélatinisation). L'amidon natif a une température de transition vitreuse (T_g) plus élevée que sa température de décomposition thermique ($T_d \approx 200^\circ\text{C}$) en raison des interactions fortes dues aux liaisons hydrogène entre les chaînes. Lorsque l'amidon subit une transformation et qu'il devient majoritairement amorphe, la température de transition

vitreuse (T_g) baisse et donc l'utilisation de l'amidon dans les procédés conventionnels des polymères synthétiques, comme l'extrusion et l'injection, devient possible. Les deux techniques de transformation de l'amidon, la gélatinisation et la plastification (Alexis, 2010)

III.7. Rôle et influence de plastifiant

Le plastifiant va venir s'insérer par diffusion entre les chaînes d'amidon pour rompre les liaisons hydrogènes inter-chaînes d'amidon et créer de nouvelles liaisons hydrogènes amidon/plastifiant. Cela va augmenter d'une façon importante la mobilité des chaînes macromoléculaires engendrant une diminution de la température de transition vitreuse (T_g) et une diminution de la température de fusion (T_f). Ainsi en présence d'un plastifiant et d'un chauffage optimal, un granule d'amidon gonfle (sorption), se gélatinise (fusion des lamelles cristallines) et enfin se solubilise.

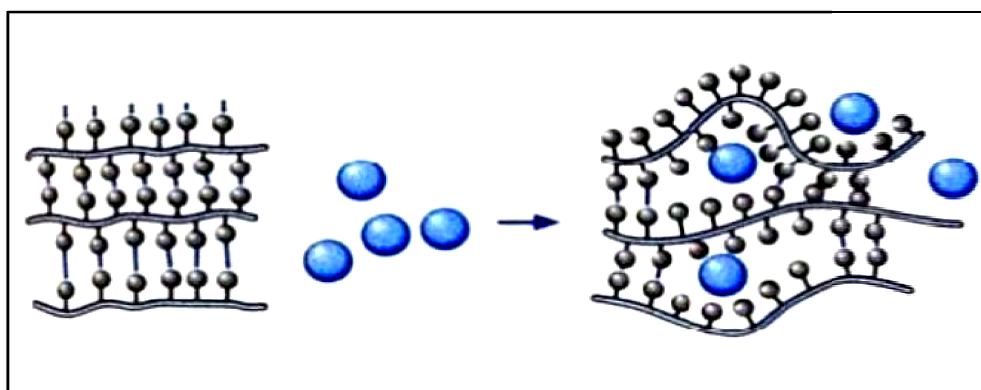


Figure 10 : Schéma du mécanisme de plastification à l'échelle moléculaire (Alexis, 2010).

III.8. Phénomène de sorption

Le phénomène de sorption est un comportement caractéristique de l'amidon sous forme granulaire. Dans la phase initiale d'adsorption, les molécules d'eau pénètrent préférentiellement les espaces interstitiels du grain et établissent un pontage double par double liaison hydrogène forte entre les groupements hydroxyles de l'amidon et le grain d'amidon gonfle. La cristallinité apparente des grains d'amidon étudiés au rayon X est maximale à saturation en eau. L'eau absorbée agit comme plastifiant permettant un alignement des cristallites par plastification de la phase amorphe inter-cristalline (Alexis, 2010).

III.9. Processus de gélatinisation

Les amidons natifs sont connus pour être totalement insolubles dans l'eau froide en raison de l'organisation cristalline des grains d'amidon. En chauffant une dispersion aqueuse d'amidon aucun changement notable n'est constaté quand la température est inférieure à

60°C°, mais au-delà, des phénomènes importants se manifestent. La température à partir de laquelle cette transition se produit et la température de gélatinisation.

Le processus de gélatinisation entraîne un certain nombre de modifications, notamment la disparition de la cristallinité (perte de biréfringence), un gonflement important et une solubilisation partielle du contenu granulaire, une augmentation nette de la viscosité du milieu. Au niveau moléculaire ces manifestations sont à conséquence d'un processus endothermique entraînant une augmentation de la mobilité des macromolécules au niveau de granule d'amidon (Alexis, 2010).

III.12. Rétrogradation (refroidissement de l'empois après cuisson)

La rétrogradation de l'amidon est un aspect important de la transformation des aliments qui a un impact considérable sur la texture et l'acceptabilité des produits.

Dans les phases riches en amylose se forment rapidement des doubles hélices (chaînes de DP environ 60) qui s'assemblent pour donner des cristaux de type B (figure 11) qui se relient entre eux par les parties lisses des chaînes pour former un réseau tridimensionnel (figure 12) résistant à la température (température de fusion supérieure à 120 °C), aux hydrolyses chimiques ou enzymatiques. Ces phénomènes interviennent dans les heures qui suivent la préparation de l'empois (Bernard, 2005).

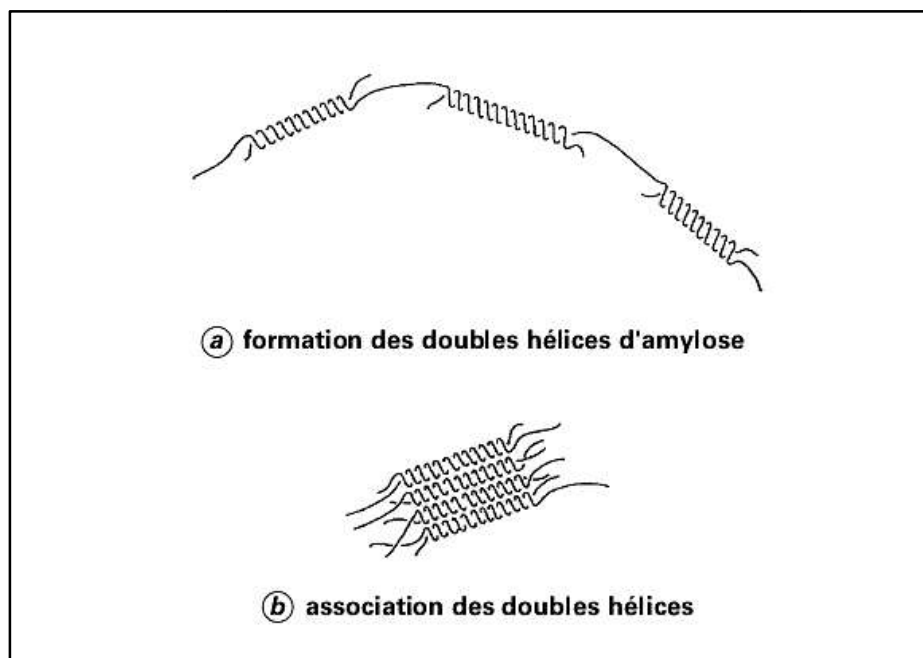


Figure 11 : Formation des doubles hélices et des « cristaux » (Bernard, 2005).

L'amidon est constitué de granules qui gonflent au contact de l'eau et sous l'action de la chaleur pour former un empois. Ce phénomène appelé gélatinisation permet l'épaississement des liquides. En chauffant un empois au-dessus de sa plage de gélatinisation, les granules d'amidon éclatent et libèrent les molécules qu'elles contiennent : l'amylose et l'amylopectine. On note alors une perte de viscosité ; l'empois devient moins épais. Lorsque la préparation refroidit, les chaînes d'amylose se lient en un gel : on dit alors que l'amidon rétrograde. Puis ce gel se raffermi tout en expulsant de l'eau : c'est la synérèse. Pour les amidons de céréales, la fusion des complexes amylose – lipides intervient à des hautes températures. La viscosité maximale est atteinte lorsque l'empois contient un grand nombre de grains très gonflés, la solubilisation totale des macromolécules et la disparition des granules se traduisent par la perte de viscosité. Après cuisson, l'empois d'amidon deviendra au refroidissement plus visqueux et opaque ; si la proportion d'amylose est suffisante, il gélifiera, la fermeté du gel et la quantité d'eau synérèse augmenteront au cours du temps (Figure 12).

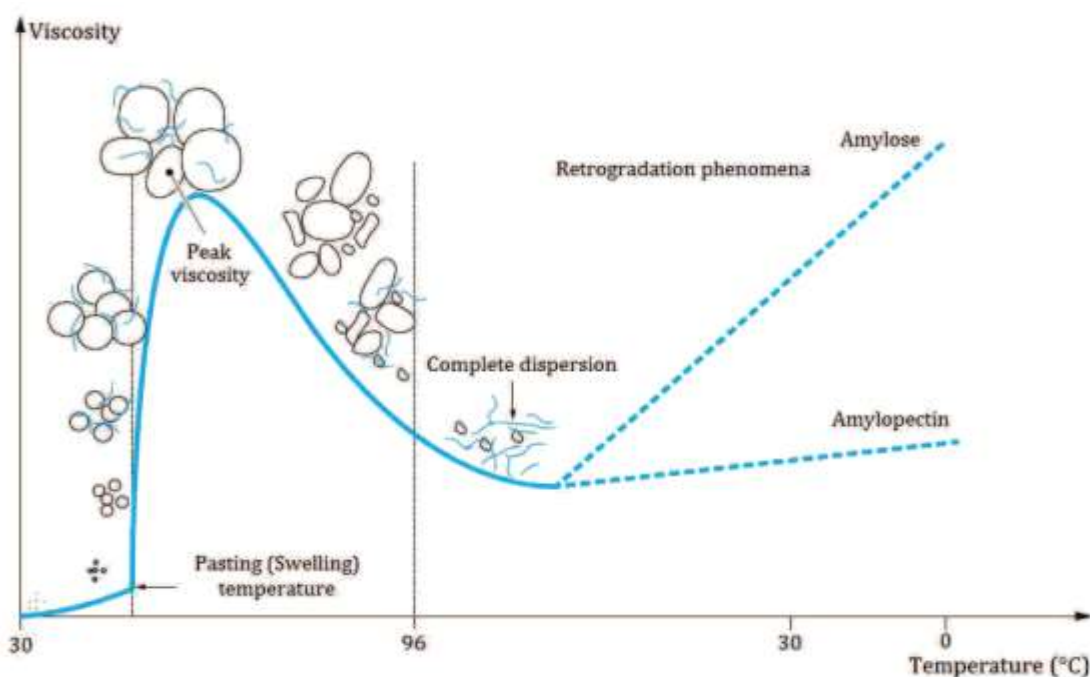


Figure 12 : Comportement d'un amidon lors de la cuisson et du refroidissement (Morris, 1990).

