REPUBLIQUE ALGERIENNE DE MORATIQUEET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIRURE ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Médéa

Faculté des sciences

Département de science de la nature et de la vie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie

Spécialité : *Microbiologie Appliquée*

Thème :

Essai d'élaboration d'un levain naturel en vue de son utilisation dans la fabrication du pain

Présentée par :

- NAILI Aya
- BENAYAD Fella

Soutenue publiquement le …… ……devant le jury :

Nom et prénom	*Garde*	*Statut*	*Etablissement*
Mme **CHAOUATI.K**	MAA	Président	Université de Médéa
Mme **BOUCHIBANE.M**	MCB	Examinatrice	Université de Médéa
Mme **BOUMEDIENE.F**	MCB	Promotrice	Université de Médéa
Mme **KHELOUIA.A**	MAA	Co promotrice	Université de Médéa

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Avant de commencer le développement de cette expérience professionnelle, il nous semble important de débuter ce projet de fin d'études par des remerciements.

Nous remercions tout d'abord DIEU, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force, la santé, l'intelligence et la patience pour mener à bien nos études et finaliser ce travail.

« Alhamdoulillah »

À toutes les personnes qui nous ont tant appris au cours de ce projet, ainsi qu'à celles qui ont contribué, par leur gentillesse, à faire de cette expérience un moment enrichissant, nous adressons nos plus vifs remerciements.

Nous tenons particulièrement à remercier ***Madame Boumedian Farida****, notre promotrice, pour sa grande disponibilité, sa rigueur, son enthousiasme et son soutien moral, qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous lui sommes également reconnaissants pour l'esprit d'entraide dont elle a toujours fait preuve à notre égard, ainsi que pour ses précieux conseils qu'elle a sus nous transmettre avec une grande patience.*

Nous remercions également ***Madame Kadi Amina****, d'avoir accepté, avec bienveillance, d'encadrer ce projet. Nous lui exprimons notre profonde gratitude pour ses conseils avisés, ses encouragements constants et ses orientations pertinentes. Nous saluons également l'esprit d'entraide qu'elle a manifesté à notre égard, ainsi que la patience dont elle a fait preuve lors de la correction du manuscrit.*

Nos sincères remerciements vont aussi à ***Madame Chaouati Karima*** *et* ***Madame Bouchibane Malika,*** *membres du jury, pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail. Leur regard critique, leurs remarques constructives et leur implication témoignent de leur professionnalisme et de leur engagement envers les étudiants.*

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants et enseignantes du département de Biologie et Écologie de l'Université Yahia Fares de Médéa, pour les connaissances qu'ils nous ont transmises tout au long de notre parcours universitaire.

Un grand merci à tous les membres du laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences pour leur accueil chaleureux, leur soutien et leurs conseils techniques qui ont grandement contribué à la réalisation de ce projet.

Nous n'oublions pas nos camarades de promotion, avec qui nous avons partagé des moments d'entraide, de travail et d'amitié.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à nos familles, en particulier à nos parents, pour leur amour, leurs prières, leur soutien inconditionnel et leur patience tout au long de ce parcours.

Aya et Fella

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail, avant toute chose, à mes chers parents ***Naili Youcef*** *et* ***Belkacem Malika****, en reconnaissance pour toutes les années de sacrifice et de dévouement. Je prie Dieu de leur accorder santé, bien-être et longue vie.*

À toi, mon père, qui as toujours cru en moi et m'as toujours encouragée à donner le meilleur de moi-même.
À toi, ma mère, qui m'as appris que la persévérance finit toujours par porter ses fruits, qui as cru en moi et m'as offert la plus noble des éducations.

À mes chers frères ***Ahmed*** *et* ***Krimo****, ainsi qu'à mes sœurs* ***Aïcha****,* ***Ranya*** *et* ***Maram****, pour leur amour et leur soutien inconditionnels.*

À mon cher oncle ***Bouzid,*** *je te remercie sincèrement pour ton soutien, tes précieux conseils et ta présence constante. Je t'adresse cette dédicace avec toute ma reconnaissance*

À celui qui a été mon pilier tout au long de cette année universitaire, qui m'a accompagnée dans les moments de joie comme dans les épreuves,
À mon cher ***Abderrezak****, je t'exprime ma profonde reconnaissance pour ta présence constante, ton encouragement et ton appui moral. Grâce à toi, j'ai pu avancer avec confiance et sérénité.*

Une mention spéciale à mon amie chère ***Fella Ben Ayad****, pour sa gentillesse, son engagement et son soutien sans faille. Ta présence à mes côtés a été un réel réconfort à chaque étape.*

Et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce projet, je vous dis, du fond du cœur : ***merci infiniment****.*

Aya

Dédicaces

C'est un honneur pour moi de dédier ce modeste travail, accompli grâce à l'aide
***d'Allah**, Le Tout-Puissant, à la lumière de mes jours,*
à la source de mes efforts, à ma vie et à mon bonheur :
mon cher père.
Aucun mot ne saurait exprimer l'amour, le respect et la profonde reconnaissance que je te porte. Je prie Dieu de t'accorder la santé et une longue vie.

À ma chère maman,
Merci pour ton amour sans limite, ton soutien de tous les jours et tous les sacrifices que tu as faits en silence.
Ta présence m'a toujours donné du courage et de la force.
C'est grâce à toi que j'ai pu affronter les difficultés et profiter des chances qui se sont présentées à moi dans la vie.

À ma famille,
Merci à mes frères, mes sœurs et les plus jeunes de notre foyer pour votre amour, votre force et votre présence précieuse.
Vous êtes le socle sur lequel j'ai bâti mon parcours.

À mes amies,
Aya, Imane, Aïcha, Salma, Asma et Safaa : merci pour votre soutien, vos encouragements et votre bienveillance.
Votre amitié a illuminé ce chemin.

*Et enfin, **à moi-même,***
Pour avoir cru en mes capacités, surmonté chaque obstacle avec détermination, et travaillé avec persévérance pour atteindre mes objectifs.

Fella

Résumé

Le pain est un aliment de base traditionnel dans toutes les cultures, perçu comme un aliment sacré, compagnon des temps difficiles, moteur de révoltes, et produit stratégique de première importance. La fermentation au levain naturel constitue l'une des plus anciennes biotechnologies alimentaires et occupe toujours une place centrale dans la fabrication du pain et des produits de boulangerie. Le présent travail vise à élaborer un levain naturel à partir de farine d'orge et de blé tendre complet en vue de son utilisation dans la fabrication du pain. L'objectif principal est d'évaluer la qualité sensorielle et des levains obtenus, ainsi que leurs effets sur les caractéristiques du pain final. Les levains ont été développés selon un protocole d'activation et de rafraîchissements pendant dix jours, au terme duquel une stabilité microbiologique a été observée. Les analyses ont révélé la présence de levures du type *Saccharomyces spp*, *Candida* spp et de bactéries lactiques du genre *Lactobacilles.* Les pains réalisés ont ensuite été soumis à une évaluation sensorielle et à une enquête auprès des consommateurs. Les résultats ont montré une préférence pour le pain au levain de blé complet, apprécié pour sa texture légère et son goût équilibré, tandis que le pain à base d'orge a séduit par son caractère rustique et sa valeur nutritionnelle. En somme, l'utilisation de levains naturels constitue une alternative prometteuse pour la panification artisanale, offrant un produit sain, fermenté naturellement, et apprécié sur les plans nutritionnel et organoleptique.

Mots clés :

Levain naturel, bactéries lactiques, levures, pain d'orge, pain de blé tendre complet.

Résumé

Abstract

Bread is a traditional staple food in all cultures. It is regarded as a sacred food, a companion through difficult times, a catalyst for revolts, and a strategic product of primary importance. Natural sourdough fermentation is one of the oldest food biotechnologies and still holds a central place in the production of bread and bakery products today. This work aims to develop a natural sourdough starter using barley flour and whole soft wheat flour for bread making. The main objective is to evaluate the sensory quality of the obtained starters, as well as their effects on the characteristics of the final bread. The starters were developed following an activation and refreshment protocol over ten days, after which microbiological stability was observed. Analyses revealed the presence of yeasts such as *Saccharomyces spp, Candida* spp., and lactic acid bacteria of the genus *Lactobacilli,* with no detection of molds or pathogenic germs. The breads produced were then subjected to sensory evaluation and consumer surveys. Results showed a preference for whole wheat sourdough bread, appreciated for its light texture and balanced taste, while the barley-based bread was favored for its rustic character and nutritional value. In summary, the use of natural sourdough starters represents a promising alternative for artisanal bread making, offering a healthy, naturally fermented product appreciated both nutritionally and organoleptically.

Keywords: Natural leaven, lactic acid bacteria, yeasts Whole soft wheat bread, Barley bread.

Résumé

الملخص

الخبز هو طعام أساسي تقليدي في جميع الثقافات، يُنظر إليه كغذاء مقدس، ورفيق في الأوقات الصعبة، ومحرك للثورات، ومنتج استراتيجي ذو أهمية قصوى. تُعدّ عملية التخمير باستخدام الخميرة الطبيعية من أقدم التقنيات البيو تكنولوجية الغذائية، ولا تزال تحتل مكانة مركزية في صناعة الخبز ومنتجات المخابز. يهدف هذا العمل إلى تحضير خميرة طبيعية انطلاقًا من دقيق الشعير ودقيق القمح الطري الكامل، بغرض استخدامها في صناعة الخبز. يتمثل الهدف الرئيسي في تقييم الجودة الميكروبيولوجي والحسية للخمائر الناتجة، وكذلك دراسة تأثيرها على خصائص الخبز النهائي.

تم تطوير الخمائر وفقًا لبروتوكول تفعيل وإنعاش لمدة عشرة أيام، تم خلالها ملاحظة استقرار ميكروبيولوجي. أظهرت التحاليل وجود خمائر من نوع **Saccharomyces spp** و**Candida spp**، بالإضافة إلى بكتيريا حمض اللبنية من جنس **Lactobacillés**. بعد ذلك، خضعت أرغفة الخبز المُحضّرة لتقييم حسي وتحقيق ميداني لدى المستهلكين.

أظهرت النتائج وجود تفضيل لخبز القمح الكامل، الذي حظي بإعجاب المستهلكين بفضل قوامه الخفيف ومذاقه المتوازن، في حين أن خبز الشعير جذب الانتباه بطابعه الريفي وقيمته الغذائية العالية.

وبشكل عام، يُعد استخدام الخمائر الطبيعية بديلاً واعدًا في صناعة الخبز التقليدي، إذ يقدّم منتجًا صحيًا، مُخمّرًا بطريقة طبيعية، ويحظى بتقدير من الناحية التغذوية والحسية.

الكلمات الدالة :

الخميرة الطبيعية، بكتيريا حمض اللاكتيك، الخميرة، خبز القمح الطري الكامل، خبز الشعير



Table des matières

Table des matières

Table des matières :

Résumé ***5***

Abstract 6

الملخص 7

Table des matières : ***1***

Liste d'abréviations 9

Introduction ***1***

Chapitre I : Généralités ***5***

Pain **5**

1.1. Historique 5

1.2. Définition 6

1.3. Consommation 6

1.4. Évaluation de technique de fabrication de pain 6

2. Orge et ses caractéristiques **7**

2.1. Description 7

2.2. Structure 8

2.3. Composition chimique algérienne de l'orge 9

2.4. Transformation de l'orge en farine 9

a) Nettoyage du grain ***9***

b) Décorticage (optionnel) ***9***

c) Broyage ou mouture ***10***

d) Tamisage (optionnel) ***10***

e) Stockage ***10***

3. Farine de grain d'orge **10**

3.1. Définition 10

3.2. Composition biochimique et physico-chimique de la farine 10

3.3. Types des farines 11

Table des matières

4. Blé tendre et ses caractéristiques 11

4.1. Description 11

4.2. Classification botanique du blé tendre 12

4.3. Structure 12

4.4. Composition chimique des différentes parties du grain de blé 13

4.5. Transformation du blé tendre en farine 13

5. Farine de blé tendre 14

5.1. Définition 14

5.2. Composition biochimique de la farine : 14

5.3. Caractéristiques physico – chimiques de la farine de blé tendre 14

5.4. Types de farines 15

Chapitre II : levain naturel 17

1. Levain 17

1.1. Définition générale 17

1.2. Caractérisation sensorielle de l'activité du levain 17

1.3. Types de levains 18

1.3.1. Le levain liquide 18

1.4. Facteurs influençant l'activité du levain 19

1.5. Caractéristiques nutritionnelles du levain 20

1.6. Valeur nutritionnelle du levain 22

2. Microbiologie du levain 22

2.1. Les bactéries lactiques du levain 23

2.2. Autres actions métaboliques des bactéries lactiques et des levures : 27

2.3. Effets et phases de la fermentation 27

2.4. Des effets technologiques et d'environnement 28

2.5. Le levain final et sa stabilité 28

2.6. Fermentation et microorganisme fermenteurs du levain 29

3. Conservation du levain 30

3.1. Techniques pour les longues durées 31

Table des matières

a) La déshydratation *31*

b) La congélation *32*

4. Panification du pain **32**

4.1. Les étapes de panification 32

Chapitre III : matériel et méthodes *37*

1. Objectif du travail **37**

2. Lieu stage **37**

3. Matériel utilisé **37**

4. Préparation du levain liquide **37**

4.1. Élaboration du levain liquide 37

4.2. Rafraichissement du levain 40

5. Isolement des bactéries lactiques **40**

5.1. Milieu d'isolement 40

5.2. Préparation des solutions mère 40

5.3. Repiquage des souches 41

6. Identification de bactéries lactiques **42**

6.1. Examens macroscopiques 42

6.2. Examens microscopiques 42

6.3. Test de catalase 42

6.4. Test d'oxydase 43

7. Isolement des souches levuriennes **43**

7.1. Milieu d'isolement 43

7.2. Préparation des dilutions 43

7.3. Repiquage des souches 43

7.4. Purification des souches levuriennes 43

7.5. Conservation des souches levuriennes 44

8. Identification des levures **44**

8.1. Caractéristiques morphologiques 44

Table des matières

8.2. Caractéristiques physiologiques 45

9. Mise en évidence des activités enzymatiques 45

9.1. Préparation du milieu pour la détection de l'activité uréasique 45

9.2. Ensemencement du bouillon d'urée pour la détection de l'uréase 46

9.3. Révélation 46

10. Panification au levain liquide 46

10.1. Étapes de la panification au levain 47

10.2. L'analyse sensorielle du pain 51

10.3. Conduite des expériences 52

10.4. Fiche d'évaluation sensorielle du pain au levain à base de farine d'orge et de blé tendre complet. 52

Chapitre IV : résultats et discussion 54

1. Caractéristiques du levain naturel 54

2. Identification des isolats de bactéries lactiques 58

2.1. Examen macroscopique 58

2.2. Examen microscopique 59

2.3. Test de catalase 60

2.4. Test d'oxydase 60

3. Identification des isolats de levures 61

3.1. Caractéristiques morphologiques 61

3.2. Caractéristiques physiologiques 66

3.3. Mise en évidence des activités enzymatiques 68

4. La panification au levain naturel 70

4.1. Appréciations de la qualité des pains 70

4.2. Résultat Analyses sensorielles 71

4.3. Résultats du test de dégustation 73

Conclusion 79

References 82

Table des matières

Annexes..... *94*

Table des matières

Liste des tableaux

Tableau 1: Caracteristique physico-chimique de la farine de grain d'orge . 10
Tableau 2: Composition chimique du grain de blé . 13
Tableau 3: Caractéristiques physico-chimique de la farine de blé tendre complet . 15
Tableau 4: Types de farines par rapport au taux de cendre, humidité et taux d'extraction . 15
Tableau 5:qualificatifes donné à un levain selon ses propriétés et caractéristiques sensorielles . 17
Tableau 6: Composition nutritionnelle moyenne pour 100 grammes de levain . 22
Tableau 7:Les lactobacilles présents dans le levain-chef. 24
Tableau 8: Composition moyenne des levure . 25
Tableau 9: Liste de matières premier. 37
Tableau 10: Formulation du levain liquide à base de farine d'orge. 38
Tableau 11: Formulation du levain liquide à base de farine de blé tendre complet. 38
Tableau 12: Ingrédients pour le rafraichissement du levain à base de farine d'orge. 40
Tableau 13: Ingrédients pour le rafraichissement du levain à base de farine de blé tendre complet. 40
Tableau 14: Formulation du pain au levain. 46
Tableau 15: Manifestation du levain pendant 30 jours à base de farine d'orge et de blé tendre complet. 55
Tableau 16: Caractères culturaux des souches de levures isolées sur milieu YPG liquide. 62
Tableau 17: Caracteres culturaux des souches de levures isolées après une culture de 3 jours sur YPGA à 25°C 63
Tableau 18: Caractères morphologique des souches de levures isolées cultivées pendant 3 jours à 25°C dans YPGA. 64
Tableau 19: Mode de reproduction des levures. 65
Tableau 20: Résultats du test de fermentation de différents sucres par les isolats de levures (+ : présence ; - : absence). 67
Tableau 21: analyse sensorielle du pain au levain à base de farine d'orge et de farine de blé tendre complet. 73
Tableau 22:Récapitulatif des résultats de test de dégustations obtenus sur les pains. 74