L'amidon cuit est facilement hydrolysable par les amylases. Les granules gonflés sont très peu résistants aux contraintes (mécaniques, thermiques ou acidité du milieu). Lorsque l'amylose est complexée par des lipides endogènes ou exogènes, l'amidon présente un retard au gonflement lié à la non solubilisation des complexes amylose lipide du granule d'où une pénétration de l'eau difficile (Bernard, 2005).

III.12. Rôle de l'amidon dans la panification

L'amidon intervient de différentes façons au cours de la fabrication du pain. C'est une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la multiplication et la croissance des levures (**Feuillet, 2000**).

C'est aussi un agent de remplissage assurant une fonction de dilution du gluten. C'est également un fixateur d'eau. Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules et sa capacité à former des liaisons non-covalentes (liaisons hydrogène) avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte. Les interactions qui se développent entre l'amidon et les protéines du gluten peuvent modifier les propriétés des pâtes. En effet, les glutens de qualité inférieure inter-réagiraient plus énergétiquement avec l'amidon et, de ce fait, s'étireraient plus difficilement sous la poussée gazeuse. À l'inverse, les interactions plus faibles qui se forment entre l'amidon et les protéines des farines de qualité supérieure seraient un facteur favorable à un volume de pain élevé (**Feuillet, 2000**).

Eliasson et al, (1995) ont montré que l'aptitude à la panification des amidons de blé serait d'autant meilleure que leur température de gélatinisation est élevée. Ce phénomène a été expliqué en supposant que la prise de volume du pain dans le four s'arrête au moment où l'amidon est gélatinisé et que le pain se développe d'autant plus que la gélatinisation est tardive. Une farine dont l'amidon est endommagé retient moins d'eau et donne une pâte collante, difficile à manier. Les pains obtenus avec cette farine sont moins volumineux et ont une apparence déformée (**SPTD, 2009**).

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

L'objectif principal de notre travail reste la valorisation du pain rassis dans la production du pain (baguette). En effet, le pain rassis représente malheureusement un problème récurrent majeur de l'alimentation humaine et influe considérablement sur le comportement du consommateur notamment Algérien. Le pain rassis est jeté parfois même dans les poubelles. Le pain représente une denrée fondamentale dans le système alimentaire national, il constitue la pierre angulaire de la sécurité alimentaire. De ce fait, la réduction du gaspillage et la valorisation du pain rassis représentent des solutions incontournables dans le développement durable de la chaîne de valeur pain.

I.1. Présentation de l'organisme d'accueil

Le groupe agro-industries AGRODIV SPA est né de la restructuration du secteur public marchand en février 2015, son objet social porte sur l'agro-industrie dans toute sa diversité, et sa stratégie se place dans une logique d'intégration de filière. Le groupe active dans la transformation céréalière et dérivés ; la production de jus, boisson et conserves issus de la transformation et conditionnement de fruits et légumes ; la phœniciculture et la transformation de dattes, le conditionnement de café, sucre, légumes secs et riz; l'entreposage, conditionnement et commercialisation de produits alimentaires divers.

La première partie expérimentale a été effectuée au niveau du laboratoire des moulins « AGRODIV » CORSO, qui est spécialisée dans la transformation des céréales est constituée d'une minoterie et d'une semoulerie. Son activité principale est la transformation de blé tendre et dur respectivement en farines et en semoules.

I.2. Préparation de la poudre du pain rassis

I.2.1. Récupération du pain rassis

Nous avons utilisé des restes de pain sec propre à la consommation humaine récupérées à la maison et de certaines boulangeries afin de les réutiliser. Il est important de noter que le pain utilisé a été stocké avant sa récupération et sa valorisation dans un endroit propre, sec et à l'abri de tout contaminant physique, chimique ou biologique.

I.2.2. Séchage du pain rassis

Pour sécher le pain, on le coupe en tranches (de 2 à 5 cm), afin d'augmenter la surface de contact et de sécher le pain rapidement. Après avoir coupé le pain, on le met sur une plaque de cuisson et de le laisser au four à 200°C pendant 7 min sera assurer le séchage du pain doucement sans le faire griller. On a choisi ce barème pour sécher le pain rapidement.

I.2.3. Broyage

Nous avons broyé le pain rassis à l'aide d'un broyeur du laboratoire de marque Blet pendant environ une minute. Ce temps est suffisant pour bien fragmenter les morceaux de pain en poudre.

I.2.4. Tamisage

Le tamisage de la poudre du pain broyé a été effectué à l'aide d'un tamiseur électrique (Retsch) (figure 13). La taille des mailles des tamis est de 0,25 mm. Le tamisage est effectué pendant 5min, pour avoir une fine farine du pain rassis.



Figure 13 : Tamiseur électrique.

I.2.5. Formulation de la farine contenant la poudre du pain rassis

Lors de notre travail, nous avons opté pour l'incorporation de la farine du pain rassis à des différents taux comme suit :

Farine 1 (F1): 5% de la farine du pain rassis avec et 95% de la farine du blé tendre.

Farine 2 (F2): 10% de la farine du pain rassis avec et 90% de la farine du blé tendre.

Farine 3 (F3): 15% de la Farine du pain rassis avec et 85% de la farine du blé tendre.

Ce choix est justifié par le fait que des taux de substitution plus importants (supérieur à 15%) donnent selon, nos essais préliminaires et aussi certains travaux scientifiques, des pains de moindre qualité notamment organoleptiques.

I.3. Caractérisation physicochimiques des farines

I.3.1. Détermination du taux de l'humidité (NA1189 /NA1132)

La mesure de l'humidité des échantillons des différentes farines (pain rassis et celle d'AGRODIV) a été effectuée selon les protocoles de l'entreprise d'accueil (AGRODIV). Le mode opératoire est le suivant :

- Homogénéiser la farine, dans le cas de blé, il faut faire un broyage et une homogénéisation avant d'effectuer la prise d'essai ;
- Dans une balance analytique mettre une nacelle et écrire le résultat dans le suivi ;
- Peser 5g de produit à analyser dans une nacelle préalablement tarée ;
- Introduire la nacelle couverte dans l'étuve pendant 90 min, ce temps est compté à partir au moment où la température de l'étuve est entre 130 et 133 °C ;
- A la fin de l'étuvage ; retirer rapidement la nacelle de l'étuve la placer dans un dessiccateur jusqu'à refroidissement à la température ambiante.

Le calcul de résultat

Le résultat du taux d'humidité des farines testées est déduit de la formule :

$$H\% = \frac{(N^0+5)-N}{5} \times 100$$

H : L'humidité

N⁰ : Poids de nacelle vide

N : poids de nacelle après séchage

Le taux d'humidité ne doit pas dépasser 15% pour les farines, car s'il dépasse cette valeur la farine pourra s'acidifier très rapidement (NA1189/NA1132).

I.3.2. Détermination du taux de cendre (NA733/1990)

Les cendres représentent le résidu de composés minéraux qui reste après l'incinération d'un échantillon. Pour se faire il faut mettre le produit à analyser, préalablement broyé en cas de besoin, dans un four à moufle (NüveFurnace) à 900 °C ± 25 °C pendant 2 heures jusqu'à ce qu'il reste un résidu incombustible, une fois refroidi un aspect blanc apparaitre. Le taux de cendres étant exprimé par rapport à la matière sèche, il faut déterminer parallèlement la teneur en eau du produit à analyser.

Mode opératoire

✓ Nettoyage des capsules

Les capsules d'incinération peuvent être nettoyées après chaque usage par addition de HCl à différentes concentrations selon la nature des capsules. (pour les capsules en platine, on utilise HCl 5 %).

✓ Pré – incinération

Les creusets sont placés à l'intérieur du four pendant 15 minutes pour être prête à l'utiliser, puis nous les sortons et les refroidissons un moment dans un dessiccateur.

Prendre les creusets à l'aide d'une pince, les peser vide, puis ajouter 3g de produit (Farine du blé tendre ou poudre du pain rassis).

✓ **Incinération**

À l'intérieur des creusets et sur la surface de produit, des gouttes de l'alcool éthylique distillé sont placées pour un processus réussi. Le four est préchauffé à une température de 900 °C, les capsules sont placées à l'intérieur avec la porte ouverte, et ici le produit brûle. Une fois le feu éteint, la porte est fermée et le calcul commence à 900°C pendant 1 heure.

Après une heure de temps, l'incinération terminée, faire sortir les creusets et les mettre dans un dessiccateur en verre pendant 45 min et les peser après.

Expression des résultats (NA733/1990)

Le poids des cendres est d'abord calculé en pourcentage de matière humide, puis rapporté à la matière sèche. Le taux de cendres correspond à la proportion de cendres fournie par cent (100) parties de matière sèche.

La Matière tel quel

$$MTQ = \frac{P_2 - P_1}{3} \times 100$$

P_1 = Poids initiale

P_2 = Poids final

MTQ = la matière tel quelle

La Matière sèche

$$MS = \frac{MTQ}{100 - H\%} \times 100$$

MS = la matière sèche

H% = pourcentage de l'humidité du produit

I.3.3. Détermination du taux d'affleurement (Granulométrie) (NA 1828)

Le taux d'affleurement est la quantité de refus obtenus après tamisage de 100 g de farine pendant 5 minutes à travers une série de tamis avec une ouverture de mailles décroissantes ensuite les refus de chaque tamis sont pesés.