Table des matières

Liste des figures

Figure 1: Pain égyptien ancien . 5
Figure 2: Grain d'orge avec sections transversales agrandies. 8
Figure 3: Structure du grain de blé. 12
Figure 4: Levain liquide . 18
Figure 5: Levain dur. 18
Figure 6: Une molécule d'acide phytique. 20
Figure 7: La méthode des pellicules fines . 31
Figure 8: Le pétrissage. 33
Figure 9: Shima représentatif de la fermentation du gluten durant le pétrissage. 33
Figure 10: Le pointage. 34
Figure 11: Le façonnage . 34
Figure 12: D'élaboration du levain liquide. 39
Figure 13: isolement des bactéries lactique à partir de farine d'orge et blé tendre complet. 42
Figure 14: Diagramme de fabrication du pain au levain. 47
Figure 15: étape de frasage (l'origine). 48
Figure 16:Pétrissage manuel du pain d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine). 48
Figure 17: Le pointage de la pâte à base de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine) 49
Figure 18: étape du boulage (l'origine). 49
Figure 19: La détente des pâtons à base de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine). 50
Figure 20: Incision des pâtons fermentés à base de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine). 50
Figure 21: Levain deuxième jour (l'origine). 55
Figure 22: Levain liquide troisième jour (l'origine). 56
Figure 23: Levain liquide quatrième jour (l'origine). 56
Figure 24: Levain liquide 5^{éme} jour (l'origine). 57
Figure 25: Levain liquide 10^{éme} au 30^{éme} jour (l'origine). 57
Figure 26: Aspect des bactéries lactiques sur gélose MRS isolées à partir de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B). 58

Table des matières

Figure 27: Aspect de la culture de bactéries lactiques dans le bouillon MRS. _____59
Figure 28: Aspect microscopique de bactéries observés dans les levains à base de farine d'orge(A) et de blé tendre complet (B) après coloration de Gram (G×100). _____59
Figure 29: Aspect microscopique de levure observés dans le levain à base de farine d'orge (A) et blé tendre complet (B) après coloration de bleu méthylène (G×100). _____66
Figure 30: Résultat du test de fermentation._____67
Figure 31: Résultat du test à l'uréase des souches levuriennes isolées des levains à base de farine d'orge (D) et de blé tendre complet (B). _____68
Figure 32: pain au levain élaboré à partir de farine d'orge et de blé tendre complet. _____72
Figure 33: Histogramme des résultats de l'analyses de la couleur des pains au levain. _____74
Figure 34: Histogramme de l'analyse de la texture des pains au levain. _____75
Figure 35: Histogramme des résultats de l'analyse de l'odeur des pains au levain _____76
Figure 36: Histogramme des résultats de l'analyse de l'alveolage des pains au levain. _____76
Figure 37: Histogramme d'analyse statistique du paramètre sensoriel (gout de la pâte) des différents pains au levain. _____77

Table des matières

Liste d'abréviations

ATP : adénosine triphosphate

ADP : adénosine di phosphate

BL : bactérie lactique

GAP : glycéraldéhyde-3- phosphate

NADH : nicotinamide adenine dinucleotide

TSE : Tryptone - sel – eau

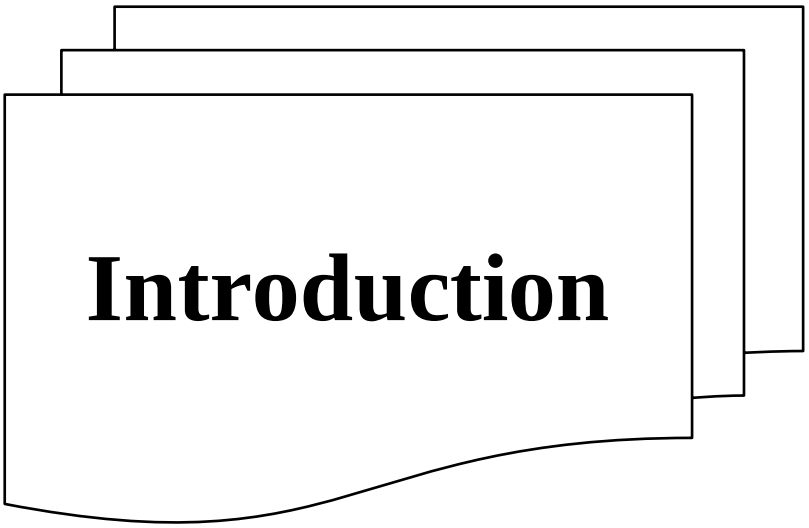
UFC : unité format colonie.

YGC: yeast extract glucose chloramphenicol.

YP: yeast pepton

YPGA: yeast –peptone -glucose –agar

PH : potentiel hydrogène


Introduction

Introduction

Les aliments fermentés occupent une place prépondérante dans l'alimentation, la fermentation contribuant de manière significative au développement des caractéristiques organoleptiques telles que la saveur et la texture **[1], [2].**

En se limitant aux fermentations résultant de l'activité des micro-organismes, deux types de procédés peuvent être distingués : la fermentation contrôlée, impliquant l'utilisation de cultures starters, et la fermentation spontanée, qui repose sur les microflores naturellement présentes dans l'environnement. De nombreux aliments fermentés traditionnels, notamment en Afrique, sont élaborés par fermentation naturelle, sans ajout de cultures spécifiques**[2], [3], [4], [5]**. La nature de la matière première utilisée influence la composition microbiologique des aliments fermentés, en modulant la diversité et la dynamique des microbiotes impliqués dans la fermentation**[6].**

Parmi la vaste gamme de produits fermentés, le pain occupe une place particulièrement significative en Algérie, ayant longtemps constitué un aliment de base jusqu'au siècle dernier. Il demeure aujourd'hui un symbole profondément enraciné dans notre histoire et notre identité. Le levain naturel en est un exemple emblématique ; il s'agit d'un mélange de farine de blé ou d'orge, de sel et d'eau potable, soumis à une fermentation lente, durant entre 24 et 48 heures, sous l'action combinée de levures et de bactéries lactiques naturellement présentes dans la farine **[7].** La majorité des recherches scientifiques consacrées à la biotechnologie du levain ont émergé à partir des années 1990. Les premières études se sont principalement intéressées aux effets technologiques du levain, notamment sur la saveur, les propriétés rhéologiques, la durée de conservation du pain, ainsi qu'aux interactions microbiennes au sein de ces écosystèmes complexes**[8].** Actuellement, l'amélioration de la qualité et de la sécurité des aliments suscite un intérêt croissant. En conséquence, la demande des consommateurs pour des produits peu transformés et exempts d'additifs chimiques ne cesse d'augmenter. Dans ce contexte, le levain naturel, utilisé comme inoculum dans la fabrication du pain, représente une alternative prometteuse**[9]**.Le levain présente des caractéristiques particulièrement avantageuses, notamment en ce qui concerne l'amélioration du goût et la prolongation de la conservation du pain**[10].**

La fabrication du pain au levain revêt une forte dimension symbolique. S'engager dans cette 'culture' revient à développer une conscience aiguë de l'observation et à apprivoiser une

matière vivante, avec toute la complexité que cela implique. Mieux connaître les matières premières utilisées, affiner ses perceptions intuitives, évaluer la fermentation par l'odorat, analyser la structure de la pâte par le toucher, maîtriser la température, ajuster la dose d'inoculum, et contrôler la durée de maturation sont autant de gestes techniques qui exigent une attention constante et un savoir-faire quotidien**[11] .** Dans ce contexte, une question centrale se pose :

Dans quelle mesure l'utilisation de levain naturel influence-t-elle les caractéristiques organoleptiques et sensorielles d'un pain de qualité, en comparaison avec les méthodes de panification conventionnelles ?

Ce travail s'inscrit dans cette dynamique et a pour objectifs :

- ✓ La fabrication d'un pain de qualité à base de levain naturel
- ✓ L'étude microbiologique du levain naturel
- ✓ L'évaluation sensorielle du pain obtenu

Partie I

Étude bibliographique

Chapitre I
Généralités

Chapitre I : Généralités

Pain

1.1.Historique

Il est difficile de déterminer à quelle époque remonte l'art de faire du pain. La culture du blé constitue l'une des premières expressions de la civilisation. Toutefois, ce n'est qu'à un stade avancé de développement intellectuel que les hommes ont su transformer cette céréale en pain. Fait remarquable, l'art de la panification ne s'est généralement pas transmis d'un peuple à l'autre : chaque civilisation l'a redécouvert indépendamment, en suivant des étapes similaires, liées au niveau de progrès culturel. Ce lien est d'autant plus visible dans les régions où la panification a disparu à la suite d'un déclin intellectuel. Par exemple, les Gaulois et les Espagnols, qui savaient faire le pain grâce aux Phocéens avant la conquête romaine, perdirent cet art après l'invasion des barbares. L'art de la panification s'est ainsi développé progressivement dans de nombreuses sociétés : les céréales furent d'abord consommées crues, puis broyées pour former une bouillie, qui évolua en pâte épaisse cuite sous forme de galettes non fermentées. L'introduction du levain, probablement initiée par les Chinois, permit ensuite d'obtenir un pain plus léger et savoureux. Les Hébreux connaissaient déjà cette technique à l'époque d'Abraham, comme l'atteste la distinction faite dans la Genèse entre le pain levé et le pain azyme. À l'époque de Moïse, l'usage du levain est clairement mentionné, bien que les Hébreux, lors de leur fuite d'Égypte, aient dû se contenter de pains sans levain. Les Grecs et les Romains utilisaient quant à eux un levain préparé avec du son et du moût de raisin fermenté, qu'ils faisaient sécher au soleil pour le conserver. À l'époque de Pline, on gardait le levain d'un jour à l'autre, comme cela se fait encore aujourd'hui. Des fours de boulanger, très similaires aux nôtres, ont même été retrouvés à Pompéi. Ainsi, si l'art de faire le pain est très ancien, les connaissances scientifiques permettant d'en améliorer les procédés sont, en revanche, relativement récentes et encore incomplètes **[12].**



Figure 1: Pain égyptien ancien **[13]**.

1.2.Définition

Depuis des millénaires, le pain est un composant vital de l'alimentation humaine, et cela depuis bien plus longtemps ; à notre époque où les mets facilement transportables et prêts à manger dominent nos pratiques alimentaires. Il est principalement composé de farine, de sel, de sucre, d'arômes et d'autres ingrédients facultatifs tels que les agents améliorants. Quelques marchands malhonnêtes utiliseraient des produits non conseillés à la consommation pour augmenter leur profit. Le bromate de potassium est souvent cité parmi ces améliorants indésirables **[14].**

Le pain est produit en combinant une farine de qualité avec de l'eau, ce qui permet d'agglomérer les particules de farine. On y ajoute du sel, qui rehausse le goût et améliore la qualité de la pâte, ainsi qu'un agent biologique : la levure. Après le pétrissage, suivent une première fermentation, la division de la pâte en portions, le façonnage des pâtons, une seconde fermentation, puis une cuisson appropriée. Ce processus doit aboutir à un produit esthétique, bien développé, avec une croûte légèrement fissurée, dorée et croustillante, ainsi qu'une mie souple, élastique et bien aérée. Sa couleur est blanc crème, son arôme agréable, et son goût à la fois séduisant et appétissant **[15].**

1.3.Consommation

Selon la FAO et la Fédération Mondiale des Boulangers, l'Algérie détient le taux de consommation de pain le plus élevé au monde, avec 48,6 millions de pains consommés quotidiennement, principalement du pain blanc. Ce fort apport en amidon, combiné à de mauvaises habitudes alimentaires, est lié à une prévalence élevée de l'obésité, particulièrement chez les femmes, selon une étude de TAHINA (2005) **[16].**

1.4.Évaluation de technique de fabrication de pain

Il devrait être possible d'améliorer progressivement la qualité nutritionnelle de nombreux aliments transformés, qui contiennent beaucoup d'ingrédients purifiés ou trop raffinés, grâce à des formulations plus performantes **[17].**

Les développements dans la fabrication du pain au cours des 30 dernières années ont été à la fois vastes et diversifiés, couvrant les ingrédients, les processus de mélange, les méthodes de développement de la pâte et les équipements de transformation, en particulier en termes d'automatisation et de la gamme de produits de boulangerie disponibles pour le consommateur **[18]**.

1.4.1. Ingrédients

Le terme « pain » désigne une large gamme de produits variant par la recette, le procédé, le poids, la forme et le degré de cuisson **[18].** Cependant, ils utilisent les mêmes quatre éléments fondamentaux : « la farine, le levain, l'eau et le sel » **[19].**

1.4.1.1.Farine

La farine, élément central du pain, influence fortement son coût. Il est également essentiel de réduire la teneur en sel, d'abaisser l'index glycémique souvent élevé et d'améliorer la tolérance digestive du pain **[17], [18].**

1.4.1.2.Levain

Le levain est un mélange de farine et d'eau qui est laissé à fermenter et alimenté régulièrement (par l'ajout de farine et d'eau) jusqu'à ce qu'il devienne le « levain chef » ; l'utilisation de levain améliore les qualités sensorielles du produit final **[19].**

1.4.1.3.Eau

L'eau hydrate les protéines de la farine et est en partie absorbée par l'amidon, notamment l'amidon endommagé, formant ainsi une phase aqueuse dans la pâte. Cette phase contient des substances solubles telles que les sucres, le sel et les protéines solubles, et elle permet la dispersion des cellules de levure **[18]**.

D'autres ingrédients et additifs, tels que le sucre, le lait en poudre, la farine de malt, les émulsifiants, les conservateurs, les enzymes et les oxydants, sont souvent ajoutés pour améliorer la qualité du pain. Ils contribuent à stabiliser la pâte et à optimiser la texture, le volume et la conservation du pain **[20].**

La panification est le procédé traditionnel de fabrication du pain de blé, généralement réalisé en boulangerie, et comprend quatre étapes : le pétrissage, le pointage, l'apprêt et la cuisson **[21].**

2. Orge et ses caractéristiques

2.1. Description

L'orge est un membre de la famille des *Poaceae* et du genre *Hordeum*. *Hordeum vulgare* est l'espèce d'orge la plus courante. L'orge a historiquement constitué un pilier de l'alimentation humaine. En effet, des recherches archéologiques ont démontré que sa culture en Iran a débuté dès 8000 av. J.-C **[22].**

La majeure partie de l'orge est utilisée pour l'alimentation animale en raison de critères de qualité moins stricts. Son usage dans l'alimentation humaine reste limité aux préparations traditionnelles, mais son potentiel grandit grâce à ses bienfaits pour la santé **[23].**

L'orge gagne en popularité grâce aux bienfaits de sa fibre soluble (β-glucane) et de ses composés phytochimiques sur la santé humaine **[24].** L'orge (*Hordeum vulgare*) est considérée comme étant un aliment fonctionnel et diététique **[25].**

Des études scientifiques ont démontré que l'intégration de l'orge dans le régime alimentaire humain a des impacts bénéfiques sur l'indice glycémique, la gestion du poids et les affections cardiaques **[26],** Ces bénéfices positifs sont associés à la présence de β-glucane dans les grains d'orge **[27].**

2.2.Structure

Les grains d'orge ont tendance à être plus grands et plus acérés que ceux du blé, affichant une teinte jaune pâle éclatante. Cependant, la couleur peut fluctuer du jaune pâle au violet, bleu et noir, principalement en raison de la quantité d'anthocyanines présentes dans la coque, le péricarpe et/ou la couche d'aleurone **[26].**

Le grain d'orge se compose de diverses parties : les enveloppes disposées en plusieurs couches (testa, péricarpe, glumelles), l'embryon, la couche d'aleurone et l'albumen contenant de l'amidon **[28].**

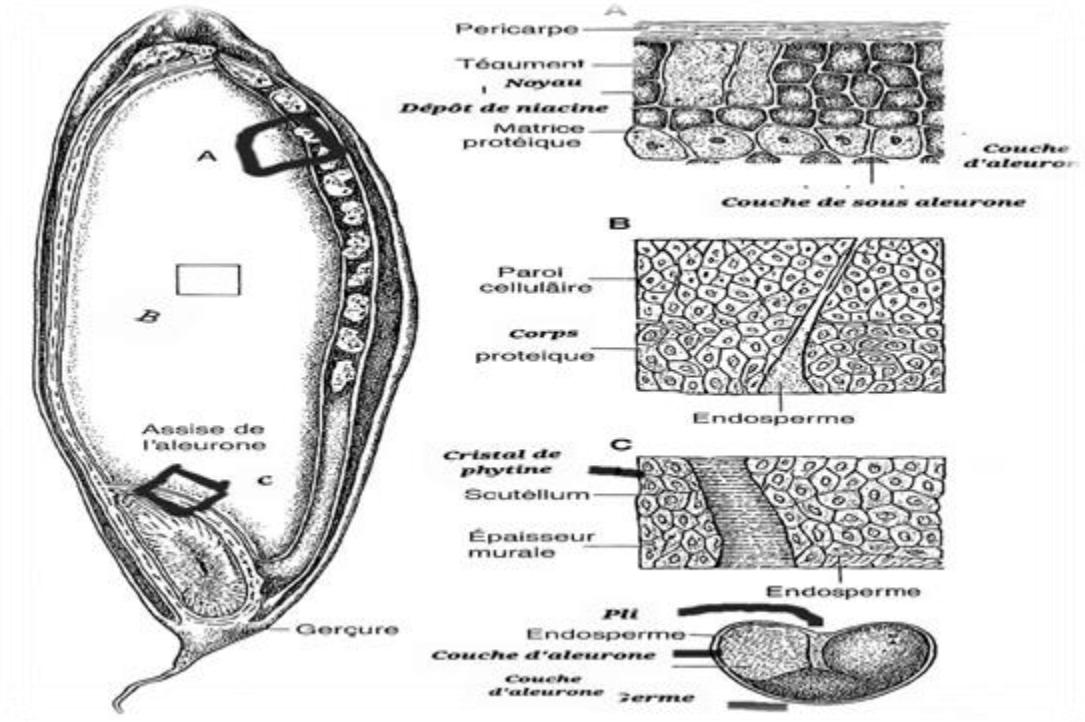


Figure 2: Grain d'orge avec sections transversales agrandies **[22].**

2.3.Composition chimique algérienne de l'orge

Selon H. Chenoui et H. Cherif (2019) **[29],** l'orge est une céréale riche en nutriments. Pour 100 g, elle fournit 354 kcal, 12,5 g de protéines, 73,5 g de glucides, 2,3 g de lipides et 17,3 g de fibres, favorisant une bonne digestion. Elle contient également des minéraux essentiels (Ca, Mg, P, Fe, Zn) et des vitamines du groupe B, ainsi que de la vitamine A. L'orge renferme les huit acides aminés essentiels et des acides gras bénéfiques comme l'acide linoléique, palmitique et oléique, contribuant à une alimentation équilibrée et à la santé générale. Les variétés locales d'orge présentent une valeur nutritive supérieure à celle des variétés européennes importées. Ces dernières contiennent en moyenne 13,3 % de matières azotées totales sur matière sèche (MS), avec un maximum de 15,5 % pour la variété Tichedrett. Elles affichent un taux de cellulose brute de 7,8 % de MS et une teneur en lignine deux fois plus élevée que celle des variétés locales **[30].**

De plus, l'orge est une excellente source de fibres solubles, dont la consommation peut aider à réguler les concentrations sanguines de cholestérol, de glucose et d'insuline **[31].**

L'orge est fortifiante, régénératrice et bénéfique pour le système respiratoire, en plus de posséder des propriétés antidiarrhéiques. En tisane, elle est utilisée pour calmer la toux **[29].**

2.4.Transformation de l'orge en farine

Pour produire la farine d'orge, le meunier établit un diagramme de mouture, soit un programme de réglage des machines adapté aux caractéristiques de l'orge et au produit final souhaité. Comprendre la fabrication de cette farine nécessite d'analyser le parcours du grain d'orge depuis son arrivée au moulin jusqu'à son traitement final **[10].**

2.4.1. Étapes de la transformation des grains en farine

D'après Transformer des céréales (2020) **[32],** la transformation du grain d'orge en farine passe par plusieurs étapes essentielles :

a) Nettoyage du grain

Éliminer les impuretés (poussières, graviers, autres graines). Recourir à un tamisage ou à une soufflerie pour éliminer les éléments non souhaités.

b) Décorticage (optionnel)

L'orge possède une enveloppe extérieure fibreuse (la balle) qui peut être éliminée en fonction de son usage final. On peut conserver le son pour produire de la farine complète.

c) Broyage ou mouture

Faire appel à un moulin à meule ou à un moulin industriel. Pour obtenir une poudre fine, passer les grains plusieurs fois au moulin.

d) Tamisage (optionnel)

Pour obtenir une farine plus fine, on tamise la farine afin de séparer le son.

e) Stockage

La farine doit être conservée dans un endroit frais et sec afin d'éviter l'humidité et la contamination par des moisissures.

3. Farine de grain d'orge

3.1.Définition

La farine d'orge est obtenue en broyant des grains d'orge entiers. Elle a un goût plutôt doux, avec une subtile note de noisette. On peut se servir de la farine d'orge pour faire du pain plat, des gâteaux et bien d'autres choses encore. Même si la farine d'orge n'est pas équivalente à la farine de blé, elle contient une trace de gluten qui pourrait déclencher des réactions chez les personnes atteintes de la maladie cœliaque **[33].**

3.2. Composition biochimique et physico-chimique de la farine

Le grain d'orge est riche en amidon (63–65 %) et en protéines (8–11,5 % MS), ce qui lui confère une bonne valeur énergétique et nutritionnelle. Il contient aussi des lipides (2–3 % MS), des fibres (5,6 %), des cendres (2 % MS) et environ 14 % d'eau, répondant aux normes de conservation. Ces éléments, variables selon les variétés et conditions de culture, donnent à la farine d'orge des propriétés nutritionnelles et technologiques spécifiques **[34].**

Tableau 1: Caracteristique physico-chimique de la farine de grain d'orge **[34].**

Caractéristiques des farines de grain d'orge	
Teneur en eau %	Environ 14 %
Teneur en cendre (MS%)	2 %
Teneur en protéine (MS%)	8 à 11,5 %
Teneur en lipides (MS%)	2 à 3 %
Fibres alimentaires%	Environ 5,6 %
Amidon%	63 à 65 %

3.3.Types des farines

Il existe plusieurs types de farine d'orge, chacune présentant des propriétés distinctes et des applications diverses en cuisine. Les principales variétés de farine d'orge sont les suivantes :

Farine d'orge entière : Cette farine, issue de la mouture de grains d'orge entiers, présente une saveur délicate avec une subtile note de noisette. Elle est utilisée dans la préparation de pains plats, de pâtisseries et de divers autres produits de boulangerie **[33].**

Farine d'orge mondé : Cette farine, obtenue à partir de grains d'orge dont l'enveloppe extérieure a été éliminée, est moins raffinée que la farine d'orge perlée. Elle est riche en fibres et possède un indice glycémique faible, ce qui la rend intéressante pour les personnes atteintes de diabète. Elle est utilisée pour la confection de pains, de galettes, de muffins, de beignets, de crêpes et de diverses pâtisseries **[35].**

Farine d'orge maltée : Obtenue à partir de grains d'orge germés puis déshydratés, cette farine est principalement utilisée dans la production de bière. Toutefois, elle peut également être incorporée à certaines préparations boulangères pour apporter une note sucrée et stimuler la fermentation **[33].**

Il convient de souligner que la farine d'orge renferme moins de gluten comparativement à la farine de blé, ce qui peut influencer le gonflement des pâtes. Afin de réaliser une pâte levée, particulièrement pour le pain, il est recommandé d'associer la farine d'orge à une farine de blé (type 80 ou type 110) dans un ratio 50-50 **[36].**

4. Blé tendre et ses caractéristiques

4.1. Description

Le blé est une plante annuelle monocotylédone du genre *Triticum*, appartenant à la famille des graminées. Cette céréale produit un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments **[37]**.

Sur l'épi, le grain est entouré d'enveloppes qui n'adhèrent pas à la graine et sont éliminées lors du battage **[10].** Le blé comprend deux espèces : le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur *(Triticum durum)*. Elles se distinguent par la friabilité de l'amande, plus élevée chez le blé tendre, ce qui facilite sa transformation en farine (Figure 4), tandis que le blé dur est plus adapté à la production de semoule **[38].**

Le genre *Triticum* comprend plusieurs espèces ayant différents niveaux de ploïdie, allant de 2n = 14 à 6n = 42 chromosomes **[39]**. Contrairement au petit épeautre et à l'amidonnier, issus de la domestication de populations présentes à l'état naturel, le blé tendre (*T. aestivum*)

n'existe qu'à l'état cultivé **[40].** C'est une espèce allopolyploïde, c'est-à-dire issue de l'hybridation entre différentes espèces diploïdes, ce qui lui permet de s'adapter à une plus large gamme de conditions environnementales **[41].**

4.2.Classification botanique du blé tendre

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Tracheobionta*

L'embranchement : *Magnoliophyta*

Classe : *Liliopsyda*

Sous-classe : *comelinidae*

Ordre : *Cyperales*

Famille : *Poaceae*

Sous-famille : *pooideae*

Tribu : *Triticeae*

Genre : *Triticum*

Espèces : *Tritucumaestivum* (Blé Tendre) **[42].**

4.3.Structure

Le grain de blé mesure de 4.8 mm à 9.5 mm de longueur, selon les variétés et le degré de maturité. Sa forme peut être sphérique ou allongée, et sa surface est marquée par un sillon longitudinal dont la profondeur atteint près de la moitié de son épaisseur (Figure 3) **[37].**

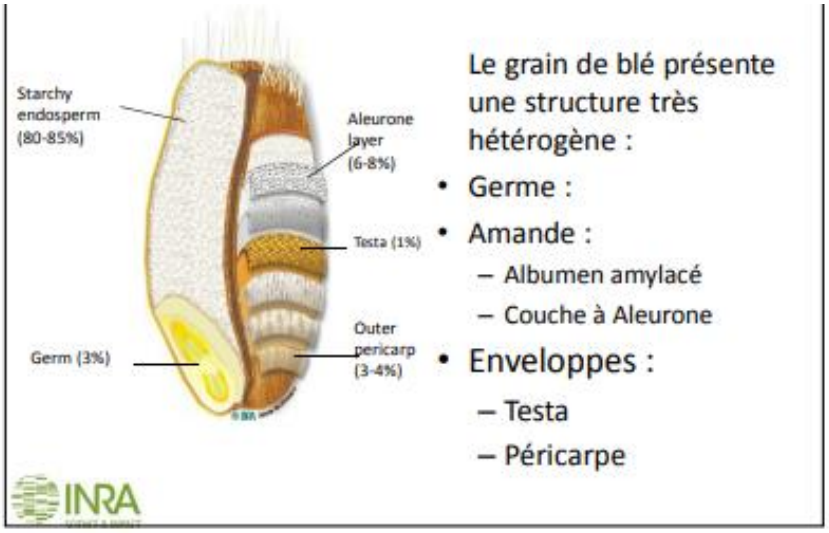


Figure 3: Structure du grain de blé**[55].**

Le grain de blé se compose de trois parties principales : l'enveloppe (environ 17 % du poids), riche en fibres, minéraux et vitamines ; l'amande farineuse (80 à 85 %), contenant

principalement de l'amidon et des protéines, utilisée pour produire la farine ; et le germe, embryon du grain, riche en éléments nutritifs et essentiel à la germination **[37].**

4.4.Composition chimique des différentes parties du grain de blé

Le grain est principalement composé d'amidon (environ 70 %) et de protéines (10 à 15%, selon les variétés et les conditions de culture). Les autres constituants, présents en quantités plus faibles (quelques % seulement), comprennent les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (tableau 02) **[37].**

Tableau 2: Composition chimique du grain de blé **[37].**

Nature des composants	Teneur (%ms)
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucre libre	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1,5-2,5

4.5.Transformation du blé tendre en farine

4.5.1. Étapes de la transformation des blés en farine

D'après Feillet (2000) **[37]**, la transformation des blés en farine se déroule en trois étapes

- **Première étape consiste à nettoyer** les blés afin d'éliminer les impuretés et les grains contaminants.
- **Deuxième étape est le conditionnement**, qui permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain.
- **Troisième étape est la mouture** proprement dite, qui assure la séparation de l'albumen et des enveloppes tout en réduisant l'albumen en fines particules.

Étapes de la mouture.

4.5.2. Étapes de la mouture

La mouture du grain comprend plusieurs étapes successives destinées à séparer l'amande farineuse des enveloppes. Le broyage mécanique, réalisé entre cylindres striés tournant à des vitesses différentes, ouvre le grain par coupe, choc ou compression, brisant l'amande tandis que les enveloppes, plus élastiques, résistent. Le convertissage et le claquage, effectués à l'aide de cylindres lisses, poursuivent la fragmentation. Le tamisage (ou blutage) permet ensuite de séparer les particules selon leur granulométrie grâce à des plansichters. Le sassage complète la séparation en suspendant les particules dans un courant d'air ascendant au-dessus de tamis inclinés et mobiles, tandis que la ségrégation finale exploite les différences de densité et de propriétés aérodynamiques des particules, les plus denses, issues de l'albumen amylacé, étant extraites en priorité. Ces opérations combinées garantissent une séparation efficace des différentes fractions du grain pour une production optimale de farine **[37].**

5. Farine de blé tendre

5.1.Définition

La farine de blé tendre, aussi appelée farine de froment, est dérivée des grains de blé tendre (*Triticum aestivum*). Elle est produite grâce à un processus de broyage et de mouture, qui consiste à transformer les grains en une poudre assez fine, tout en retirant en partie le son et le germe **[43].**

5.2.Composition biochimique de la farine :

La farine est principalement composée d'amidon (65 à 70 %), formé d'amylose et d'amylopectine, qui absorbe l'eau et forme un gel à la cuisson, essentiel pour la texture. Elle contient également des protéines (11 à 13,5 %), réparties entre albumines, globulines, gliadines et gluténines, ces dernières formant le gluten. Les matières minérales (0,45 à 0,60 %), mesurées par les cendres, reflètent la pureté de la farine, car concentrées dans les enveloppes du grain. Les lipides, répartis en neutres, glycolipides et phospholipides, varient selon leur position autour de l'amidon. Enfin, la farine contient des vitamines, surtout du groupe B et de la vitamine E antioxydante, localisées dans le son et le germe, tandis que les vitamines C et D sont absentes **[37].**

5.3.Caractéristiques physico – chimiques de la farine de blé tendre

La farine de blé tendre se distingue par une humidité maximale de 15,5 % assurant sa conservation, une teneur en cendres indiquant le taux d'extraction, une richesse en minéraux provenant des enveloppes et du germe, ainsi qu'un taux de protéines, notamment de gluten, déterminant ses propriétés technologiques et nutritionnelles. Une acidité élevée signale une

altération de qualité due à la dégradation des lipides**[37]**. Les valeurs moyennes de ces caractéristiques physico-chimiques sont résumées dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimique de la farine de blé tendre complet **[37].**

Caractéristiques des farines de blé tendre	
Teneur en eau %	≤15.5
Teneur en cendre (MS%)	0.56-0.67 farine courante <0.6 farine supérieure
Teneur en protéine (MS%)	>8
Acidité en g/l de H2S04	0.045-0.05
Teneur en lipides (MS%)	<1.4

5.4.Types de farines

Depuis le début de la campagne, les types de farines sont déterminés en fonction du taux de cendres. Avec le pourcentage d'humidité, ce sont les seules normes fixées par les autorités, **[44],** Comme l'indique le tableau 4

Tableau 4: Types de farines par rapport au taux de cendre, humidité et taux d'extraction **[44].**

Type	**Dénomination courante**	**Taux de cendre en (MS%)**	**Humidité %**	**Taux d'extraction Moyenne correspondant**
45	Farine pour pâtisserie	Moins de 0.5	15.5%	
55	Farine blanche	De 0.5 à 0.6	15.5%	
65	Farine de pain de compagne	De 0.62 à 0.75	15.5%	
80	Farine bise ou semi-complète	De 0.75 à 0.9	15.5%	
110	Farine semi-complète	De 1.00 à 1.20	15.5%	85-90
150	Farine intégrale	Plus de 1.4	15.5%	

Chapitre II

Levain naturel

Chapitre II : levain naturel

1. Levain

1.1.Définition générale

Un terme générique utilisé dans plusieurs secteurs comme la panification, la brasserie ou les produits laitiers fermentés désigne un milieu préfermenté servant à ensemencer une production. Cet écosystème, composé de micro-organismes en interaction avec leur milieu, est le siège d'activités enzymatiques endogènes et microbiennes qui modifient la matrice **[21].**

En panification, le levain est une pâte préfermentée, formant un écosystème microbien complexe composé de levures et de bactéries lactiques, évoluant dans un milieu à base de farine et d'eau **[21].**

Le levain est une pâte fermentée à caractère acide, obtenue initialement par un mélange de farine et d'eau, sans ajout délibéré de levures. Il est entretenu par des nourrissages réguliers, appelés « rafraîchissements », qui favorisent la prolifération et la sélection de la flore microbienne spécifique du levain**[21].**

1.2.Caractérisation sensorielle de l'activité du levain

Les caractéristiques organoleptiques du levain, en particulier celles liées au goût et aux arômes, sont diverses et complexes à décrire (Tableau 5). L'acidité, notamment son intensité et sa nature, est l'aspect le plus souvent mentionné par les boulangers **[21].**

Tableau 5:qualificatifes donné à un levain selon ses propriétés et caractéristiques sensorielles **[21]**.