Expression des résultats (NA 1828)

$$\text{Taux d'affleurement} : \frac{M_0}{M} \times 100$$

M₀ : masse de refus en gramme.

M : masse de l'échantillon.

NB : masse de refus ne dépasse pas 5g.

I.3.4. Détermination du taux de gluten (Gluten humide : NA 735/19 Gluten sec : NA736)

La teneur en protéine, est une qualité importante des farines, recherchée par les industriels céréaliers pour leur rôle important dans la formation de la pâte. On distingue dans les protéines du blé deux fractions selon leur solubilité dans l'eau. Une fraction insoluble dans l'eau appelée gluten représente 85% des protéines et elle est responsable des qualités rhéologiques (plasticité, extensibilité, élasticités...) de la pâte.

On le dose après séparation manuelle de l'amidon, en pétrissant une petite quantité de pâte sous un filet d'eau. L'amidon est peu à peu entraîné par l'eau et il ne reste finalement qu'une masse compacte blanc crème, souple, extensible, et très élastique.

✓ Mode opératoire

Nous prenons une quantité de 10 grammes de farine et y ajouter 5,5 ml de la solution NaCl, pétrir bien jusqu'à obtenir une pâte homogène que l'on met sous un robinet d'eau (goutte à goutte) pétrisse et enlever l'amidon jusqu'à ce que l'eau devient transparent, on essore la boule de gluten humide entre les mains. Pour obtenir le gluten sec faire entrer la boule de gluten humide dans l'étuve pendant 5 heures/ 130 °C.

Expression des résultats (Gluten humide : NA 735/19 Gluten sec : NA736)

$$\text{Coef d'absorption d'eau} = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

M_h : Masse de gluten humide.

M_s : Masse de gluten sec.

Nb : Les normes de gluten est entre 8g et 12 g.

I.4. Ingrédients et procédé de panification**I.4.1. Ingrédients**

- ✓ **La Farine** : Pour les essais de panification, nous avons utilisé de la farine de blé tendre type 55, de marque **AGRODIV**.

- ✓ **La levure :** La levure boulangère utilisée comme l'agent levant de la pâte est *Saccharomyces cerevisiae*, conditionnée en paquet de 500g, de la marque saf-Instant.
- ✓ **Le sel :** Le sel utilisé dans ce travail, est un sel fin ordinaire de cuisine, iodé, de la marque CHEMSI, conditionné dans des sacs de 1kg.
- ✓ **Eau potable.**

I.4.2. Panification

La préparation des baguettes est faite selon les étapes décrites ci-dessous.

- ✓ **Pétrissage :** On commence par peser les ingrédients de la pâte à pain : farine, eau, levure, sel et la poudre de pain rassis. Dans un récipient, on mélange les ingrédients. Le pétrissage de la pâte est manuel pendant 15 minutes.
- ✓ **Pointage :** La pâte repose pendant 10 min. C'est la première fermentation, et c'est l'étape où les arômes se développent. La levure ou le levain commencent leur travail, le gaz carbonique fait gonfler la pâte et la rend plus élastique. Un réseau de gluten se forme.
- ✓ **Division :** Couper la pâte à la main ou avec un couteau pâtissier. Pour 500 grammes, on divise la pâte en quatre morceaux.
- ✓ **Façonnage :** Nous façonnons les pâtons et leur donnons la forme du pain. Cela se fait à la main.
- ✓ **L'apprêt :** Après mise en forme, la pâte subit une deuxième étape de fermentation. Pendant cette période de repos dans la « chambre de pousse », la pâte triple de volume. C'est l'effet du gaz carbonique qui poursuit son action. Cette étape dure 1h 1h30 min à Température 23 C°.
- ✓ **La cuisson :** préchauffer le four (RBM) pendant quelques minutes puis on met le pain à une température 250C° pendant 20 jusqu'à 30 minutes le pain sera cuit.

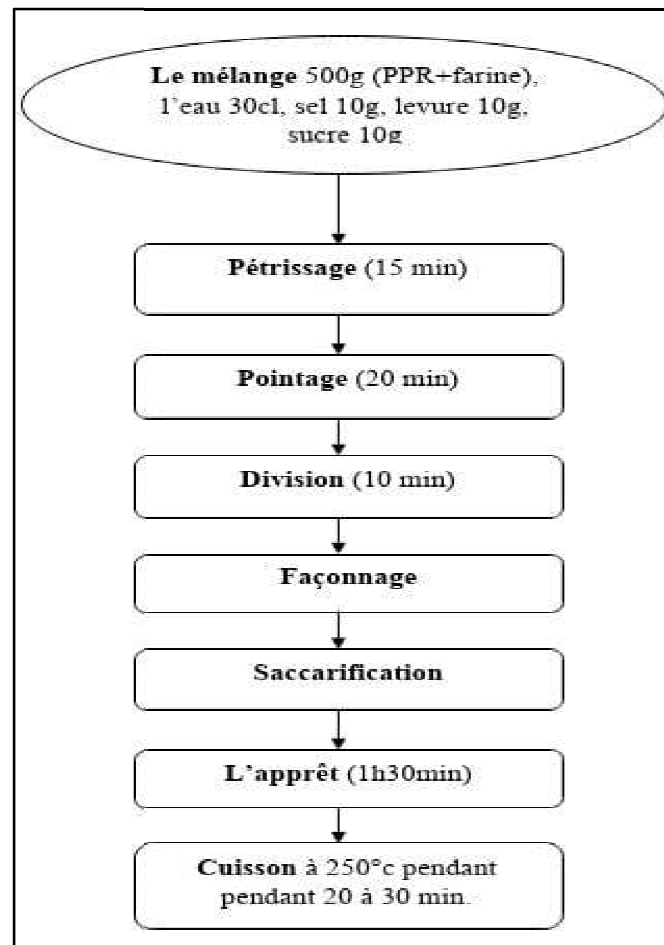


Figure 14 : Etapes de panification



Figure 15 : Le pain produit à partir du mélange des deux farines

I.5. Test sensoriel

Le pain est évalué du point de vue sensoriel après 01 jour de conservation au congélateur. Un panel de dégustateurs constitué de 57 étudiants volontaires est sélectionné. Chaque paneliste reçoit 04 échantillons anonymes (chaque échantillon est codé par un code à trois chiffres) de pain. Les échantillons sont présentés d'une manière homogène : tous les facteurs extrinsèques au produit (température, quantité présentée, récipient...) sont

homogènes. Entre chaque dégustation, le dégustateur doit rincer sa bouche avec de l'eau potable afin d'éliminer le goût résiduel de l'échantillon précédent. La disposition des dégustateurs a été faite de façon qu'il n'y ait pas de communication entre les dégustateurs.

Les échantillons de pain sont analysés en termes de leur aspect et couleur, odeur, dureté, structure de la mie, goût et acceptabilité globale. Chaque attribut est mesuré selon une échelle hédonique allant de 1 (extrêmement désagréable) jusqu'à 9 (extrêmement agréable).

Fiche de dégustation

Vous avez devant vous **04 portions de pains**, remplissez la fiche d'évaluation en donnant pour chaque caractéristique organoleptique la note qui correspond à votre niveau de satisfaction :

1 (extrêmement désagréable) jusqu'à 9 (extrêmement agréable)

Code	P	P	P	P
Paramètre				
Aspect et couleur				
Structure des pores				
Dureté				
Arômes				
Goût				
Acceptabilité globale				

Figure 16 : Fiche de dégustation.

I.6. Analyse statistique

Les résultats sont exprimés sous forme moyenne $\pm$ écart-type. Les résultats de l'analyse sensorielle sont comparés par analyse de variance (ANOVA) avec un seuil de signification $\alpha = 0,05$ à l'aide du logiciel IBM SPSS version 26.

Résultats et discussion

II.1. Taux d'humidité (NA1189 /NA1132)

La teneur en eau des farines ne revêt pas la même importance, selon la fabrication envisagée. Elle est importante en boulangerie et biscotterie, puisqu'elle intervient dans le taux d'hydratation des pâtes (COLAS, 1991).

Les résultats de la détermination du taux d'humidité de la farine commerciale et de la farine du pain rassis (PPR), sont reportés dans la figure ci-dessous :

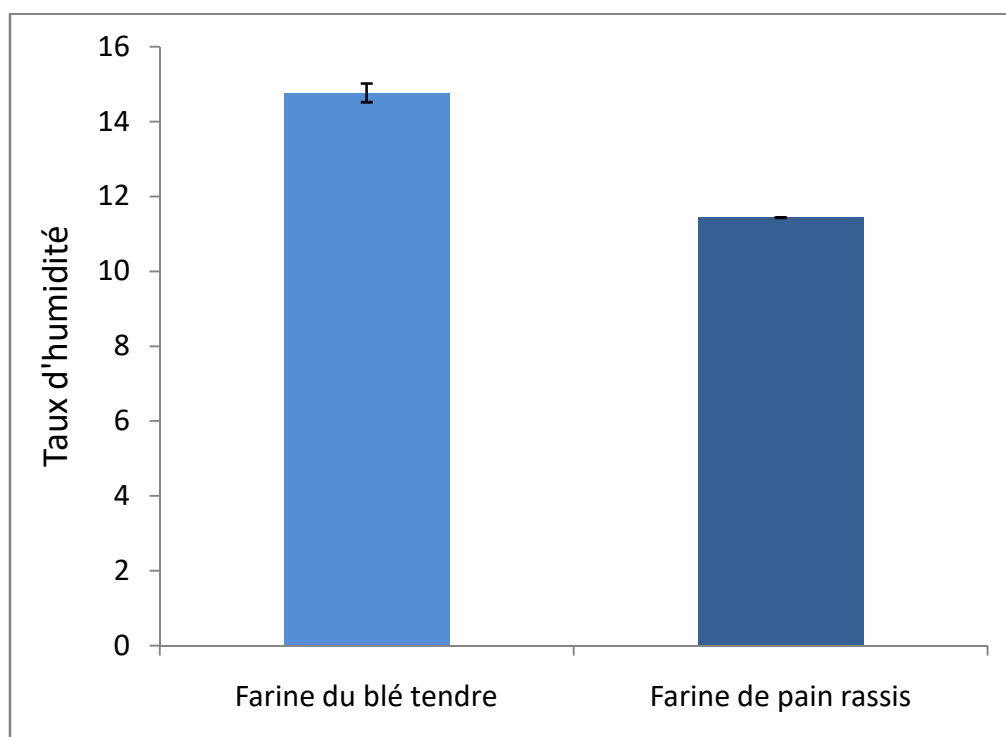


Figure 17: Taux d'humidité de la farine de blé tendre et de farine de pain rassis.