Levain aigre, Sur ou qui va tourner	Odeur piquante et désagréable, goût acide et Amer
Levain doux	Levain dont le goût est peu acide, de fermentation plutôt alcoolique, Pouvant s'approcher de la fermentation en brasserie
Levain Jeune	Peu acide
Levain Passé	Plus que vieux, mais récupérable.
Levain Stabilisé	Levain dont l'activité a été équilibrée à un niveau d'activité considéré comme normal par le boulanger odeur vineuse agréable
Levain Vieux	Trop acide

1.3.Types de levains

Selon leur niveau d'hydratation, on distingue les levains fermes, qui ont une texture pâteuse, « Levains liquides » (figure 4) et des « levains durs » (figure 5) **[45].**



Figure 4: Levain liquide**[10] .**



Figure 5: Levain dur**[10].**

1.3.1. Le levain liquide

Il s'agit d'un mélange composé à parts égales de farine et d'eau, destiné à initier une fermentation lactique. Ce type de levain permet d'obtenir une mie plus aérée que celle produite avec un levain solide. Il est principalement utilisé en panification, les boulangers recherchant un produit savoureux à faible acidité **[45].**Il existe plusieurs types de levains prêts à l'emploi, notamment ceux à base de starter mixte, de starter bactérien, ou encore les levains déshydratés **[46].**

1.3.2. Le levain dur

Il s'agit d'un mélange composé de deux parts de farine pour une part d'eau. Cette composition favorise une fermentation acétique, qui entraîne la formation d'une croûte plus épaisse (améliorant ainsi la conservation du pain), un goût légèrement plus aigre et rustique, ainsi qu'une mie plus dense. Ce type de levain tend à développer une acidité élevée, en raison de l'influence du taux d'hydratation sur la croissance des souches microbiennes **[45].** Il existe plusieurs variantes, telles que le levain-chef, le levain de première, le levain de seconde, le

levain tout point, et le levain dévitalisé (qui, bien qu'il soit sous forme de poudre, était initialement solide) **[46].**

On peut obtenir des levains à partir de farine de blé, mais il est également possible d'utiliser diverses autres céréales, comme l'orge, le seigle, le sarrasin ou le riz **[47].**

Les levains agissent différemment selon le type de céréale utilisé. Ils ne progressent pas tous au même rythme, et les produits à base de sarrasin ou de riz présentent une structure bien moins constante que ceux contenant du gluten **[47].**

1.4.Facteurs influençant l'activité du levain

La création et l'entretien du levain représentent une étape exigeante dans la fabrication du pain au levain, nécessitant observation, savoir-faire et expérience. Certains boulangers, considérant cela comme un secret de fabrication, hésitent à partager leur expertise **[46].**

1.4.1. Influence de l'acidité et de la température

Chaque micro-organisme contenu dans le levain possède des conditions optimales de croissance, le pH de la pâte et la température à laquelle le levain est gardé étant les deux éléments primordiaux **[48].**

La chaleur favorise l'activité biologique, accélérant ainsi le démarrage du levain et l'augmentation de son acidité. Les boulangers travaillent généralement dans une plage de températures comprise entre 20C° et 28 °C, représentant le seuil minimal **[10].**

L'acidité résulte principalement de l'activité des différentes bactéries présentes. Elle est déterminée, d'une part, par le pH, qui caractérise l'intensité de l'acidité sur une échelle de 1 à 14. D'autre part, elle dépend également de la nature et de la quantité des acides présents **[46]**.

1.4.2. Choix des liquides

Pour démarrer un levain, on peut utiliser une eau de trempage de blé, de son ou de fruits non traités, en évitant l'eau chlorée au profit d'une eau osmosée. L'hydratation varie selon le type de levain : environ 50 % pour un levain dur et 100 % pour un levain liquide, avec une plage de 40 à 200 %. Une forte hydratation stimule l'activité microbienne, mais une dilution excessive peut la freiner. L'eau tiède (35 °C) favorise l'acide lactique, tandis qu'une eau plus fraîche (15 °C) stimule l'acide acétique**[46].**

1.4.3. Influence du sel

Le sel freine la croissance des levures et bactéries, renforce le gluten et limite la liquéfaction du levain en réduisant l'activité protéolytique. Il améliore ainsi la structure et la conservation du levain, notamment s'il n'est pas utilisé quotidiennement. Un dosage de 15 à 16 g par kilo de farine stabilise aussi la proportion de levain dans la pâte finale **[46]**.

1.4.4. Influence du mélange

Le pétrissage du levain apporte de l'oxygène, stimulant la multiplication des levures. Un pétrissage énergique lors du rafraîchi réactive un levain peu actif et favorise l'acide acétique. Dans les recettes sucrées comme le panettone, des pétrissages intensifs et des rafraîchis fréquents sont nécessaires pour compenser la teneur en sucre et assurer une bonne production de CO_2**[46].**

1.5. Caractéristiques nutritionnelles du levain

Le pain au levain présente des avantages nutritionnels importants : son acidité réduit l'acide phytique, facilitant l'absorption des minéraux (zinc, fer, calcium) grâce à l'activation de la phytase qui dégrade les phytates. Il a aussi un index insulinémique modéré (environ 60) et une meilleure digestibilité du gluten **[46].**

1.5.1. L'acide phytique

L'acide phytique, ou phytate, est une biomolécule ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) représentant la principale forme de stockage du phosphore dans les tissus végétaux. Il est naturellement présent dans de nombreux aliments, notamment les céréales, les légumineuses, les graines et les noix. Il se concentre surtout dans les couches externes des grains et dans le germe, où le phosphore est destiné à nourrir la future pousse. Ce phosphore peut être libéré par l'action de la phytase, une enzyme naturellement présente dans le grain **[11]**.

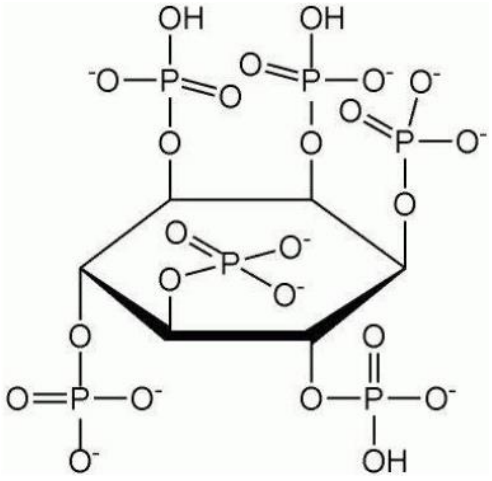


Figure 6: Une molécule d'acide phytique**[11].**

L'acide phytique, abondant dans les farines complètes, est un antinutritionnel qui bloque l'absorption de minéraux en formant des phytates. Sa dégradation par la phytase, activée lors de la fermentation au levain, libère ces minéraux et améliore leur assimilation. **[47].**

1.5.2. Facteurs influençant l'activité de la phytase

L'activité de la phytase est influencée par plusieurs facteurs : les matières premières utilisées (comme l'ajout de malt, levain ou poudre de lait, bénéfiques nutritionnellement), la durée de fermentation (plus elle est longue, plus l'acide phytique est réduit), l'acidité de la pâte (le levain abaisse le pH entre 4,1 et 4,5, optimal pour la phytase) et la température (l'activité augmente avec la température, bien que la fermentation se déroule généralement en dessous de 55 °C, température optimale de l'enzyme) **[49].**

1.5.3. Levain et dégradation des protéines

Certaines souches de levain ont la capacité de décomposer partiellement le gluten et d'autres protéines, ce qui peut être avantageux pour ceux qui souffrent d'une hypersensibilité au gluten **[50].**

Le degré de cette décomposition est tributaire de l'activité de la protéase, une enzyme naturellement présente dans la farine qui décompose les protéines. La période de fermentation et la sélection des souches de bactéries lactiques ont un impact sur le degré d'acidité, ce qui influence à son tour l'activité de la protéase et donc la faculté à décomposer les protéines **[50].**

1.5.4. Levain et solubilité des fibres

L'acidification et l'activation des enzymes modifient également les propriétés des fibres existantes. Le levain et la fermentation de la levure agissent sur ces composés, favorisant notamment la dissolution des arabinoxylanes et intensifiant l'activité naturelle de l'enzyme xylanase **[51]**.

1.5.5. Levain et vitamines

La fermentation prolongée du levain améliore l'assimilation de certaines vitamines par l'organisme, notamment la vitamine B1, l'acide folique et la vitamine E. Une fermentation très longue permet de préserver un niveau stable de vitamine B1 dans le pain complet, tandis qu'elle entraîne une diminution de cette vitamine dans le pain à la levure **[52]**.

1.5.6. Levain et composants bioactifs

La couche externe du grain de blé contient plusieurs composés bioactifs dont la biodisponibilité est améliorée par la fermentation au levain de seigle. Ce processus favorise l'absorption des nutriments, mais des recherches sont encore nécessaires pour définir les quantités efficaces pour des bienfaits santé**[10]**.

1.6.Valeur nutritionnelle du levain

Le levain, grâce à sa faible teneur en acide phytique, est une source riche en macronutriments et en micronutriments (tableau 6) **[47].**

Tableau 6: Composition nutritionnelle moyenne pour 100 grammes de levain **[11].**
Valeurs exprimées en grammes, sauf pour les vitamines et minéraux en milligrammes

Nutriment	Dans 100g de levain
Lipides :	1.8g
• Acides gras saturés	0.5g
• Acides gras poly-insaturés	0.8g
• Acides gras mono-insaturés	0.3g
• Cholestérol	0
Glucides	56g
Fibres alimentaires	2.4g
Protéines	12g
Vitamine C	0,2mg
Calcium	44mg
Fer	3.6mg
Magnésium	28mg
Sodium	513mg
Potassium	128mg

2. Microbiologie du levain

Lors de la préparation du levain, une communauté microbienne s'installe : les espèces et souches adaptées aux conditions abiotiques de l'environnement se développent. En outre, le phénomène de concurrence pour les ressources entraîne l'exclusion de certaines espèces du milieu. Plus de 100 publications ont été consacrées à l'étude de la microflore des levains dans au moins 19 pays, dont 11 en Europe **[53].**

Le levain renferme une microflore acidifiante constituée d'un équilibre entre les bactéries lactiques et les levures **[54].** Avec un ratio moyen de $10^9/10^7$ UFC/g respectivement, les bactéries lactiques sont dominantes dans les pains au levain **[55].** Ces germes, déjà présents dans la farine, sont également apportés par l'air environnant et le milieu de travail **[47].**

2.1.Les bactéries lactiques du levain

Les bactéries lactiques forment un groupe hétérogène ayant pour caractéristique commune la production d'acide lactique par fermentation des glucides **[10]**. Ce sont des bactéries Gram-positives, non pigmentées, asporulées, généralement immobiles et dépourvues de nitrate réductase, de cytochromes oxydases et de catalase, à l'exception de certains genres possédant une pseudo-catalase **[56]**. Elles sont classées parmi les anaérobies, bien que leur sensibilité à l'oxygène puisse varier considérablement selon les souches, allant d'anaérobies strictes à aérotolérantes, voire insensibles à l'oxygène**[57].** Pour se développer, elles ont besoin de sources de carbone organique, notamment de glucides fermentescibles **[10].** Elles se développent majoritairement à des pH compris entre 4 et 6,5, et certaines restent actives jusqu'à un pH de 9,6 ou aussi bas que 3,2. Leur tolérance au sel est très variable **[56]**. Sur la base de leur profil fermentaire, les bactéries lactiques peuvent être classées en deux grands groupes : les homofermentaires et les hétérofermentaires **[54].**

- ✓ **Bactéries lactiques homofermentaires** elle permet la production de lactate à partir d'une molécule de fructose et d'une molécule de glucose **[54].** Les priricipales espèces majoritaires dans le levain jeune, sont: *Lactobacillus plantarumet et Lactobacillus casei* **[10]**
- ✓ **Bactéries lactiques hétérofermentaires** en plus de l'acide lactique, ces bactéries produisent de l'acide acétique, de l'éthanol et du CO2. Elles sont ainsi responsables de l'acidité du pain par la dégradation du maltose. Les principales espèces hétérofermentaires, majoritaires dans le levain âgé, sont *Lactobacillus brevis* et *Lactobacillus fermentum* **[54]**.

La composition de la flore levurienne influence l'acidification induite par les bactéries hétérofermentaires, en raison des relations de symbiose existante entre les levures et les bactéries lactiques. Le pH acide du levain (pH = 4,5), ainsi que l'action antimicrobienne des bactéries lactiques, constituent une protection efficace contre les contaminants. Si ces derniers persistent, la cuisson permet de les éliminer **[10]**.

2.1.1. Les bactéries lactiques présentes dans le levain

Les bactéries lactiques sont essentielles à la fermentation des levains, leur diversité et dominance variant selon les pratiques traditionnelles, les types de céréales, la température, la durée de fermentation et la présence éventuelle de levures responsables de la fermentation alcoolique**[58]**.

Plus de cinquante espèces de bactéries lactiques présentes dans le levain ont été décrites, appartenant principalement aux genres *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* et *Weissella* **[54]**. Les lactocoques, les entérocoques et les streptocoques sont très minoritaires tableau 7

Tableau 7:Les lactobacilles présents dans le levain-chef **[53], [59].**

Catégorie	Espèces identifiées
Lactobacilles typiques des levains	*Lactobacillus sanfranciscensis, Lactobacillus pontis, Lactobacillus panis, Lactobacillus paralimentarius, Lactobacillus frumenti, Lactobacillus spicheri, Lactobacillus rossiae, Lactobacillus zymae, Lactobacillus acidifarinae, Lactobacillus hammesii, Lactobacillus nantensis, Lactobacillus mindensis*
Les lactobacilles moins prédominants dans les levains	*Weissellas : Weissella cibaria, Weissella confusa Pédiocoques : Pediococcus acidilactici,* Pediococcus *pentosaceus leuconostoques : Leuconostoc. mesenteroides, Leuconostoc citreum*
Les lactobacille très minoritaires	*Les lactocoques, les entérocoques et les streptocoques*

2.1.2. Propriétés des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques du levain jouent un rôle clé en améliorant le goût, l'arôme et la texture du pain, tout en abaissant le pH pour limiter les micro-organismes indésirables et prolonger la conservation. Elles favorisent aussi la libération et la biodisponibilité des minéraux ainsi que l'hydrolyse des protéines, ce qui augmente la valeur nutritionnelle du pain**[54].**

2.1.3. Caractéristiques générales des levures

La levure désigne tout micro-organisme capable de transformer le sucre en alcool et en dioxyde de carbone dans une solution sucrée, provoquant ainsi la fermentation et la levée des pâtes**[21].**

Les levures sont parmi les premiers micro-organismes utilisés par l'homme depuis des millénaires, notamment pour produire du pain et des boissons alcoolisées par fermentation **[10].**

- Les levures sont des organismes unicellulaires qui appartiennent au phylum des champignons, connu sous le nom international de Fungi **[60]**. Ces structures sont immobiles**[61].**
- Les levures se développent principalement dans des milieux riches en sucres assimilables, comme les fruits, le miel, les fleurs et les sirops. On les retrouve également dans l'eau, l'air, le sol, ainsi qu'à la surface ou à l'intérieur d'organismes vivants **[10]**.
- Les levures sont en général acidophiles et mésophiles : elles se multiplient à des pH compris entre 3 et 7,5 ct à des températures voisines de 25-28°C **[62]**.

- Les cellules de levures, généralement ovoïdes, représentent la forme végétative la plus simple. Elles apparaissent seules ou par paires et présentent des formes variées : sphérique, cylindrique, en bouteille, pyramidale ou apiculaire **[10], [63]**.
- Les levures unicellulaires mesurent généralement entre 2,5 et 10,5 µm de largeur et 4,5 à 21 µm de longueur, leurs dimensions variant selon les conditions de culture et l'âge des cellules**[64]**.
- La plupart des levures, en particulier la majorité des levures employées dans le secteur industriel (bière, alcool, vin, cidre)**[63]**.
- Les levures, plus volumineuses que les bactéries, se multiplient lentement et se reproduisent soit de façon asexuée, soit sexuée selon les conditions environnementales **[62]**.

2.1.4. Composition des levures

Les levures, cellules eucaryotes, possèdent une paroi rigide de 150 à 230 nm d'épaisseur, composée principalement de 80 % de polysaccharides antigéniques, 1 à 2 % de chitine**[62]**. ainsi que 7 à 10 % de matières grasses et 5 % de minéraux **[65]**.

Lors de la division, le noyau des levures est entouré d'une membrane nucléaire. Le nombre de chromosomes varie selon l'espèce, et le noyau contrôle les activités cellulaires **[62]**.

Tableau 8: Composition moyenne des levures**[62].**

% **%**				
Matières sèches	30.0 à 33.0			
Azote /MS	6.5 à 58.0			
Protéines /MS (azote×6.25)	40.6 à 58.0	Dont	Glutathion	0.5 à 1.5
Glucides/MS	35.0 à 45.0	Dont	Glycogène Tréhalose	5 à 10 8 à 10
Lipides cellulaires/MS	4.0 à 6.0	Dont	Phospholipides	1 à 2
Minéraux /MS	5.0 à 7.5	Dont	Potassium Sodium Calcium Magnesium Phosphor (P2O5)	0.8 à 2 0.01 à 0.2 0.002 à 0.15 0.04 à 0.18 0.8 à 1.3 2 à 3
Vitamines			Thiamine(B1) Riboflavin(B2) Pyridoxine(P6) Niacine (PP)	0.002 à 0.015 0.002 à 0.008 0.002 à 0.006 0.010 à 0.050

2.1.5. Métabolismes des levures

La levure de boulangerie appartient aux levures aérobies facultatives, capables d'utiliser le glucose avec ou sans oxygène, et peut même le fermenter en présence d'oxygène via deux modes différents.

- **Respiration aérobie :** $C_6H_{12}O_2$ (glucose) + $6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + énergie (688kcal)

En présence d'oxygène, Saccharomyces cerevisiae produit de l'énergie principalement par respiration cellulaire, un processus efficace qui favorise une forte multiplication cellulaire **[66].**

- **Fermentation alcoolique :** C6H12O6 (glucose) → 2CO2 + 2CH3CH2OH (éthanol) + énergie (56 kcal).

En absence d'oxygène, Saccharomyces cerevisiae produit de l'énergie par fermentation alcoolique via la glycolyse. En présence d'oxygène, le pyruvate entre normalement dans le cycle de Krebs via l'acétyl-CoA pour un meilleur rendement énergétique. Cependant, si la concentration en sucre dépasse 100 mg/L, la respiration est inhibée au profit de la fermentation alcoolique, même avec de l'oxygène, phénomène appelé effet Crabtree **[66].**

2.1.6. Propriétés des levures dans les levains naturels

- La levure participe au développement de la saveur du pain grâce à la production d'alcool et d'enzymes comme l'invertase. Elle apporte aussi des vitamines B et D et influence la texture de la mie **[67]**.
- les levures favorisent leur développement et celui des bactéries lactiques en augmentant la disponibilité de certains acides aminés, notamment grâce à la production de fructose **[10]**.
- L'invertase des levures décompose le saccharose en glucose et fructose, utilisables directement par la levure. Toutefois, une compétition pour les sources d'azote peut avoir lieu entre levures et bactéries, variant selon les souches étudiées en laboratoire **[19]**.

2.1.7. Les levures présentes dans le levain

Chez les levures, 25 espèces ont déjà été isolées à partir de levain, dont environ la moitié sont connues pour leurs propriétés fermentaires **[19].** Les espèces dominantes sont toutes des espèces fermentaires. On trouve le plus souvent *Saccharomyces cerevisiae*, mais aussi des espèces du clade des *Kazachstania* (*Candida humilis*, *Kazachstania unispora*, *Kazachstania exigua*, *Kazachstania bulderi*, *Kazachstania barnetti*, *Kazachstania servazzii*) **[68]** . L'espèce *S. cerevisiae*, connue comme étant la levure de boulangerie n'est pas toujours l'espèce majoritaire. Elle est rarement l'espèce dominante dans les levains naturels **[10]**. Enfin, les

espèces *Saccharomyces uvarum* et *Torulaspora delbrueckii* dominent parfois la communauté microbienne des levains.

Dans le pain au levain de San Francisco, Saccharomyces cerevisiae joue un rôle clé dans la fermentation, aux côtés d'autres levures comme *Kazachstania exigua*, Candida humilis et *Pichia kudriavzevii.* Ces levures coexistent avec des bactéries lactiques indigènes, notamment *Lactobacillus sanfranciscensis, L. plantarum*, et d'autres espèces des genres *Lactobacillus, Leuconostoc et Pediococcu* **[53]** .

Au total, au moins 18 espèces de levures ont été identifiées dans des levains à base de blé ou de blé-seigle, incluant *Saccharomyces cerevisiae, Candida humilis, Kazachstania spp., Torulaspora delbrueckii, Wickerhamomyces anomalus, Pichia kudriavzevii,* ainsi que plusieurs autres espèces comme *Meyerozyma guilliermondii et Scheffersomyces stipitis*. **[69]**.

2.2.Autres actions métaboliques des bactéries lactiques et des levures :

Au-delà de la production du CO2, des acides (acétique, lactique) et de l'éthanol par fermentation, levures et bactéries lactiques produisent des composés aromatiques (tels que des alcools, aldéhydes, diacétyle, acétoïne et esters, **[70]** diminuent l'effet négatif de certains métabolites comme l'acide phytique **[10]**.

- Les caractéristiques aromatiques varient en fonction des souches microbiennes **[71]**.
- Les bactéries lactiques et les levures interagissent dans les produits fermentés; par exemple, les levures libèrent des facteurs de croissance qui favorisent le développement des bactéries en surface**[72]**.

La diversité et l'activité des bactéries lactiques ainsi que des levures dépendent de plusieurs facteurs, à la fois endogènes et exogènes au procédé de panification. Parmi ceux-ci figurent le type de céréale utilisé pour la fabrication de la farine, le taux d'hydratation du levain, la durée des rafraîchis, ou encore la température de fermentation **[73]**. Par ailleurs, le blé dur (*Triticum durum*) et le blé tendre (*Triticum aestivum*) pourraient favoriser le développement de populations distinctes de bactéries lactiques **[74]**. Les levains liquides favoriseraient la croissance des levures et présenteraient une concentration plus faible en acides gras libres, en acide lactique, et plus particulièrement en acide acétique, comparativement aux levains fermes**[10]**. La température de fermentation influencerait la composition des espèces : à 20 °C, l'association de *Candida humilis* et *Lactobacillus sanfranciscensis* l'emporterait sur *Saccharomyces cerevisiae* et *Lactobacillus plantarum* **[75]**.

2.3.Effets et phases de la fermentation

D'après Lhomme (2014) **[54],** la fermentation comporte trois étapes

Au début de la fermentation, la microflore du levain provient principalement de la farine, avec une population estimée entre 10^2 et 10^5 UFC/g, composée de bactéries lactiques (homo- et hétérofermentaires) et non lactiques.

- **Première phase de la fermentation** Après un à deux jours de rafraîchissement, la majorité des bactéries initialement présentes dans la farine sont éliminées, laissant place à un environnement propice à la croissance des Enterobacteriaceae, des levures et des bactéries lactiques, grâce à la baisse du potentiel redox
- **Durant la deuxième phase de la fermentation** Entre le 2^{eme} et le 5^{eme} jour, les bactéries lactiques spécifiques comme *Lactobacillus*, *Weissella* et *Pediococcus* dominent, produisant des acides organiques qui abaissent le pH du levain. Cette acidification inhibe les *Enterobacteriaceae* et favorise la croissance des levures.
- **Troisième et dernière phase de la fermentation,** Avec les rafraîchis successifs, les espèces bien adaptées comme *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus fermentum* et les levures deviennent dominantes, atteignant des concentrations de 10^6 à 10^9 UFC/g pour les bactéries lactiques et 10^5 à 10^8 UFC/g pour les levures dans le levain mature.

2.4.Des effets technologiques et d'environnement

Les conditions technologiques d'élaboration du levain influencent fortement la composition microbienne, notamment la sélection et la dominance des bactéries lactiques. Selon Lhomme (2014), la nature de la farine utilisée a un impact important : les levains à base de blé dur (*Triticum durum*) sont dominés par des bactéries hétérofermentaires, tandis que ceux à base de blé tendre (*Triticum aestivum*) sont majoritairement composés de bactéries homofermentaires. Un taux d'hydratation élevé favorise aussi les bactéries lactiques au détriment des levures. De plus, la température et la fréquence des rafraîchis influencent la flore microbienne : à 23 °C avec des rafraîchis toutes les 24 h, *Leuconostoc citreum* domine ; à 30 °C et 37 °C, c'est *Lactobacillus fermentum* qui prédomine. Enfin, des rafraîchis espacés (toutes les 48 h à 30 °C) favorisent une codominance de *L. fermentum et L. plantarum* **[54]**.

2.5.Le levain final et sa stabilité

Après dix jours de rafraîchis, le levain devient stable, formant un écosystème dominé par des bactéries lactiques adaptées à un milieu acide, pauvre en oxygène et nutriments. Durant le stockage, la baisse de température et de pH crée une compétition nutritionnelle, mais les bactéries dominantes s'adaptent et persistent. Leur implantation dépend des conditions de rafraîchissement, et un environnement stable de panification maintient une flore microbienne constante**[54]**.

2.6.Fermentation et microorganisme fermenteurs du levain

La microflore du levain est principalement composée de bactéries lactiques, avec une faible proportion de levures acidotolérantes naturelles, différentes de Saccharomyces cerevisiae industrielle. Ces levures spécifiques supportent bien l'acidité du levain mais sont rarement présentes dans les levains secs ou starters, car elles résistent mal à la dessiccation et à la conservation **[10]**.

2.6.1. Action fermentaire des levures

2.6.1.1.Les mécanismes de production de biomasse de la levure

Pour obtenir un bon rendement en production de biomasse, il est nécessaire d'oxyder complètement le substrat organique et d'exploiter l'énergie potentielle libérée au cours de la fermentation **[76]**. Chez les levures, trois profils métaboliques distincts peuvent être identifiés en fonction du mode de dégradation de la source carbonée utilisée pour la production d'énergie : le métabolisme oxydatif, le métabolisme fermentaire et le métabolisme respiro-fermentaire **[77], [78]**. Le type de métabolisme varie en fonction de l'environnement, notamment de la présence d'oxygène, de la nature de la source carbonée ainsi que de l'espèce de levure considérée **[10]**.

La levure *Saccaromyces cerevisiae* a un métabolisme varié **[10]**. Cependant, un bon rendement en production de biomasse est obtenu grâce au métabolisme respiratoire. Le métabolisme oxydatif du glucose correspond à une oxydation complète de la molécule de sucre en dioxyde de carbone et en eau, via les voies métaboliques de la glycolyse, du cycle de Krebs et de la phosphorylation oxydative. Ce métabolisme nécessite deux conditions essentielles : la présence d'oxygène et une concentration en glucose contrôlée, afin d'éviter un basculement vers un autre type de métabolisme **[79]**. Chez la levure comme chez d'autres organismes eucaryotes, les différentes enzymes qui catalysent les réactions du cycle de Krebs sont situées dans la mitochondrie.

Le bilan énergétique théorique maximal de cette voie métabolique est le suivant :

$$C6H12O6 + 6O2 + 36Pi + 36ADP \longrightarrow 6CO2 + 36ATP + 42H2O$$

En conditions anaérobies, les levures sont capables de fermenter les sucres. Certaines levures, dites « Crabtree positives », présentent la particularité de pouvoir également effectuer une fermentation en conditions aérobies, mais uniquement lorsque la concentration en glucose est suffisamment élevée. Ce phénomène est désigné sous le terme d' « effet Crabtree » **[80], [81], [82]**.

* **L'effet Crabtree**, encore peu connu, concerne aussi bien les cellules procaryotes, telles que les bactéries, que les cellules eucaryotes, notamment les champignons et les mammifères **[83]**. ***L'effet Crabtree** à court terme se caractérise par l'induction rapide d'une fermentation alcoolique aérobie consécutive à l'administration d'une impulsion soudaine et excessive de glucose à des cultures de levures préalablement soumises à une restriction glucidique **[84]**.

Selon C. Urien (2015) **[19]**, lors de la fermentation par les levures, le glucose est métabolisé en pyruvate par la voie glycolytique, également appelée voie d'Embden-Meyerhof. Ce processus, localisé dans le cytosol, permet à la cellule de levure d'assimiler les sucres présents dans son environnement.

- Dans un premier temps, La dégradation du glucose en glycéraldéhyde-3-phosphate implique quatre réactions enzymatiques consommatrices de deux molécules d'ATP, transformées en ADP.

$$C6H12O6 + 2\ ATP => 2\ GAP + 2\ ADP\ (1)$$

- Dans un second temps, La conversion du glycéraldéhyde-3-phosphate en pyruvate génère de l'énergie sous forme d'ATP et produit également du NADH.

$$2\ GAP + 4\ ADP + 2\ H2PO4– + 2\ NAD+ => 2\ CH3COCOO– + 4\ ATP + 2\ NADH + 2\ H+ + 2\ H2O\ (2)$$

→ D'après [1] et [2], le bilan de la glycolyse s'écrit :

$$C6H12O6 + 2\ ATP + 2\ ADP + 2\ H2PO4– + 2\ NAD+ => 2\ CH3COCOO– + 4\ ATP + 2\ NADH + 2\ H+ + 2\ H2O$$

Ensuite, La fermentation convertit le pyruvate en acétaldéhyde, puis en éthanol, en oxydant le NADH, d'où le nom de « fermentation alcoolique ».

L'équation globale de la fermentation alcoolique a été décrite dès 1815 par Louis Joseph Gay-Lussac :

$$C6H12O6 + 2\ ADP => 2\ C2H5OH + 2\ CO2 + 2\ ATP$$

3. Conservation du levain

La conservation du levain dépend de la température et du temps : au-delà de huit heures, son activité diminue et nécessite un rafraîchissement ou un repos au froid (6 à 10 °C). Avec le temps, les bactéries lactiques hétérofermentaires l'enrichissent en acides et en CO_2, améliorant

la fermentation. Pour le revitaliser, il faut le réchauffer progressivement et le nourrir avec de la farine intégrale **[11].**

3.1.Techniques pour les longues durées

Il existe à priori 2 techniques pour conserver le levain

- ✓ La déshydratation
- ✓ La congélation

a) La déshydratation

- La technique des petites boules consiste à sécher le levain sous forme de pâte ferme divisée en billes, puis séchée à l'air libre et au four à 40 °C. Une fois sèches, les billes sont conservées à l'abri de l'humidité. Pour réactiver le levain, il suffit de les réduire en poudre et de les mélanger avec de l'eau tiède et de la farine, puis de le rafraîchir pendant quelques jours **[11]**.
- La technique des pellicules fines consiste à étaler le levain à son pic d'activité en fine couche sur du papier sulfurisé, puis à le laisser sécher jusqu'à ce qu'il soit complètement sec et blanchâtre. Une fois détaché, il est émietté et conservé dans un récipient hermétique, à l'abri de la lumière et de l'humidité **(**figure 7) **[11]**.



Figure 7: La méthode des pellicules fines **[11].**

Pour réactiver un levain séché par la méthode des pellicules fines, on le mélange à parts égales avec de l'eau tiède et de la farine. Il retrouve son activité en 24 à 36 heures, selon la température ambiante et la vigueur initiale du levain **[11].**

b) La congélation

La congélation est la méthode la plus délicate, car elle affaiblit fortement le levain. Celui-ci est placé bien actif dans un récipient hermétique puis congelé. Pour le réactiver, il faut le décongeler à température ambiante et le nourrir régulièrement. La reprise d'activité prend généralement 24 à 36 heures, mais elle est souvent plus lente qu'après une déshydratation, en raison de la mortalité cellulaire liée au froid. Toutefois, un levain vigoureux avant congélation peut se réactiver efficacement **[11].**

4. Panification du pain

La panification regroupe les étapes de fabrication du pain à partir de farine de blé, d'eau, de sel et éventuellement d'additifs. Ces derniers visent à améliorer les propriétés rhéologiques, structurales et fermentaires de la pâte **[85].**

4.1.Les étapes de panification

Le processus de panification s'organise en une succession d'opérations unitaires. Il requiert la maîtrise de chacune de ses étapes ainsi qu'un savoir-faire spécifique **[86].**

La panification au levain naturel fait partie des méthodes de fabrication répertoriées dans la classification officielle **[10]**.