D'après nos résultats, le taux d'humidité de la farine du blé tendre ($14,7 \pm 0,25\%$) est significativement ($P < 0,05$) plus élevé que le taux d'humidité de la PPR ($11,4 \pm 0,01\%$). Ceci est vraisemblablement dû au fait qu'une partie de l'eau de la farine de blé a été perdue lors de la cuisson du pain pendant la panification ce qui donne une poudre plus sèche. Il est à noter que ce résultat favorisera certainement la conservation de la PDR vu qu'une humidité plus réduite limite le développement de la flore d'altération notamment les moisissures et les autres réactions de dégradation d'origine biochimique.

D'autres auteurs, ont essayé de substituer la farine de blé tendre par d'autres poudres végétales notamment la farine des noyaux de datte « Mech-Degla ». Les résultats obtenus lors de notre travail sont proches de ceux trouvés par (ABBES et BENSFIA 2022), vu que l'ajout de (taux d'incorporation 10%) a diminué la teneur en eau de la farine de $13,81 \pm 1,76\%$ à $7,62$

$\pm 0,28$ %. De ce fait, l'incorporation de certaines poudres sèches peut réduire l'humidité totale de la matrice d'incorporation.

II.2. Taux de cendre (NA733/1990)

La connaissance de taux de cendre nous renseigne sur la pureté de la farine. Les éléments minéraux sont inégalement répartis dans le grain. Ils se trouvent en très fortes quantités dans le germe et les enveloppes (VINOGRADOVA, 1981).

Le taux de cendre des farines correspond à la teneur en matières minérales après incinération à 900°C. Les résultats de l'analyse du taux de cendre de la farine du pain rassis et celle commercialisée par AGRODIV sont représentés dans la figure suivante :

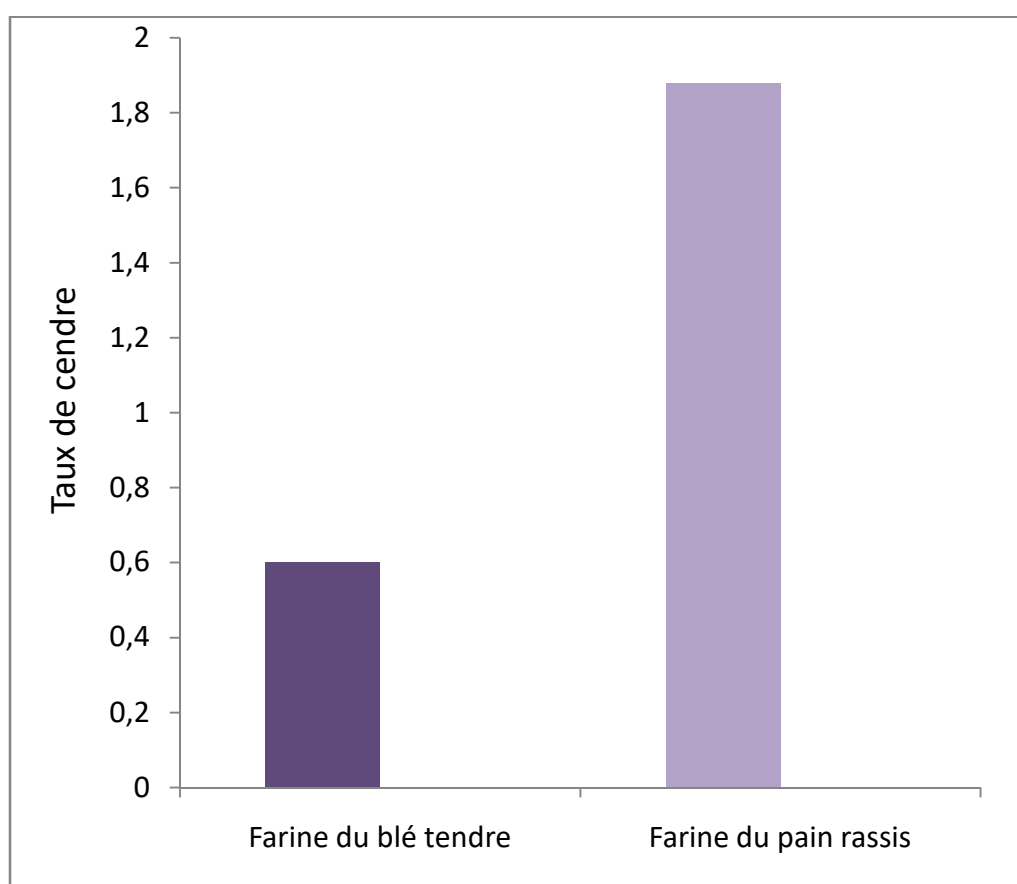


Figure 18 : Taux de cendre déterminé en farine de blé tendre et en farine de pain rassis.

D'après nos résultats, nous remarquons que le taux de cendre de la farine du pain rassis ($1,18 \pm 0,06\%$) est significativement ($P < 0,05$) supérieur que taux de cendre de la farine du blé tendre ($0,6 \pm 0,02\%$). Cela est peut-être dû à la quantité de sel ajoutée à la pâte de pain pendant la préparation.

Le résultat du taux de cendre de la farine du pain rassis est de $1,18 \pm 0,06$ %. Cette valeur est légèrement inférieure à l'intervalle 1,5-2,5 % cité par Feillet (2000).

II.3. Taux de gluten (Gluten humide : NA 735/19 Gluten sec : NA736)

Le gluten représente la fraction protéique des céréales insolubles dans l'eau. Les tableaux ci-dessous nous donnent différents résultats (Tableau VIII), (Tableau IX):

Tableau VIII: Taux de gluten des deux farines

Farine du blé tendre	Gluten humide	24,95%
	Gluten sec	8,85%
Poudre du pain rassis	Gluten humide	Inacceptable
	Gluten sec	Inacceptable

Tableau IX: Taux de gluten de la formule (95% farine commerciale et 5% de la poudre du pain rassis)

95% Farine du blé tendre	Gluten humide	27,2%
5% Poudre du pain rassis	Gluten sec	9,53%

Nous remarquons que les taux du gluten de la farine commercialisée et la farine produite à partir du mélange entre 95% FBT et 5% PPR sont dans les normes qui exigent une valeur comprise entre 8 à 12 % (**Perten et al, 1992**). Le gluten détermine en grande partie les caractéristiques rhéologiques de la farine d'où la nécessité d'avoir un taux de gluten sec de 8 à 10% et une capacité d'hydratation de 67 à 68% pour que la farine soit préconisée en boulangerie (**Bengriche et Tiliouine, 2017**).

II.4. Taux d'affleurement (NA 1828)

La granulométrie d'une farine permet de caractériser la répartition en taille et en nombre des particules dont elle est composée ; le comportement des farines au cours de leur transformation, notamment la vitesse d'hydratation en dépend (Tableau X) (**Feillet, 2000**). La granulométrie peut jouer un rôle important dans la qualité du produit fini, ainsi, la quantité et la vitesse d'absorption d'eau, augmente avec la diminution de la granulométrie des particules (**COLAS, 1991**). Les tableaux ci-dessous représentent les résultats de taux d'affleurement de FBT et PPR en pourcentage.

Tableau X: Taux d'affleurement de la poudre du pain rassis.

Paramètres recherchés		Unités	Résultats	Méthodes
Aspect		/	Poudre	Visuelle
Couleur		/	Blanche	Visuelle
Analyse	granulométrique	%	36,75	Tamiseur électrique «ORTO ALREZA»
(refus 0.25mm)				

Tableau XI: Taux d'affleurement de la farine de blé tendre.

Paramètres recherchés	Unités	Résultats	Méthodes
Aspect	/	Poudre	Visuelle
Couleur	/	Blanche	Visuelle
Analyse granulométrique (refus 0.25mm)	%	0,37	Tamiseur électrique «ORTO ALREZA»

Tableau XII: Taux d'affleurement 95%PPR et 5% FBT.

Paramètres recherchés	Unités	Résultats	Méthodes
Aspect	/	Poudre	Visuelle
Couleur	/	Blanche	Visuelle
Analyse granulométrique (refus 0.25mm)	%	98,07	Tamiseur électrique «ORTO ALREZA»

Les résultats montrent une différence entre le refus de la PPR qui est supérieur que le refus de la FBT car le diamètre des molécules de la poudre du pain rassis est plus grand que celui de la farine du blé tendre. Pour obtenir une poudre de pain très fine telle que la farine, il est recommandé de moudre le pain manuellement avant de le placer dans le broyeur

La mouture du blé en farine se fait dans les usines, à l'aide d'énormes machines dédiées à la mouture du blé (broyeur à marteaux, broyeur à cylindres...), qui sont leaders pour en faire une poudre très fine. Quant à la poudre de pain rassis, elle était broyée par de simples machines ménagères (broyeur) qui ne pouvaient atteindre le degré de précision des usines. Ceci explique la différence de dimensions des grains de FBT et des grains de PPR.