4.1.1. Pétrissage

Le pétrissage est la première étape du processus de panification. Il consiste à homogénéiser les ingrédients tout en incorporant de l'air. Cela favorise la multiplication des levures, l'hydratation du gluten et la formation d'un réseau protéique capable de retenir l'oxygène et l'amidon. Ce dernier, une fois hydraté, subit une transformation enzymatique en sucres assimilables par les micro-organismes (figure 8) **[87]**.

Le pétrissage comprend deux phases : le frasage et le pétrissage proprement dit. Le frasage, effectué à vitesse lente, permet de mélanger les ingrédients et d'hydrater la farine, facilitant l'incorporation de l'eau au gluten et à l'amidon. Cela favorise le gonflement des protéines glutineuses et la formation d'un réseau structuré (figure 9). Le pétrissage, quant à lui, s'effectue à une vitesse plus élevée (environ deux fois celle du frasage) et vise à développer ce réseau glutineux **[20]**.



Figure 8: Le pétrissage**[21].**

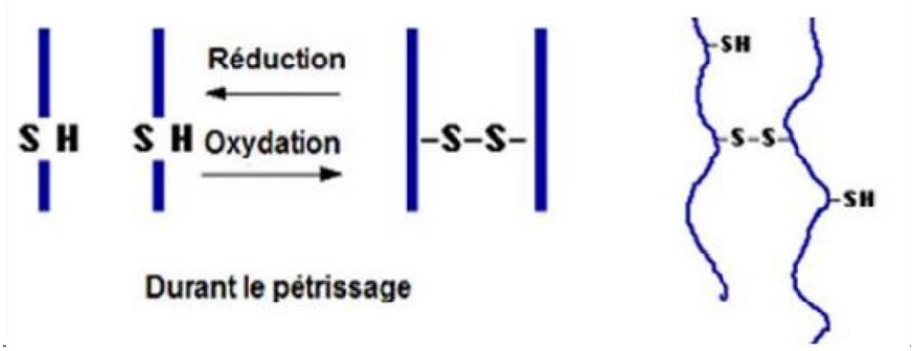


Figure 9: Shima représentatif de la fermentation du gluten durant le pétrissage**[95].**

4.1.2. Pointage

Le pointage, ou première phase de fermentation, débute dès le contact des levures avec la pâte composée de farine et d'eau. Il permet d'abord de renforcer la pâte en modifiant la structure du gluten, rendant la pâte plus tenace, élastique et moins extensible, et formant un réseau capable de retenir le dioxyde de carbone. Ensuite, cette phase favorise le développement de la flaveur du pain grâce à la formation de composés aromatiques variés, tels que des acides propionique, pyruvique, acétique, lactique, ainsi que des aldéhydes et cétones, qui contribuent à l'arôme final **[88].**

4.1.3. La division et boulage

La pâte est d'abord décuvée, puis répartie en portions égales dans des bacs avant d'être divisée en boules de poids identique appelées « pâtons » (figure10), chacune destinée au façonnage d'un pain **[89]**.



Figure 10: Le pointage**[10].**

4.1.4. La détente

Les pâtons sont à nouveau laissés au repos. Cette étape permet au réseau de gluten de se détendre après les phases de division et de boulage. Sans ce temps de repos, le réseau de gluten risquerait de se déchirer lors du façonnage**[10]**

.

4.1.5. Le façonnage

Le façonnage consiste à façonner chaque pâton selon la forme désirée (baguette, boule, etc.). Pendant cette étape, les amylases continuent de dégrader l'amidon en sucres fermentescibles (glucose, maltose), qui alimenteront la deuxième fermentation**[88]**.



Figure 11: Le façonnage **[10].**

4.1.6. L'apprêt

L'apprêt constitue la deuxième phase de fermentation appliquée aux pâtons boulés. Elle s'effectue également dans une enceinte thermostatée, à une température comprise entre 20 et 25 °C **[89]**.

La levure transforme les sucres fermentescibles en CO_2, piégé par le réseau de gluten, ce qui fait gonfler la pâte et former des alvéoles. Plus la farine est raffinée, plus le gluten se distend, permettant de tripler le volume du pâton et de développer des arômes **[88]**.

4.1.7. Incision superficielle des pâtons

Les incisions réalisées sur les pâtons avant cuisson permettent d'éviter les déchirures de la croûte dues à la pression du CO_2 et à la chaleur, tout en favorisant la formation de grignes dorées et croustillantes, signe de qualité du pain **[88]**.

4.1.8. La Cuisson

La cuisson du pain s'effectue à une température d'environ 250 °C. Il est essentiel de préchauffer le four, car l'introduction des pâtons entraîne une perte de chaleur. La durée de cuisson varie généralement entre 40 et 60 minutes, en fonction de la taille des pains **[20]**.

La cuisson a pour objectif principal de gélatiniser l'amidon et de coaguler les protéines afin d'améliorer leur digestibilité. Elle permet également d'assurer une durée de conservation adéquate au produit en détruisant les enzymes et les micro-organismes **[10]**.

Chapitre III

Matériel et méthodes

Chapitre III : matériel et méthodes

1. Objectif du travail

L'objectif de cette étude vise à :

- ✓ Élaborer un levain naturel à base de farines de blé tendre complet et d'orge, destiné à la panification d'un pain diététique.
- ✓ Évaluer l'impact de l'incorporation du levain naturel sur les propriétés organoleptique et sensorielles du pain obtenu.

2. Lieu stage

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de la faculté de sciences de l'université de Médéa département Biologie et Ecologie.

3. Matériel utilisé

Pour la réalisation de notre étude, et plus particulièrement pour la préparation du levain, différentes matières premières ont été nécessaires (tableau 9), ainsi que divers équipements de laboratoire et milieux de culture spécifiques (annexe I).

Tableau 9: Liste de matières premier.

Matériel	**Description**
Farine	Le blé tendre (*Triticum aestivum*), complet de type T150, est originaire de la localité de Chellalat El Adhaoura, dans la wilaya de Médéa.
	L'orge *(Hordeum vulgare),* utilisée est originaire de la localité de Ridan et a été moulue à Djouab, située dans la wilaya de Médéa.
Levain	Le levain liquide a été réalisé à base de cette farine complète et d'orge.
Miel	Miel naturel multifloral local.

4. Préparation du levain liquide

4.1.Élaboration du levain liquide

Selon Brochoire (1996) **[47],** l'élaboration du levain constitue une phase essentielle de sélection et de développement des ferments, principalement à partir de la flore naturellement présente dans la farine et l'air ambiant. Il est recommandé d'enrichir les farines avec une source

glucidique, telle que le miel ou les fruits secs, afin d'apporter des sucres simples (glucose, saccharose, etc.) facilement assimilables par les levures et les bactéries.

Selon Camargo (2016)**[90]**, le processus de création du levain peut commencer uniquement avec de la farine et de l'eau. Toutefois, certaines formules incluent des ingrédients tels que des fruits (comme la pomme, le raisin ou l'ananas) voire même du sucre, dans leur composition.

Le récipient servant de contenant peut être un bol ou un bocal. Il doit être conservé dans un endroit peu éclairé, à l'abri de la lumière directe du soleil, de l'humidité et de la chaleur excessive. Le mélange doit être recouvert d'un chiffon propre, permettant une protection durable tout en assurant une oxygénation continue **[90].** Dans nos conditions de travail, nous avons utilisé différents ingrédients pour mener à bien l'obtention d'un levain naturel liquide (annexe I), (tableau 10 et 11).

Tableau 10: Formulation du levain liquide à base de farine d'orge.

Ingrédients	**Quantité (g)**
Farine d'orge	50
Eau potable	50
Miel multi-floral	10

Tableau 11: Formulation du levain liquide à base de farine de blé tendre complet.

Ingrédient	**Quantité (g)**
Farine blé tendre complet	50
Eau potable	50
Miel multi-floral	10

L'ensemble des ingrédients a été pesé puis homogénéisé pendant deux minutes à l'aide d'une cuillère en bois. Le mélange obtenu a ensuite été transféré dans un bocal en verre

hermétiquement fermé. Cette préparation a été laissée au repos pendant 24 heures à une température de 25 °C (figure 12).

Selon Boisseleau (2013)**[11]**, cette méthode de mise en route du levain chef est la plus couramment utilisée dans la pratique boulangère. En général, le levain effectue sa phase de maturation durant la nuit, offrant ainsi une plus grande flexibilité au boulanger dans l'organisation de son travail.

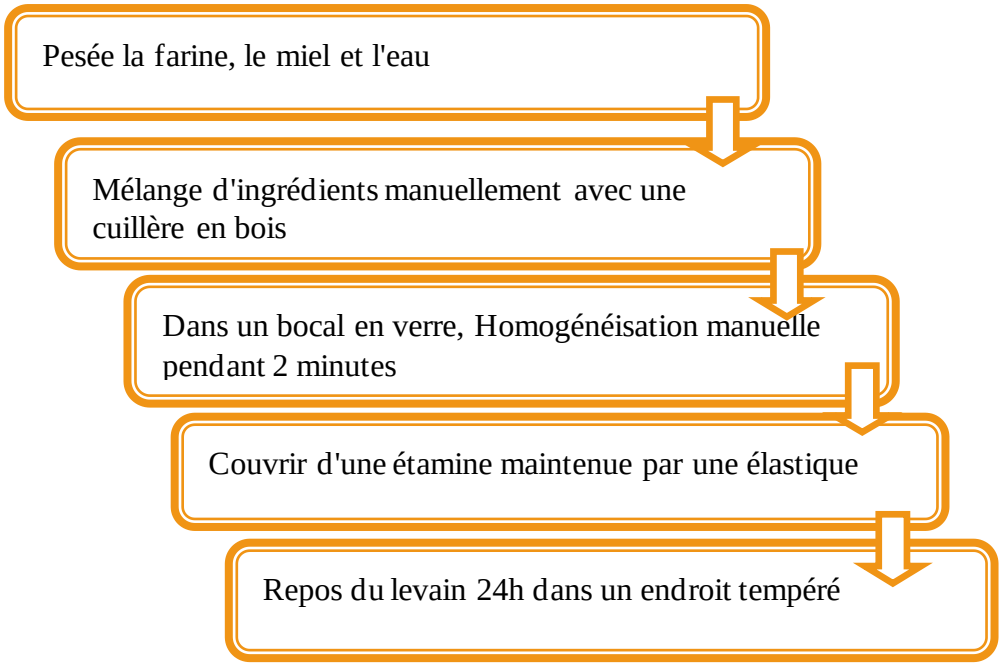


Figure 12: D'élaboration du levain liquide.

Chaque 24 heures, le mélange doit être rafraîchi par l'ajout de farine et d'eau, afin de nourrir les micro-organismes et de favoriser le développement des levures, jusqu'à atteindre la maturation, qui peut nécessiter jusqu'à une semaine**[91].**

À partir de 24 heures après le premier jour, le levain a été rafraîchi quotidiennement à 21 h, par l'ajout d'une quantité égale de farine et d'eau (tableau 12), et ce, pendant une durée de 29 jours. Deux prélèvements ont été réalisés le trentième jour : l'un destiné à diverses analyses, et l'autre à la préparation du pain.

4.2.Rafraichissement du levain

Le rafraîchissement du levain consiste à ajouter des éléments nutritifs, tels que l'eau et la farine, à une culture de départ, afin de favoriser le développement de la flore bactérienne et levurienne. À partir du levain-chef, plusieurs rafraîchissements successifs sont nécessaires pour stabiliser le levain **[47].** Notre levain a été rafraîchi à l'aide de farine de blé tendre complet et d'eau potable, tandis qu'un autre levain a été préparé avec de la farine d'orge et la même eau.

Tableau 12: Ingrédients pour le rafraichissement du levain à base de farine d'orge**.**

Ingrédients	Quantités (g)
Farine d'orge	50
Eau potable	50

Tableau 13: Ingrédients pour le rafraichissement du levain à base de farine de blé tendre complet.

Ingrédients	Quantité (g)
Farine de blé tendre complet	50
Eau potable	50

Des manipulations ont été réalisées dans des conditions d'asepsie rigoureuses, notamment par la désinfection des paillasses et de tout le matériel utilisé. Les manipulations ont été effectuées à proximité des flammes d'un bec Bunsen, et ce, jusqu'à la fin du protocole.

5. Isolement des bactéries lactiques

5.1.Milieu d'isolement

Le milieu utilisé pour l'isolement est le milieu MRS (Pronadisa, Madrid, Spain) qui a subi une stérilisation à 120°C pendant 15 à 20 min.

5.2.Préparation des solutions mère

5.2.1. Solution mère de la farine d'orge

L'isolement de bactérie est réalisé à partir de 25g de levain d'orge, ajoutés à 225 ml de TSE dans flacon stérile, bien agiter pendant 6 à 8 minutes.

5.2.2. Solution mère de la farine de blé tendre complète

L'isolement de bactérie est réalisé à partir de 25 g de levain de farine de blé tendre complète, ajoutés à 225 ml de TSE (annexe II) dans un flacon stérile, bien agiter pendant 6 à 8 minutes.

5.2.3. Préparation des dilutions

- Après homogénéisation de chaque solution, des dilutions décimales successives ont été réalisées pour obtenir des suspensions aux dilutions 10^{-6}, 10^{-7} et 10^{-8} **[92]** .
- Couler le milieu MRS stérile dans des boites de pétri.
- Après solidification du milieu,100 µl de chaque dilution ont été étalés séparément à la surface du milieu à l'aide d'un râteau stérile.
- Les boîtes ont été incubées à 37 °C et à 45 °C pendant 48 h à 72 h dans des conditions anaérobies.

Des observations quotidiennes de l'aspect macroscopique et microscopique des isolats sont réalisées.

5.3.Repiquage des souches

Après l'observation macroscopique des isolats, prélever une colonie de bactérie lactique à partir de chaque solution et l'inoculer dans des tubes stériles contenant du bouillon MRS (annexe II), puis incuber à 37 °C pendant 24 heures.

Ensuite, effectuer un repiquage par la méthode des stries sur milieu MRS.

5.4.Conservation des souches bactériennes

Les souches pures sont conservées sur le milieu MRS à 4°C pour une courte durée et sur milieu incliné de MRS + glycérol à-80°C pour une longue durée.

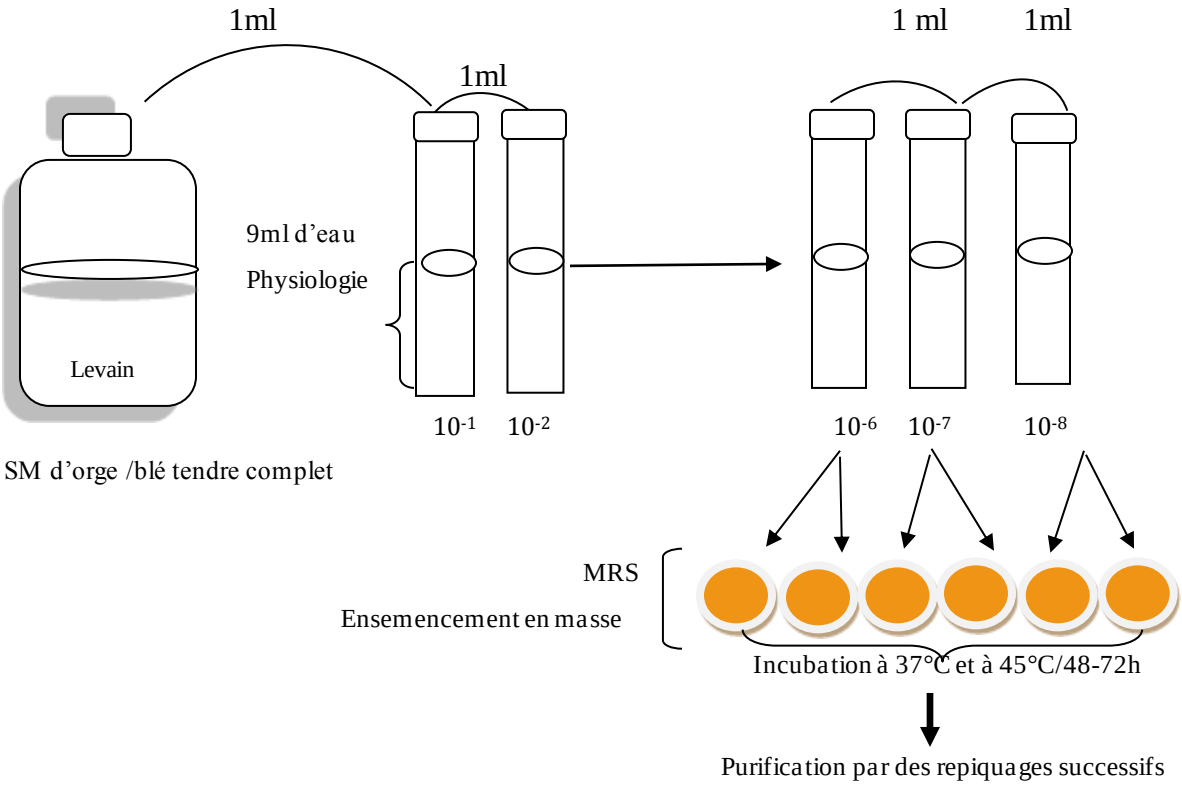


Figure 13: isolement des bactéries lactique à partir de farine d'orge et blé tendre complet.