II.5. Propriétés sensorielles

L'objectif de l'évaluation sensorielle des aliments est la détermination des propriétés sensorielles ou organoleptiques des aliments, c'est-à-dire leurs activités sur les divers récepteurs sensoriels céphaliques stimulés avant et pendant leur ingestion, et la recherche des préférences ou aversions pour ces aliments que déterminent ces propriétés sensorielles (**FELIX et STRIGLER, 1998**). L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité des produits alimentaires. Aucun instrument ne peut reproduire ou remplacer la réaction humaine, ce qui fait que l'élément «évaluation sensorielle» de toute étude alimentaire est essentiel (Tableau XI): (**WATTS *et al.*, 1991**).

Les valeurs moyennes enregistrées pour chaque attribut lors de l'analyse sensorielle sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau XIII: Scores des différents pains après l'analyse sensorielle.

Caractère	Pain Témoin	P1	P2	P3
Aspect et couleur	6,38±1,79 ^a	6,61±1,67 ^a	5,47±1,80 ^b	4,74±2,21 ^c
Structure des pores	6,75±1,52 ^a	6,36±1,68 ^a	5,23±1,70 ^b	4,61±1,96 ^c
Dureté	5,98±1,83 ^a	5,83±2,21 ^a	5,00±1,97 ^b	4,62±2,11 ^b
Arôme	5,39±2,41 ^a	5,65±2,34 ^a	4,91±2,27 ^a	4,86±2,86 ^a
Goût	5,96±2,00 ^a	6,07±1,80 ^a	5,19±1,84 ^b	4,96±1,88 ^b
Acceptabilité globale	6,02±2,04 ^{ab}	6,25±1,86 ^a	5,35±1,68 ^{bc}	4,72±2,07 ^c

Les différences significatives ($P < 0,05$) entre les valeurs de la même ligne sont indiquées par les différentes lettres.

Les résultats du test hédonique ont révélé que la substitution de la farine de blé par la farine du pain rassis, à des taux supérieurs à 5 %, modifie la majorité propriétés sensorielles tandis qu'elle n'engendre pas de modification significative d'arôme, ceci n'est pas surprenant du fait que la farine de substitution n'est autre que la farine du pain donc elle contient et libère les mêmes composés volatiles que le pain. Selon **Langraf (2002)**, 250 composés volatils sont responsables de l'arôme du pain. Les substances aromatiques, elles, se développent généralement sous l'action de la chaleur, lors de la cuisson et surtout dans la partie qui forme la croûte (caramélisation, réaction de Maillard).

En revanche, l'analyse statistique des résultats suggèrent que l'ajout de la poudre du pain à des taux supérieurs à 5% a modifié significativement ($P < 0,05$) le goût et donne un pain moins savoureux avec des scores nettement inférieurs à ceux du pain témoin. Cependant, les panelistes ont jugé que ces pains (P2 et P3) restent quand même acceptables et bon. Ce résultat peut être la conséquence de la substitution de la farine. D'après **Langraf (2002)**, la farine est le premier facteur qui influence sur le goût, selon ses caractéristiques de taux de cendres et de teneur en protéines.

Il est à noter que le pain contenant 15% de poudre de pain rassis a été le pain le moins aimé par rapport au contrôle et au P1 sauf pour l'odeur. Il est évident que l'augmentation du taux de chapelure ajoutée rend la structure des pores moins agréables ce qui peut être dû à un défaut de fermentation et/ou de gonflement de la pâte du fait d'un changement dans sa composition en protéines et à leur propriétés rhéologiques (élasticité et plasticité). Dans les

qualités organoleptiques d'un pain, celles de la mie sont souvent mises en avant (**Langraf, 2002**).

Dans une étude similaire, **Meral et Karaoğlu (2020)** rapportent que l'ajout de la farine du pain rassis dans la panification à des proportions très élevées (30 et 45%) résulte en une baisse significative des qualités organoleptiques. Par ailleurs, la substitution à 10 et 15 % donnent des pains plus durs que le PT et le P1 ($P < 0,05$).

Il est à noter également que les différents taux de substitution étudiés lors de ce travail donnent globalement, un pain acceptable vu que le mauvais score était de $4,72 \pm 2,07$ ce qui correspond dans l'échelle d'appréciation aux descripteurs agréable. Dans une étude sur l'incorporation de la poudre du pain rassis sur les propriétés physiques et sensorielles des chips, **Yuksel et Kayaceir (2016)** ont mentionné que cette poudre peut être ajoutée comme ingrédient sans répercussions négatives sur les chips.

L'ensemble de ces résultats, nous a permis de considérer le pain contenant 5% de poudre de pain rassis comme étant la meilleure formulation du point de vue hédonique par rapport aux autres pains contenant le pain rassis. Ces résultats suggèrent que l'incorporation de la farine du pain rassis ne pose pas de problème sur le plan organoleptique qui est très important dans ce type de produits. Ainsi, l'utilisation du pain rassis pour la fabrication de farine pour l'utilisation dans la panification peut être une piste intéressante pour la valorisation de ce déchet.

Conclusion

L'objectif principal de ce travail est la valorisation du pain rassis non consommé. Il est, malheureusement, très connu que le pain reste la denrée alimentaire la plus gaspillée en Algérie et que d'énormes quantités partent chaque jour aux déchets voir à la poubelle. Ce phénomène est probablement dû au prix abordable de la baguette et à l'absence de la conscience chez certains consommateurs mais aussi au fait que le pain perd rapidement sa qualité commerciale et organoleptique.

Notre travail vise donc l'exploitation de cet aliment non consommé afin de le réutiliser pour la fabrication du pain en l'ajoutant à la farine de panification. Il s'agit d'une étude de l'impact de cette addition sur les propriétés technologiques et sensorielles.

A cet effet, trois pourcentages de la farine de pain rassis ont été testés (5%, 10% et 15%) dans des essais de panification afin d'estimer l'aptitude technologique de cette poudre. Par ailleurs, le pain produit a fait l'objet d'une évaluation hédonique dans le but d'estimer son acceptabilité.

Les résultats obtenus ont montré que la farine, obtenue en mélangeant 5% de la poudre de pain rassis et 95% de farine commerciale, possède des propriétés physicochimiques acceptables (taux d'humidité, taux de cendre et taux de gluten) ce qui constituera sûrement un avantage pour son utilisation alimentaire et culinaire notamment en panification.

Nous concluons alors que le pain contenant 5% de poudre de pain rassis a présenté la meilleure acceptabilité du point de vue sensoriel et technologique par rapport aux autres pains contenant cette poudre. Ainsi, l'utilisation du pain rassis pour la préparation de farine et son application dans la panification peut être une piste intéressante pour la valorisation durable de cette denrée alimentaire et pour éviter son gaspillage.

Références bibliographiques

A

1. **ABBES Sabah et BENSFIA Ismahene, (2022)** mémoire d'effet d'incorporation de la poudre des noyaux de datte « Mech-Degla » dans la farine de blé tendre, 2022, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A, 27p.
2. **ALEXIS DROGBA SAHORÉ, (2010)** Propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des tubercules et Amidons d'igname (Dioscorea), IDD.N. FR. 010. 0115854. 000. R. P. 2010.030.31500.
3. **ADJOUMAN Y. D. (2014).** Propriétés filmogènes des gels d'amidon natif d'igname.Mémoire Master. Université Nanguiabrogoua .
4. **ARMAND B., et GERMAIN M., (1992).** Le Blé: éléments fondamentaux et transformation. (Ed) Presses université Laval, 188p.
5. **ATWELL W.A., (2001).**Wheat flou. Eaganpress, Minnesota. USA, 129p Production mondiale de blé : <https://www.fao.org/home/fr>Consulté 2023.
6. **ANONYME 1:**Production mondiale et nationale de blé : (2023)<https://fr.statista.com/> 20/04/2023.
7. **ANONYME 2:**production mondiale et nationale de blé : (2023) <https://www.atlasbig.com> consulter le /25/04/2023.
8. **ANONYME 3:**Production mondiale et nationale de blé (2023), <https://www.agenceecofin.com/cereales/0610-101795-algerie-la-production-de-ble-pourrait-grimper-a-3-3-millions-de--en-202tonnes2/2023> consulter le 28/04/2023.
9. **ANONYME 4 : (2023)** <https://www.cuisinedaubery.com/les-types-de-farine-quelle-farine-pour-quel-usage> consulter le 18/05/2023.
10. **ANONYME05 : (2022)** <https://www.cdn.maghrebinfo.dz/2022/08/14/les-algeriens-deuxieme-consommateurs-de-pain-dans-le-monde/> consulter le 31/5/2023 .
11. **ANONYME06 : (2021):**<https://lecarrefourdalgerie.dz/900-millions-de-baguettes-de-pain-jetes-chaque-annee-gaspillage-a-grande-echelle/> consulter le 31/5/2023.
12. **ANONYME07: (2003):** Institut national de la boulangerie pâtisserie. Le goût du pain. Les nouvelles de la boulangerie pâtisserie. Supplément technique. INPB. P: 15-16. Consulter le 10/5 2023.
13. **ANONYME 08 : Production mondiale de l'amidon (2023)** <https://www.mordorintelligence.com> / 23/05 /2023.
14. **ANONYME09:**2009grainscanada.gc.ca/fr/qualite-grains/classement-des-grains/facteurs-de-classement/facteurs-de-classement-du-ble-canadien/grains-germes-et-grains-fortements-germes.html, 5.

B

15. **BANKS, W., GREENWOOD, C.T., (1975).**Starch and its components. Wiley, New York,4.
16. **Bendaoud A. (2014)** Fluide supercritique et liquide ionique comme plastifiants de polymèreBio sources : application à l'amidon et à l'acétate de cellulose. Thèse doctorat. Université jean Monnet.

17. **Bengriche T & Tiliouine N. (2017).** Analyses physico-chimiques et technologiques des farines issues du moulin de « Baghlia ». Mémoire de master en Contrôle de Qualité et Nutrition en Agro-alimentaire. Université M'Hamed Bougara Boumerdès. 54 p.
18. **BERLAND S. ET ROUSSEL P., (2005).** Qualité technologique. Document de École Nationale Supérieure de Meunerie et des Industries Céréalières (ENSMIC), Surgères, France.
19. **BERNARD BOURSIER (2005).** Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. Division des applications, Société ROQUETTE, 8, 9, 10, 11.
20. **BORNET, F., CLOAREC, D., GOUILLOU, S., CHAMP, M., COLONNA, P., BARRY, J., GALMICHE, J., (1990).** Amidons indigestibles: digestibilité in vitro et aspects nutritionnels chez l'homme Sain. Gastroenterologie Clinique et Biologique, 10.
21. **BOUDROUX L. (1897)** Le Pain et la panification. Chimie et technologie de la boulangerie et de la meunerie. Paris: Iris, 1897, 196-198.

C

22. **CALVEL R, (1980),** La boulangerie moderne, Ed Egrolle. France. P22-25.
23. **CHRISTIAN CABROL P.B.M., (2006) :** Pain Et Nutrition (Ed. 1^{er} Edition). Observatoire Du Pain Badrani S. (2015). La sécurité alimentaire en Algérie, Institut national des études stratégiques globales, El Mountada Forum, 38p.
24. **CODEX. STAN (1985).** Norme Codex Pour La Farine De Blé. Codex Standard 152-1985. 1985, P. 4. Collectif (2001).
25. **COLAS, A. (1991)** Définition de la qualité des farines pour différentes utilisations. In : Les industries de première transformation des céréales. Ed. Tec et Doc. Lavoisier, Paris, 1991, pp. 578-589.
26. **CRUCEAN DIONA, (2019).** Intérêt du chlorure de choline pour la réduction du sel dans le pain. Relations structure-propriétés et acceptabilité sociétale. Thèse de Doctorat. Université de Nante.

D

27. **DJERMOUN A (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques, Nature et technologie n°01, pp45-53.

28. **DOUMANDJI A., DOUMANDJI S.E.ET DOMANDJI B. (2003).** Cours de technologie des Céréales. Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock. Office des publications universitaires. Pp : 44-59.
29. **DOUMANDJI A., DOUMANDJI S., DOUMANDJI M B. (2003)** Technologie de transformations des blés et Problèmes dus aux insectes au stock « cours de technologie des céréales ». Alger: office des Publications universitaires,.126.
30. **DRAPRON R., BEAU Y., CORMIER M., GEFFROY J.ET ADRIAN J. (1974).**Répercussion de L'action de la lipoxxygenase en panification. Destruction des acidesgras essentiels à l'état Libre. Altération du goût du pain. Ann. Tech. Agric. 23 : 353-353.
31. **DRAPRON R., POTUS J., LAPLUME F., POTUS, P. (1999).** Notre pain quotidien. Edition AGP, Paris.

E

32. **Eliasson, A. C. and G. Svensson (1995).** "Thermal behaviour of wheatstarch in flour Relation To flourquality." LebensmittelWissenschaftund Technologie 28(2): 227-235.

F

33. **FEILLET PIERRE, (2000).**Le grain de blé : composition et utilisation. Ed. INRA, paris, 308p.
34. **FELIX D. et STRIGLER F. (1998).** Evaluation sensorielle : manuel méthodologique. Lavoisier,Paris, 353p.
35. **FINNEY K.F., YAMAZAKI W.T., YOUNG V.L., RUBENTHALER G.L. (1987)** 10quality of hard soft and durumWheats. 2e éd. USA: ACSESS, 1987. P 677.
36. **FREDOT E. (2009)** Connaissance des aliments « Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique ». 2 e Ed, Paris : Lavoisier, 2009. P 210-215.

G

37. **GALLIARD, T. AND P. BOWLER. (1987).**« Morphology and composition of starch. » In : Galliard, T. (Ed.) Starch : properties andpotential. Critical reports on appliedchemistry. John Wiley and Sons, Chichester, GB, 13: 55-78.
38. **GARCIA, R. (2000).** Etude de trois systèmes enzymatiques d'oxydoréduction – catalase, Peroxydase et glucose oxydase – pris isolément et en mélange, susceptibles d'intervenir en Technologie de la panification. Thèse de Biochimie, Option Sciences alimentaires, Université Paris 7.
39. **GODON B. (1983).** Le pain. Imprimé de presse. Paris. P: 20.
40. **Godon, B. (1991).** "Biotransformation des produit céréaliers." Apria Inra Tec et DocLavoisier.

J

41. **JEANTET R., CROGUENEC T., SCHUCK P. ET BRULÉ G. (2007).** Science des aliments. Biochimie. Microbiologie. Procédés. Produits. Edition. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. 2 : 140-179.
42. **JEAN-LOUIS SCHLIENGER, (2014)** (Nutrition clinique pratique Chez l'adulte et l'enfant) N°29 Ed : rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex.
43. **JENKINS, P. J., R. E. CAMERON, A. M. DONALD, W. BRAS, G. E.DERBYSHIRE, G. R. MANT and A. J. RYAN. (1994).** « In situ simultaneous small angle wide-angle X-ray scattering: a new Technique to study starch gelatinization. » Journal of Polymer Science 32: 1579-1583.
44. **JOURNAL OFFICIEL N°36, (1991):** décret exécutif n°91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain.
45. **JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE (1992) N°= 02.1992.**Décret exécutif N°= 91-572 Du 3 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain. 3: P 45.
46. **JUNG, AHAN, S.T. LIM. (2004).** Structural changes in corn starches during alkaline Dissolution by vortexing Carbohydrate polymers, 55,193-199.

L

47. **LADRAA N. (2012)** Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien. Ecole Nationale Supérieure d'agronomie El-Harrache. Alger, 2012. P39-43.
48. **LANGRAF, F. (2002).** Produits et procédés de panification. Techniques de l'ingénieur. 6-180.
49. **LANDGRAF F. (2002).** Produits et procédés de panification. Techniques de l'ingénieur. 12p.
50. **Lapent J_P, 1992.** Les produits et substrats de la panification. In la microbiologie de la fermentation panaria. Agro Alimentaire information, n°8 : 3-13. Ed, C.D.I.U.P.A. (ministère de l'agriculture).

M

51. **MEHMET et WEBB, MELIKOGLU, COLIN, (2013).** Use of waste bread to produce fermentation products. In: KOSSEVA, MARIA R. et WEBB, COLIN (éd.), Food industry wastes : Assessment and recuperation of commodities. San Diego: Academic Press. pp. 6376. ISBN 978-0-12-391921-2.
52. **MORRISON, W. R. (1990)** Swelling and gelatinisation of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. Cereal Chem. 67, 551–557.
53. **MOSINIAK M., PRAT R., ROLAND J.C. (2018)** Du blé au pain. 2018.

N

54. **NICOLAS, J. (1978).** Effets de différents paramètres sur la destruction des pigments caroténoïdes de la farine de blé tendre au cours du pétrissage. Ann. Technol. Agric. 27(3): 695-713.

- 55. NICKET.G, LASSERAN, (1989):**Guide pratique, stockage et conservation des grains à la ferme.

P

- 56. Perten, H., Bondesson, K., and Mjorndal, A. (1992).** Cereal Foods World, 37:655-660.FND: Farine des noyaux de dette.
- 57. PILLON ET MAZERAND, 1988,** les céréales (encyclopédie des techniques agricoles), N°25,Ed,saita,Paris.
- 58. PRESTON, K.R. (1981).**Effect of neutralsaltsonwheat gluten proteins properties. I. Relationship betweenhydrophobicproperties of gluten and theirextractability and turbidity in Neutralsalts. CerealChem. 58: 317-324.

R

- 59. REVEY R. (2005).** Levures biologiques alimentaireset poudres levantes. F 4600. Techniques de l'Ingenier.
- 60. RIZKALLA S.W., LAROMIGUIERE M., CHAMP M., BRUZZO F., BOILLOTJ., SLAMA G. (2006).**Effect of Bakingprocess on postprandial metabolicconsequences: randomized trials in normal and Type 2 diabeticsubjects. Eur. J. Clin. Nutr., 61, 175-183.
- 61. ROMAIN J., THOMAS C., PIERRE S., GERARD B., (2007).** Science des aliments: Biochimie-microbiologie-procédés-produits. Lavoisier, Paris, 449p.
- 62. RONDA F., RODRIGUEZ-NOGALES J., SANCHO D., OLIETE B., GOMEZM., (2007).**Multivariate optimisation of a capillary electrophoreticmethod for the separation of Glutenins. Application to quantitative analysis of the endospermstorageproteins in Wheat.FoodChemistry, vol. 108, p.p. 287–296.
- 63. ROUSSEL, PHILIPPE et HUBERT, CHIRON, (2002).** Les pains français : Evolution, qualité, production. 1ère. Vesoul: MAÉ-ERTI Editeurs. ISBN 2 84601 6933.
- 64. ROUDAUT H., LEFRANCQ, (2005).** Alimentation théorique. France: Doin, P153-154.

S

- 65. SURGET A. et BARRON C, (2005),** Histologie du grain de blé. Industrie des céréales, n. 145, pp. 4-7.
- 66. SURGET, CÉCILE BARRON, (2005),** article Histologie du grain de blé Anne, Industries des céréales, 3-7.

V

- 67. VINOGRADOVA, A. (1981)** Guide des travaux pratiques sur le contrôle technico-chimique du blé et ces dérivés. Institut national des industries légères. Boumerdes, 1981, pp. 1-31.

W

- 68. WATTS B.-M., YLIMAKI G.-L., JEFFERY L.-E, & ELIAS L.-G. (1991).** Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ottawa, Canada. ISBN : 0-88936-569-5.