6. Identification de bactéries lactiques

L'identification est établie en se basant sur des caractères morphologiques et des caractères biochimiques : catalase et oxydase.

6.1.Examens macroscopiques

L'examen macroscopique a été fait à l'œil nu par l'étude l'aspect des isolats (forme, taille, la couleur, l'aspect du trouble dans le bouillon).

6.2.Examens microscopiques

L'examen microscopique a été effectué par l'étude des caractéristiques des colonies à l'état frais et après coloration de Gram afin de déterminer la mobilité, leur mode de regroupement et le type de Gram. La coloration est réalisée selon la méthode classique (annexe II) **[93]** .

L'observation microscopique est réalisée à l'aide d'un microscope optique (Gx100).

6.3.Test de catalase

La recherche de cette enzyme a été mise en évidence en déposant une colonie à étudier sur une lame additionnée d'une goutte d'eau oxygénée (10 volumes), un dégagement de bulle de gaz indique la présence de catalase **[94]** .

6.4.Test d'oxydase

Ce test a été effectué en déposant une colonie à tester sur un disque OX contenant le réactif tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride, après 2 à 3min l'apparition de la couleur violette indique que le test est positif **[95]**.

7. Isolement des souches levuriennes

7.1.Milieu d'isolement

Le milieu utilisé pour l'isolement est le milieu YGC (Yeast extract Glucose Chloramphenicol) sa composition est la suivante :

- Extrait de levure :5g/l
- Glucose :20g/l
- Chloramphenicol :0.1g/l (antibactériennes)
- Agar :20g/l

Stérilisation à 120°C pendant 20 min.

7.2.Préparation des dilutions

- Après homogénéisation des deux solutions mères déjà préparées, une série de dilutions décimales a été réalisée pour chacune d'elles jusqu'à la dilution 10^{-8}.
- Couler le milieu YGC stérile dans des boites de pétri.
- Après solidification du milieu, 100 µl de chacune des trois dilutions (10^{-6}, 10^{-7} et 10^{-8}) sont étalées séparément à la surface du milieu à l'aide d'un râteau.
- Incuber à 25°C pendant 2-7 jours.

Des observations quotidiennes de l'aspect macroscopique et microscopique des isolats sont réalisées.

7.3.Repiquage des souches

- Après l'observation macroscopique des isolants, les levures sont repiquées sur milieu YPGA (annexe II) par la méthode des stries
- Incuber à 25°C pendant 3 à 5 jours.

7.4.Purification des souches levuriennes

La purification des levures est effectuée par la méthode des stries sur YPGA. L'incubation des souches est effectuée à 25°C pendant 2 à 3 jours.

7.5.Conservation des souches levuriennes

Les souches pures sont conservées sur le milieu YPGA (annexe II) à 4°C pour une courte durée et sur milieu incliné de YPGA + glycérol à-20°C pour une longue durée.

8. Identification des levures

L'identification des levures isolées, selon les méthodes conventionnelles, repose sur la détermination de divers caractères culturaux, morphologiques et physiologiques **[96].**

8.1.Caractéristiques morphologiques

8.1.1. Aspect en milieu liquide

Les souches pures sont ensemencées sur milieu YPG liquide et incubées 3 jours à 25°C. Au cours de cette incubation, on vérifie la présence d'un trouble ou non, d'un voile, d'un anneau, de dépôt granuleux poussiéreux et la formation de gaz.

8.1.2. Aspects en milieu solide

Les souches pures sont repiquées sur YPGA par la méthode des stries. Les boites sont incubées 3 jours à 25°C puis laissées à la lumière et à la température ambiante pour favoriser l'apparition éventuelle de pigment.

L'observation des colonies est réalisée afin de décrire leur forme (contour régulier ou irrégulier, convexes ou concaves), leur aspect (brillant ou mat, visqueuse) et leur couleur…etc.

8.1.3. Caractéristiques microscopiques

8.1.3.1.Forme et taille des cellules

Afin de déterminer la forme et la taille des cellules de levures, un examen microscopique est réalisé à partir de jeunes cultures en milieu YPGA (incubées pendant 24 à 48 heures à 25 °C), sur lame à l'état frais, sous un grossissement de ×40 et/ou ×100.

8.1.3.2.Mode de reproduction

L'observation des structures de reproduction, sexuée et asexuée, est réalisée à l'état frais sur lame, au microscope optique, avec un grossissement de ×40 et/ou ×100. Les observations sont effectuées à partir de jeunes cultures cultivées sur milieu YPGA.

8.1.4. Coloration au bleu de méthylène

Cette méthode permet d'évaluer la viabilité des levures. Les cellules vivantes restent incolores car elles excluent le colorant, tandis que les cellules mortes se colorent en bleu. Une goutte de suspension de levure est mélangée à du bleu de méthylène à 0,1 %, puis observée immédiatement au microscope. C'est une méthode rapide et simple pour estimer la vitalité cellulaire**[97]**.

8.2.Caractéristiques physiologiques

8.2.1. Fermentation des sucres

Le test est réalisé selon la méthode classique. L'étude est effectuée dans des tubes à essai, chacun contenant une cloche de Durham, 4 ml de milieu de base et 2 ml de la solution du sucre à tester.

8.2.1.1.Milieu de base YP (Yeast Peptone)

La composition du milieu de base YP est la suivant :

- Extrait de levure 4.5g/l.
- Peptone 7.5g/l.

8.2.1.2.Solutions des sucres

Les sucres dont la fermentation a été testée dans cette étude sont : le D-glucose, le saccharose, le D-maltose et le D-lactose. Pour chaque sucre, une solution aqueuse stérile à 2 % a été préparée en dissolvant (2 g) de sucre dans 100 ml d'eau distillée.

Les solutions ainsi obtenues ont été stérilisées par autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes.

8.2.1.3.Ensemencement

Préparer une suspension à partir de chaque jeune souche. Ensemencer 100 µl de la suspension levurienne dans les tubes, la présence de gaz dans la cloche, témoigne la fermentation du sucre incriminé.

9. Mise en évidence des activités enzymatiques

La production d'enzymes est évaluée de manière qualitative sur milieu liquide. L'enzyme ciblée dans cette étude est l'uréase.

9.1.Préparation du milieu pour la détection de l'activité uréasique

Le bouillon utilisé pour la mise en évidence de cette activité est le bouillon d'urée de Stuart, enrichi à raison de 20 g/L d'urée (annexe II). Dissoudre tous les ingrédients dans un litre d'eau distillée, puis stériliser la solution à l'aide d'un filtre dont la taille des pores est de 0,22 µm. Répartir 2 ml du bouillon préparé dans des tubes stériles. Le milieu obtenu doit présenter une couleur jaune-orange. Conserver le bouillon au réfrigérateur, à une température comprise entre 4 et 8 °C, jusqu'à son utilisation. Ne pas chauffer le milieu, car l'urée se décompose à haute température**[98].**

9.2.Ensemencement du bouillon d'urée pour la détection de l'uréase

Utiliser un inoculum lourd provenant d'une culture pure de 18 à 24 heures pour inoculer le bouillon. Secouez doucement le tube pour suspendre les bactéries. Incuber les tubes avec les bouchons desserrés à 35°C. Observer le bouillon pour un changement de couleur à 8, 12, 24 et 48 heures. La production d'uréase est indiquée par une couleur rose vif (fuchsia) dans tout le bouillon**[98].**

9.3.Révélation

L'enzyme uréase peut être détectée directement par un changement de couleur dans l'ensemble du bouillon. Une réaction positive se manifeste par une coloration rose vif (fuchsia), indiquant la production d'ammoniac et l'alcalinisation du milieu. En revanche, une teinte jaune indique une réaction négative, traduisant l'absence d'activité uréasique **[95].**

10.Panification au levain liquide

La fabrication du pain au levain requiert un processus de panification spécifique, qui influence significativement le goût et les arômes du produit final **[99].**

La panification a été réalisée à l'aide d'un levain naturel liquide, rafraîchi régulièrement pendant 30 jours avant son utilisation. Deux types de farines ont été utilisés : la farine d'orge et la farine de blé complet. Pour chaque type de pain, les proportions des ingrédients ont été établies en prenant la farine comme base de référence (100 %).

Pour chaque pain, les ingrédients suivants ont été utilisés (tableau 14) **[89]**

- Farine : 800 g (100 %).
- Eau : 500 g (62,5 %).
- Levain naturel : 300 g (37,5 %).
- Sel : 16 g (2 %).

Tableau 14: Formulation du pain au levain.

Ingrédients	Quantités en gramme (g)	Pourcentages par rapport à la farine (%)
Farine	800	100
Eau	500	62,5
Sel	16	2
Levain	300	37,5
Miel	5	0,62

10.1. Étapes de la panification au levain

La préparation de la pâte à pain, qu'il s'agisse de pain d'orge ou de pain de blé complet, nécessite de la farine, de l'eau, du sel et du levain. Ces ingrédients sont mélangés lors de l'étape du pétrissage. La pâte obtenue repose ensuite une première fois : c'est le « pointage ». Elle est ensuite divisée lors de l'étape de « boulage », puis façonnée. Les pains façonnés subissent une seconde phase de repos appelée l'« apprêt », avant d'être enfournés pour la cuisson (figure 14) **[100]**.

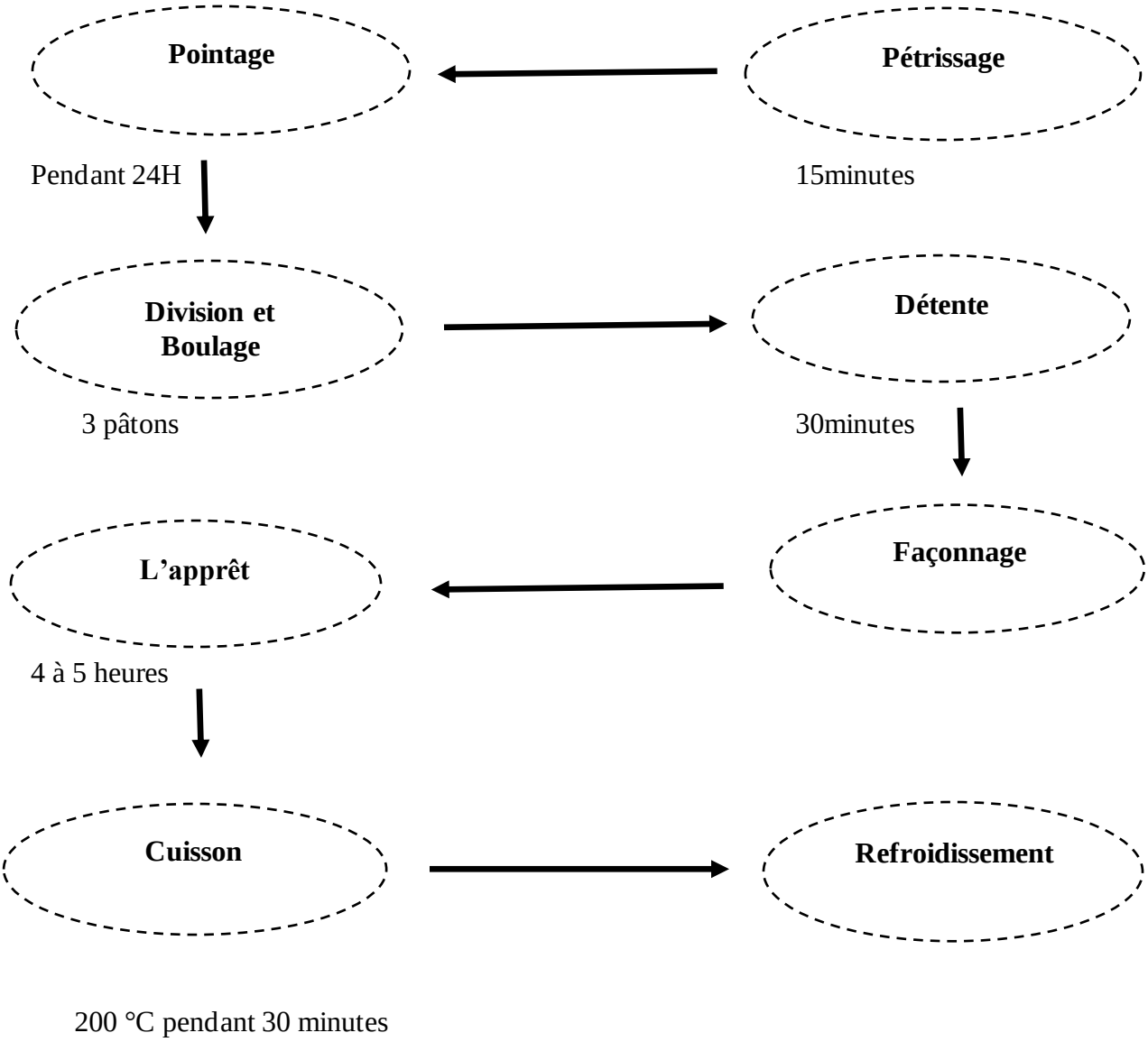


Figure 14: Diagramme de fabrication du pain au levain**.**

Étape 1 : Le pétrissage : est composée de deux étapes : le frasage et le pétrissage.

- ✓ **Frasage** : c'est la première étape du pétrissage, elle consiste à mélanger les ingrédients ensemble (figure 15).



Figure 15: étape de frasage (l'origine).

- ✓ **Le pétrissage :** Il consiste à développer le réseau glutineux de la farine dans le cas de farines de blé complet riches en gluten, et à structurer la pâte dans le cas de la farine d'orge, qui est pauvre en gluten. Se réalise comme :



Figure 16:Pétrissage manuel du pain d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine).

Étape 2 : Pointage

Il s'agit de la première fermentation des deux pâtes (à base de farine d'orge et de farine de blé tendre), qui dure 24 heures (figures 17). Chaque pâte, après pétrissage, est placée dans un récipient séparé, puis recouverte d'un film alimentaire transparent. Elles reposent pendant 24 heures afin de permettre le développement naturel des levures et des bactéries lactiques.



Figure 17: Le pointage de la pâte à base de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine)

Étape 3 : La division et le boulage

Il s'agit de diviser les deux pâtes (orge et blé tendre) en pâtons de poids identique (figure 18). Au cours de cette étape, chaque pâte a été portionnée séparément, et les pâtons ont été pesés individuellement à 50g chacun.



Figure 18: étape du boulage (l'origine).

Étape 4 : la Détente

Il s'agit d'un temps de repos de la pâte, préparée à base d'orge et de blé tendre complet, qui permet au réseau de gluten de se détendre après les étapes de division et de boulage (figure19).

Étape 5 : Façonnage

Il s'agit de donner des formes définitives aux pâtons fermentés (figure19).



Figure 19: La détente des pâtons à base de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine).

Étape 6 : L'apprêt

C'est la deuxième étape de fermentation appliquée aux pâtons boulés.

Étape 7 : Incision superficielle des pâtons

Il s'agit de donner des petits coups de lame faites sur la partie supérieure des pâtons ce qui forme des incisions appelées aussi des grignes (figure 20).

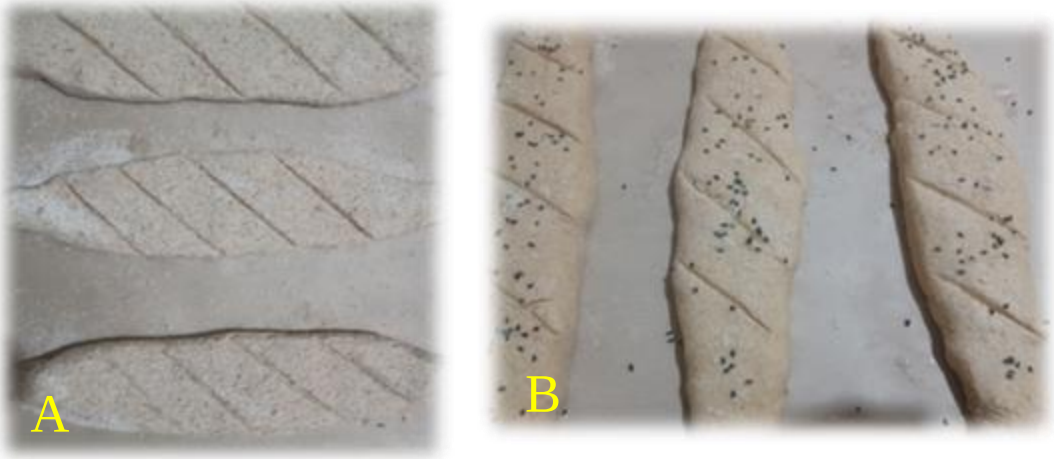


Figure 20: Incision des pâtons fermentés à base de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B) (l'origine).