Y

- 69. YUKSEL F, KAYACIER A. (2016).** Utilization of stale bread in fried wheat chips: response surface methodology study for the characterization of textural, morphologic, sensory, some physicochemical and chemical properties of wheat chips. LWT-Food Sci Technol;67:89–98.

Annexes

Annexes

Registre de Paillasse 2023 MOIS D'AVRIL :

Détermination du taux d'humidité : Début : 9.50 Fin : 11.20 Date : 19/4/2023

Produit	N°de nacelle	Valeur 1	Valeur 2	Résultats%	Moyenne
Farine de blé tendre	20	27.3313	31.6041	14.54	14.50%
	14	27.4181	31.6905	14.55	
Poudre de pain rassis	9	27.4505	31.8785	11.44	11.44%
	4	27.4406	31.8681	11.45	

Détermination du taux de cendre : Début : 11 :00 Fin : 12.00 Date : 20/04/2023

Produit	Valeur 1	Valeur 2	Matière tel quel (MTQ)	Matière sèche (MS)	Moyenne
Farine de blé tendre	28.7524	28.7688	0.55	0.64	0.64 %
	32.2096	32.2262	0.56	0.65	
Poudre de pain rassis	29.5565	29.5873	1.03	1.17	1.22%
	32.5035	32.5375	1.13	1.27	

Détermination du taux d'humidité : Début : 9.40 Fin : 11.10 Date : 25/04/2023

Produit	N°de nacelle	Valeur 1	Valeur 2	Résultats%	Moyenne
Farine de blé tendre	12	27.4123	31.6650	14.95	14.99%
	17	27.4006	31.6494	15.02	
Poudre de pain rassis	13	27.4014	31.8309	11.41	11.42%
	11	27.4015	31.8306	11.42	

Détermination du taux de cendre : Début : 10.35 Fin : 11.35 Date : 26/04/2023

Produit	Valeur 1	Valeur 2	Matière tel quel (MTQ)	Matière sèche (MS)	Moyenne
Farine de blé tendre	29.5679	29.5846	0.56	0.65	0.63%
	31.7009	31.7165	0.52	0.61	
Poudre de pain rassis	28.7990	28.895	1.02	1.15	1.15%
	25.7904	25.8211	1.02	1.15	

Annexes

Détermination du taux de gluten : Début : 10.00 Fin : 15.00 Date : 19/04/2023

Produit		Valeurs
Farine de blé tendre	Gluten humide	24.95
	Gluten sec	8.85
Poudre de pain rassis	Gluten humide	Inacceptable
	Gluten sec	

Détermination du taux de gluten : Début : 10.00 Fin : 15.00 Date : 25/04/2023

Produit		Valeurs
Farine de blé tendre	Gluten humide	24.05
	Gluten sec	8.67
Poudre de pain rassis	Gluten humide	Inacceptable
	Gluten sec	

Annexes

Registre de Paillasse 2023 Mois de juin :

Détermination du taux d'humidité : Début : 13:36 Fin : 15:06 Date : 07/06/2023

Produit	N°de nacelle	Valeur 1	Valeur 2	Résultat %	Moyenne
95% Farine du blé tendre	7	27,3707	31,6657	14,1	14%
5% Poudre de pain rassis	1	27,3227	31,6283	13,88	

Détermination du taux de cendre : Début : 10:30 Fin : 11 :30 Date : 08/06/2023

Produit	Valeur 1	Valeur 2	Matière tel quel(MTQ)	Matière sèche(MS)	Moyenne
95% Farine du blé tendre	31,0389	31,0551	0,54	0,62	0,62%
5% Poudre de pain rassis	31,0347	31,0510	0,54	0,62	

Détermination du taux de gluten : Début : 12 :00 Fin : 16 :00 Date : 07/06/2023

Produit	Valeurs%
95% Farine du blé tendre	Gluten humide 27,2
5% Poudre de pain rassis	Gluten sec 9,53

Les tableaux de l'analyse sensorielle et Résultats statistiques

Tableau I : Résultats statistiques pain 1

Dégustateur	Code	Pain 1					
		100% Farine du blé tendre					
		Aspect et couleur	Structure des pores	Dureté	Arômes	Goût	Acceptabilité globale
1	331	4	3	5	6	5	6
2	239	4	5	7	2	5	7
3	237	6	7	7	7	8	7
4	236	5	6	8	4	4	7
5	235	8	7	6	6	8	8
6	233	8	4	5	3	4	1
7	234	7	8	8	9	5	7
8	639	7	7	6	6	5	3
9	636	6	8	5	7	6	6
10	637	8	9	9	8	9	9
11	634	7	6	5	7	5	7
12	338	7	9	9	9	9	9
13	334	8	6	7	6	6	6
14	336	4	8	4	7	7	7
15	335	8.5	8	5	9	9	8
16	333	7	7	8	6	8	7
17	332	3	5	7	1	6	5
18	137	6	6	6	6	6	6
19	137	3	7	6	7	7	7
20	138	7	6	6	7	6	7
21	133	7	8	5	7	4	4
22	136	7	8	7	7	8	8
23	135	5	4	5	1	5	6
24	133	5	4	4	3	5	3
25	132	4	5	4	1	6	4
26	131	7	8	5	3	2	2
27	635	6	6	6	2	4	4
28	633	8	6	7	7	8	7
29	538	5	8	6	2	5	5
30	539	7	4	2	2	4	2
31	134	6	4	4	5	5	3
32	631	5	8	3	4	7	1
33	533	6	7	9	9	9	8
34	632	7	6	6	5	6,5	7
35	535	8	7	6	9	8	8
36	534	4	6	7	8	8	8
37	537	8	8	4	3	4	5
38	536	8	8	8	7	8	8
39	532	8	7	5	8	7	7
40	439	8	9	6	5	5	7
41	436	5	6	2	4	1	3
42	438	8	9	9	8	8	8
43	437	7	7	7	5	5	6
44	434	9	9	8	5	5	7
45	531	3	5	5	3	4	5
46	238	3	6	2	1	2	3
47	432	2	7	4	6	2	6
48	433	7	5	5	2	3	5
49	339	8	8	5	8	8	8
50	337	7	7	5	6	5	5
51	431	8	8	8	9	9	7
52	334	8	8	8	8	7	8
53	732	9	8	5	6	6	6
54	638	8	7	5	5	5	5
55	232	5	7	7	1	8	7
56	231	5	6	9	1	7	8
57	731	9	9	9	8	8	9
MOYENNE		6,33928571	6,666666667	5,8979592	4,916667	5,7638889	6,01754386

Tableau II : Résultats statistiques pain 2

Dégustateur	Code	Pain 2					
		95% Farine du blé tendre 5% farine du pain					
		Aspect et couleur	Structure des pores	Dureté	Arômes	Goût	Acceptabilité globale
1	341	7	5	3	5	7	6
2	249	5	3	5	4	3	5
3	247	8	6	7	7	8	6
4	246	5	6	8	4	4	7
5	245	2	4	4	5	6	7
6	243	6	9	1	9	8	8
7	244	9	8	5	9	5	8
8	649	7	8	6	7	7	7
9	646	8	7	8	8	7	8
10	647	9	8	5	8	8	9
11	644	5	3	8	5	8	8
12	348	9	9	9	9	5	9
13	344	6	7	6	7	7	7
14	346	8	6	9	8	8	9
15	345	8	8	6,5	9	9	8
16	343	8	7	8	6	8	7
17	342	7	8	8	1	5	7
18	847	5	6	2	5	6	6
19	147	7	7	7	7	8	7
20	148	8	7	8	7	7	8
21	143	6	8	8	9	4	5
22	146	6	5	7	7	7	6,5
23	145	6	5	3	1	4	6
24	143	8	7	3	5	6	5
25	142	3	4	7	1	6	3
26	141	6	7	4	7	4	3
27	645	6	2	6	6	7	6
28	643	5	5	8	5	8	7
29	548	4	4	2	4	5	5
30	549	8	8	9	7	8	9
31	144	7	5	2	5	4	3
32	641	8	9	5	5	5	5
33	543	5	8	9	9	9	8
34	642	8	7,5	5	5	8	6
35	545	6	5	6	7	6	6
36	544	5	5	7	8	9	8
37	547	5	5	3	5	5	6
38	546	8	7	7	4	6	7
39	542	8	6	6	7	6	6
40	449	6	5	8	8	7	7
41	446	6	4	3	5	3	2
42	448	6	5	4	4	6	6
43	447	5	6	5	2	3	5
44	444	8	8	8	5	5	7
45	541	7	7	6	2	2	1
46	248	3	5	2	1	4	4
47	442	7	8	2	6	5	7
48	443	8	5	4	6	5	6
49	349	8	8	8	8	5	6
50	347	8	9	6	5	5	7
51	441	3	6	8	3	3	1
52	344	7	8	7	7	7	8
53	742	9	7	7	5	6	7
54	648	8	7	5	6	6	6
55	242	8	5	4	2	5	4
56	241	7	7	7	1	9	7
57	741	8	8	8	9	9	8
Moyenne		6,61403509	6,66666667	5,979167	6,619048	6,571429	6,75

Tableau III : Résultats statistiques pain 3

Dégustateur	Code	Pain 3					
		90% Farine du blé tendre 10% farine du pain					Acceptabilité globale
		Aspect et couleur	Structure des pores	Dureté	Arômes	Goût	
1	351	6	7	6	5	6	4
2	259	3	4	6	4	3	4
3	257	5	5	5	6	5	6
4	256	6	5	6	5	3	4
5	255	4	5	4	4	4	5
6	253	1	1	1	2	2	1
7	254	4	4	8	5	4	5
8	659	5	5	5	7	5	6
9	656	7	6	4	2	2	4
10	657	5	7	6	8	6	7
11	654	4	3	5	8	7	6
12	358	6	5	8	9	4	7
13	354	5	6	5	6	5	6
14	356	6	7	3	2	2	5
15	355	9	5	5	9	7	6
16	353	7	7	8	6	8	7
17	352	6	6	6	2	4	6
18	857	7	7	7	7	8	7
19	157	5	6	2	5	6	6
20	158	5	4	6	3	4	4
21	153	5	7	9	2	4	6
22	156	8	7	8	7	8	8
23	155	3	5	4	1	4	5
24	153	4	2	4	6	4	6
25	152	7	7	5	1	6	6
26	151	5	6	3	6	5	4
27	655	5	5	8	8	9	8
28	653	5	2	5	5	5	5
29	558	4	4	3	4	5	5
30	559	7	4	3	3	4	3
31	154	3	4	3	4	3	2
32	651	6	5	8	6	5	6
33	553	4	4	5	5	5	5
34	652	5	4	4	4	3	3
35	555	8	7	7	8	8	8
36	554	8	4	5	8	8	7
37	557	3	5	5	3	5	4
38	556	5	5	5	5	7	5
39	552	8	6	4	7	7	6
40	459	5	5	6	4	6	5
41	456	5	2	2	1	3	2
42	458	9	9	9	9	9	9
43	457	6	5	5	4	4	5
44	454	5	4	7	5	4	5
45	551	6	5	4	6	7	7
46	258	3	4	2	1	5	5
47	452	4	5	3	6	3	5
48	453	4	4	4	4	7	5
49	359	5	6	2	5	5	3
50	357	8	8	4	6	5	5
51	451	2	4	5	4	3	3
52	354	6	6	7	7	6	7
53	752	9	4	4	5	5	5
54	658	8	8	4	6	7	7
55	252	4	4	3	1	3	3
56	251	6	9	2	1	6	8
57	751	8	8	8	7	8	8
Moyenne		5,473684211	5,333333333	4,97959184	4,9122807	5,192982456	4,375

Tableau IV : Résultats statistiques pain 4

Dégustateur	Code	Pain 4					
		85% Farine du blé tendre 15% farine du pain					
		Aspect et couleur	Structure des pores	Dureté	Arômes	Goût	Acceptabilité globale
1	361	5	6	6	6	5	6
2	269	4	5	2	3	4	5
3	267	4	5	5	6	7	6
4	266	4	4	5	5	3	5
5	265	3	5	2	4	3	4
6	263	9	5	9	8	8	7
7	264	4	4	5	5	4	4
8	669	2	4	5	6	3	3
9	666	8	5	6	7	6	6
10	667	5	7	6	7	6	7
11	664	3	7	4	6	6	7
12	368	6	5	8	9	4	7
13	364	5	5	5	7	7	6
14	366	5	7	3	2	2	5
15	365	8	4	3	9	4	5
16	363	7	7	8	6	8	7
17	362	5	3	4	6	7	7
18	867	7	7	6	7	7	7
19	167	6	6	6	6	6	6
20	168	2	3	4	7	7	2
21	163	4	5	7	3	6	1
22	166	7	7	8	7	8	8
23	165	4	5	2	1	3	4
24	163	2	1	2	3	3	2
25	862	5	6	6	1	7	6
26	161	4	3	6	3	6	3
27	665	5	8	1	5	2	2
28	663	2	1	5	2	5	5
29	568	7	5	4	6	7	8
30	569	5	5	3	3	3	3
31	164	4	4	2	5	4	2
32	661	1	2	9	9	6	9
33	563	3	3	2	2	2	2
34	662	4	3	3.5	3	5	5
35	565	8	6	8	9	8	9
36	564	8	4	7	7	7	5
37	567	1	2	8	5	6	5
38	566	2	4	4	4	4	4
39	562	7	5	3	8	4	4
40	469	5	4	6	3	6	4
41	466	2	1	1	2	2	2
42	468	2	1	2	5	7	5
43	467	3	2	3	5	5	4
44	464	5	4	4	4	4	4
45	561	3	4	2	5	6	4
46	268	3	5	4	1	2	3
47	462	8	8	3	3	5	6
48	463	4	5	4	4	4	3
49	369	2	3	5	2	2	1
50	367	7	7	2	5	4	3
51	461	2	2	6	3	2	1
52	364	6	4	7	7	6	6
53	762	7	4	4	4	4	4
54	668	8	8	6	6	7	7
55	262	2	2	2	2	2	1
56	261	9	9	4	1	5	6
57	761	7	7	6	7	7	6
Moyenne		4,736842105	5,19047619	4,6041667	4,8596491	4,96491228	5

Abstract

Bread plays a major role in ensuring food security and is consumed by most people almost all over the world. Unfortunately, bread waste is a major issue, particularly in Algeria, where approximately 900 million baguettes are wasted each day. Staling is one of the most prevalent reasons of bread waste, which causes important economic losses. Stale bread valorization presents a sustainable solution. In this study, different amounts of stale bread flour (5, 10, and 15 %) were incorporated to replace wheat flour in bread preparation. Sensory analysis was performed using a nine-point hedonic scale to evaluate the impact of flour substitution on various organoleptic characteristics (color, pore structure, hardness, aroma, taste, and overall acceptability) of the bread breaded pending on. The Bread samples were evaluated by a panel of 57 semi-trained students from the University of Boumerdes. The results indicated that the incorporation of 5% of the stale bread flour did not have a negative effect of any of the sensory characteristics compared to the control ($P > 0,05$). However, the incorporation of 10% and 15% of stale flour decreased all score attributes scores except the aroma of the bread compared to the control. Overall, this preliminary work on the transformation of stale bread waste to flour and then its use to bread preparation, at the level of 5%, showed that it is feasible, and the produced bread has the same sensory characteristics as the control. Therefore, bread preparation could be an interesting way to valorize stale bread and to recycle this huge global waste.

Keywords: Stale bread; Waste; Valorization; Flour substitution; sensorial analysis.

خلاصة

يلعب الخبز دوراً رئيسياً في ضمان الأمن الغذائي ويستهلكه معظم الناس في جميع أنحاء العالم تقريباً. لسوء الحظ ، تعتبر نفايات الخبز مشكلة كبيرة ، لا سيما في الجزائر ، حيث يتم إهدار ما يقرب من 900 مليون باكييت كل يوم. يعتبر التعثر من أكثر أسباب إهدار الخبز انتشاراً ، والذي يتسبب في خسائر اقتصادية كبيرة. يقدم تثمين الخبز الذي لا معنى له حلاً مستداماً. في هذه الدراسة ، تم إدخال كميات مختلفة من دقيق الخبز القديم (5 ، 10 ، 15٪) لتحل محل دقيق القمح في تحضير الخبز. تم إجراء التحليل الحسي باستخدام مقياس المتعة من تسع نقاط لتقييم تأثير استبدال الدقيق على الخصائص الحسية المختلفة (اللون ، بنية المسام ، الصلابة ، الرائحة ، الطعم ، والمقبولية العامة) للخبز اعتماداً على الخبز. تم تقييم عينات الخبز من قبل فريق من 57 طالباً شبه مدربين من جامعة بومرداس. أشارت النتائج إلى أن إضافة 5٪ من دقيق الخبز البائت لم يكن له تأثير سلبي على أي من الصفات الحسية مقارنة بالشاهد ($P < 0.05$). ومع ذلك ، فإن إدراج 10٪ و 15٪ من الدقيق الذي لا معنى له أدى إلى انخفاض جميع درجات صفات الدرجات باستثناء رائحة الخبز مقارنة بالشاهد. بشكل عام، أظهر هذا العمل التمهيدي حول تحويل مخلفات الخبز القديم إلى دقيق ثم استخدامه لإعداد الخبز، عند مستوى 5٪، أن ذلك ممكن، وأن الخبز المنتج له نفس الخصائص الحسية مثل التحكم. لذلك، يمكن أن يكون إعداد الخبز طريقة مثيرة للاهتمام لتقدير الخبز القديم وإعادة تدوير هذه النفايات العالمية الضخمة.

الكلمات الدالة: خبز قديم؛ يضيع؛ تثمين؛ استبدال الدقيق؛ التحليل الحسي.

Résumé

Le pain joue un rôle majeur dans la sécurité alimentaire et est consommé par la plupart des gens presque partout dans le monde. Malheureusement, le gaspillage de pain est un problème majeur, notamment en Algérie, où environ 900 millions de baguettes sont gaspillées chaque jour. Le rassissement est l'une des causes les plus courantes de gaspillage de pain, ce qui entraîne des pertes économiques importantes. La valorisation du pain rassis présente une solution durable. Dans cette étude, différentes quantités de farine de pain rassis (5, 10 et 15 %) ont été incorporées pour remplacer la farine de blé dans la préparation du pain. L'analyse sensorielle a été réalisée à l'aide d'une échelle hédonique en neuf points pour évaluer l'impact de la substitution de la farine sur diverses caractéristiques organoleptiques (couleur, structure des pores, dureté, arôme, goût et acceptabilité globale) du pain en fonction du pain. Les échantillons de Pain ont été évalués par un panel de 57 étudiants semi-formés de l'Université de Boumerdes. Les résultats ont indiqué que l'incorporation de 5% de la farine de pain rassis n'a eu d'effet négatif sur aucune des caractéristiques sensorielles par rapport au témoin ($P > 0,05$). Cependant, l'incorporation de 10% et 15% de farine rassis a diminué tous les scores des attributs sauf l'arôme du pain par rapport au témoin. Globalement, ce travail préliminaire sur la transformation des déchets de pain rassis en farine puis son utilisation en panification, à hauteur de 5%, a montré que c'est faisable, et que le pain produit a les mêmes caractéristiques sensorielles que le témoin. Par conséquent, la préparation du pain pourrait être une voie intéressante pour valoriser le pain rassis et recycler cet immense déchet mondial.

Mots clés : pain rassis ; déchet ; valorisation ; substitution de la farine ; analyse sensorielle