Étape 8 : Cuisson

Les pâtons sont enfournés dans un four ménager préchauffer à 200 °C pour une durée de 15 à 30 minutes. L'humidité de la chambre de cuisson est contrôlée par l'injection de vapeur d'eau, ce qui permet de prévenir le dessèchement du pain et de favoriser le développement d'une croûte dorée, fine et croustillante.

10.2. L'analyse sensorielle du pain

L'analyse sensorielle s'applique à une large gamme de domaines, tels que le développement et l'amélioration des produits, le contrôle de la qualité, le stockage ainsi que l'optimisation des procédés de fabrication**[101]** .

L'analyse sensorielle constitue une discipline multidisciplinaire qui repose sur l'évaluation méthodique des propriétés organoleptiques des produits à l'aide des cinq sens (vue, odorat, goût, toucher et ouïe), mobilisés par des dégustateurs formés. Elle permet de mesurer à la fois les caractéristiques sensorielles objectives et le niveau d'acceptabilité des produits alimentaires, ainsi que de nombreux autres types de produits**[101]**.

L'évaluation sensorielle des aliments est une approche technologique visant à déterminer leurs propriétés sensorielles ou organoleptiques, c'est-à-dire les effets qu'ils exercent sur les différents organes des sens, stimulés avant et pendant leur ingestion **[102]**. La couleur, l'odeur et le goût sont des facteurs de l'appétence de l'aliment.

Les pains au levain sont soumis à une évaluation sensorielle réalisée en laboratoire par un panel de dégustatrices âgées de 19 à 35 ans, dans le but d'apprécier différentes caractéristiques organoleptiques telles que la croûte, la mie, l'odeur et le goût. La couleur ainsi que la texture de la croûte et de la mie sont décrites à l'aide d'adjectifs comme : lisse, rugueuse, homogène, hétérogène, faible, moyenne ou élevée. En ce qui concerne l'odeur et le goût, ces paramètres sont évalués à l'aide d'une échelle d'appréciation sensorielle comprenant les modalités suivantes : pas du tout d'accord, pas d'accord, neutre, d'accord, tout à fait d'accord. Afin de faciliter la collecte et le traitement des données, des fiches de dégustation ont été élaborées pour chaque panéliste.

L'analyse statistique des résultats a été réalisée selon la méthode de Kramer (1960), qui repose sur le calcul de la moyenne des notes attribuées par les 10 dégustatrices pour chaque échantillon de pain, ainsi que sur la somme des rangs (classement des pains selon les scores obtenus). Selon cette méthode, une différence entre les différents échantillons de pain est considérée comme non significative lorsque le total des rangs se situe dans l'intervalle [14–22], au seuil de probabilité de 5 %**[103]** (annexe III).

10.3. Conduite des expériences

Pour réaliser cette étude, nous avons suivi trois étapes principales :

- ✓ Première étape : la rédaction de la fiche de dégustation.
- ✓ Deuxième étape : la réalisation de la séance de dégustation.
- ✓ Troisième étape : l'analyse des résultats.

10.4. Fiche d'évaluation sensorielle du pain au levain à base de farine d'orge et de blé tendre complet.

Nom : prénom : Age : sexe :

Avez-vous une allergie liée aux ingrédients du pain ? **Oui / Non.**

1. La croûte du haut vous paraît-elle : **Lisse /Rugueuse.**

2. La couleur de la croûte est-elle : **Homogène/Hétérogène.**

3. L'alvéolage vous paraît-il : **Homogène/Hétérogène.**

4. Le nombre de bulles sur la croûte du bas est : **Faible/ Moyen/ Élevé.**

5. Le nombre de miettes après découpage est : **Faible/Moyen/Élevé.**

6. La taille des alvéoles est : **Petites/Moyennes/Grosses.**

Veuillez cocher la case correspondant à votre degré d'accord avec les affirmations suivantes :

(Pas du tout d'accord –Pas d'accord –Neutre –D'accord –Tout à fait d'accord)

7. La couleur de la croûte est plus brune que la normale.

8. La croûte est plus épaisse que la normale.

9. La distinction de couleur entre la croûte et la mie est prononcée.

10. L'odeur du pain cuit est intense.

11. Le pain contient des alvéoles bien réparties.

Question ouverte

12. Comment décririez-vous le goût du pain en bouche ? Donner trois mots.

Chapitre IV

Résultats et discussion

Chapitre IV : résultats et discussion

1. Caractéristiques du levain naturel

La fermentation au levain est un processus lent et progressif, caractérisé par l'établissement contrôlé de communautés microbiennes, principalement des levures et des bactéries lactiques. Ce processus conduit à la maturation du levain, état dans lequel il devient microbiologiquement stable et développe un arôme caractéristique, à la fois agréable et légèrement acidulé. Cette fermentation naturelle confère au pain des qualités sensorielles supérieures, notamment une saveur complexe, une texture spécifique, une meilleure digestibilité et une durée de conservation prolongée **[51].**

Durant la préparation du levain liquide, il a été constaté qu'un délai de quatre jours était nécessaire pour amorcer la fermentation des bactéries et levures naturellement et principalement présentes dans la farine, au fur et à mesure des rafraîchissements du levain. Cette opération consiste à ajouter chaque jour, à 21h, 50 g de farine et 50 g d'eau. Le but du rafraîchissement est de nourrir les levures et les bactéries lactiques responsables de la fermentation du levain, en leur apportant une source de glucides (principalement l'amidon), en présence d'eau **[47].**

Cette étude a permis de suivre l'évolution des caractéristiques microbiologiques et fermentaires de deux levains, l'un à base d'orge et l'autre de blé complet (tableau 15), depuis leur préparation jusqu'au 30^{éme} jour, mettant en évidence les différentes phases de leur développement.

La première journée a été consacrée à la préparation des deux levains, l'un à base d'orge et l'autre à base de blé tendre complet, puis chacun a été mis au repos pendant 24 heures à une température de 25 °C.

Tableau 15: Manifestation du levain pendant 30 jours à base de farine d'orge et de blé tendre complet.

Jours	**Manifestation du levain liquide**
2éme jour (1er rafraîchi)	La texture commence à changer (figure 21), on voit les premières bulles et l'odeur est différente.
3éme jour (2éme rafraîchi)	L'odeur est légèrement aigre, c'est le signe que la fermentation a bien commencé (figure 22). À ce stade une grande partie de la flore bactérienne de la farine est quasiment inhibée à cause d'un manque d'adaptation à l'environnement du levain.
4éme jour (3éme rafraîchi)	Levain caractérisé par une forte activité et une multiplication des microorganismes, il gonfle et mousse on sent une odeur acide, c'est un signe que le levain est vivant (figure 23).
5éme jour (4éme rafraîchi)	L'odeur devient de plus en plus acide, on remarque une multiplication des bulles fines (figure 24).
10éme au 30éme jour (10éme à 30éme rafraîchi)	Le levain présente un même comportement du 10*éme* au 30*éme*jour les bulles devient plus grandes, il présente une forte acidité (figure 25).



Figure 21: Levain deuxième jour (l'origine).

Jour 3 : Lors de cette première phase le potentiel redox de la farine diminue favorisant une très faible croissance des Entéro-bacteriaceae, des levures et des bactéries lactiques **[54].**



Figure 22: Levain liquide troisième jour (l'origine).



Figure 23: Levain liquide quatrième jour (l'origine).

À ce stade, les bactéries lactiques produisent des acides lactiques et acétiques qui diminuent le pH du levain. Cette acidification inhibe la croissance des Enterobacteriacea et favorise celle des levures**[54].**



Figure 24: Levain liquide 5^{éme} jour (l'origine).

Après 10 jours de rafraichis il est estimé qu'un levain est microbiologiquement stable **[54] .**



Figure 25: Levain liquide 10^{éme} au 30^{éme} jour (l'origine).

Selon Camargo (2016)**[90]**, lorsque le levain atteint sa maturité, il présente un aspect gonflé, une texture aérée et spongieuse, signes qu'il est pleinement activé et donc prêt à être utilisé pour la fabrication du pain (on parle alors de levain « tout point »). En tant que colonie d'organismes vivants, le levain nécessite un entretien rigoureux pour rester actif. Sa conservation dépend des conditions environnementales dans lesquelles il est stocké, et il peut être maintenu indéfiniment s'il est régulièrement nourri selon une routine adaptée.

Un levain «tout point» c'est le levain prêt à l'emploi issu d'un levain chef dont on a augmenté le volume afin d'en prélever une partie pour la fabrication du pain **[11].**

2. Identification des isolats de bactéries lactiques

2.1.Examen macroscopique

Les colonies isolées et purifiées sur gélose MRS présentaient une taille variable, une couleur blanchâtre ou laiteuse, un aspect bombé, et un diamètre compris entre 2 et 3 mm (figure 26). Dans les mêmes bouillons, les souches ont montré une turbidité surmontée d'une zone claire, ce qui traduit le caractère microaérophile des bactéries lactiques (figure27).

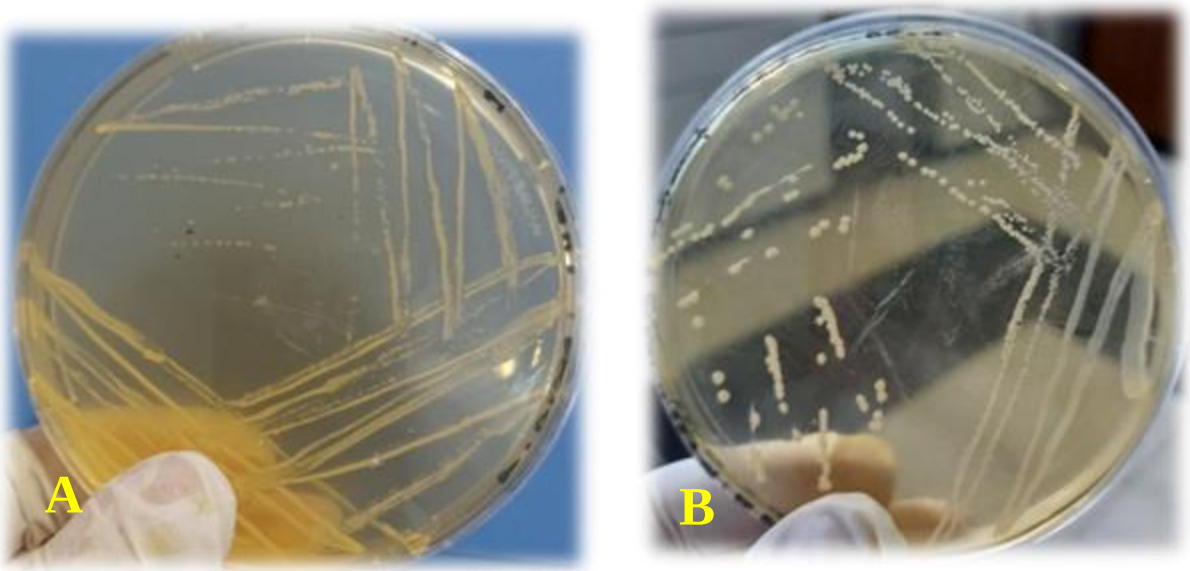


Figure 26: Aspect des bactéries lactiques sur gélose MRS isolées à partir de farine d'orge (A) et de blé tendre complet (B).

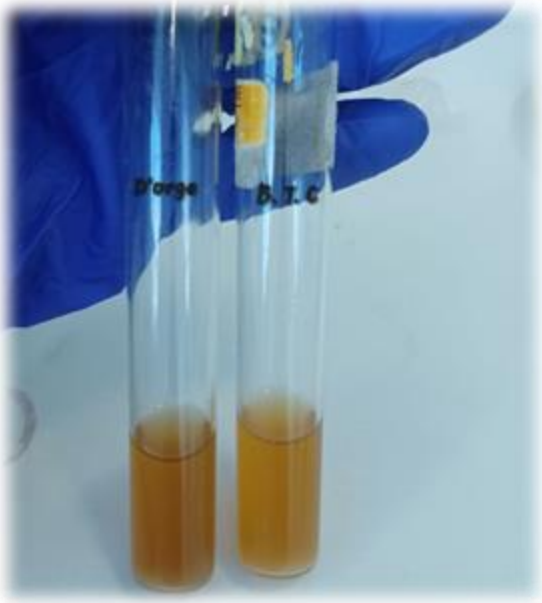


Figure 27: Aspect de la culture de bactéries lactiques dans le bouillon MRS.

2.2.Examen microscopique

L'analyse microscopique effectuée après la coloration de Gram a permis d'identifier la nature des populations microbiennes présentes. Pour les deux levains, élaborés à partir de farine d'orge et de blé tendre complet, l'observation a révélé une prédominance de bactéries à Gram positif. Celles-ci se présentaient majoritairement sous forme de bacilles, disposés en petites chaînes, traduisant une morphologie caractéristique de certaines espèces fréquemment rencontrées dans ce type de milieu (figure 28).

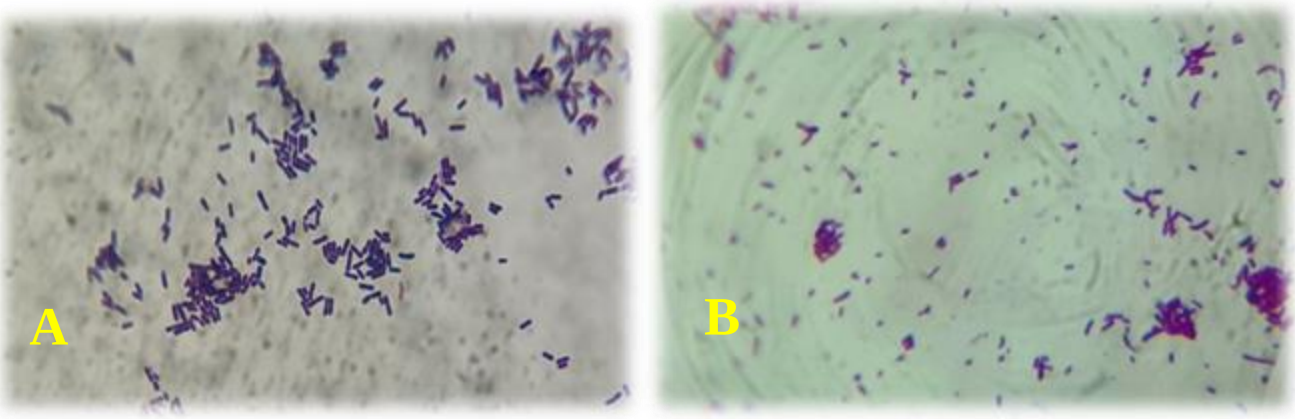


Figure 28: Aspect microscopique de bactéries observés dans les levains à base de farine d'orge(A) et de blé tendre complet (B) après coloration de Gram (G×100).

2.3.Test de catalase

Les résultats du test de catalase ont montré l'absence de réaction positive dans les deux levains, à base de farine d'orge et de blé tendre complet, ce qui suggère que les bactéries lactiques présentes dans ces préparations ne produisent pas de catalase. En effet, aucune formation de bulles d'oxygène n'a été observée après l'ajout de peroxyde d'hydrogène, indiquant une absence d'activité catalasique. Ce résultat est caractéristique des bactéries lactiques telles que les *Lactobacillus* et, dans une moindre mesure, *Lactococcus,* qui sont généralement catalase-négatives **[104]**.

L'absence de catalase dans ces levains ne compromet toutefois pas leur capacité à fermenter les sucres présents dans la farine, car la production d'acide lactique reste un processus indépendant de cette enzyme. Ces résultats confirment la présence de bactéries lactiques classiques dans les deux types de levains, mais sans activité catalasique, ce qui est typique pour ce groupe de micro-organismes.

2.4.Test d'oxydase

Le test de l'oxydase réalisé sur les levains à base de farine d'orge et de blé tendre complet s'est révélé négatif dans les deux cas. Aucune coloration violette n'a été observée après l'application du réactif, ce qui indique l'absence de l'enzyme cytochrome c oxydase.

Ce résultat est conforme aux caractéristiques biochimiques des bactéries lactiques, qui sont généralement oxydase-négatives. En effet, les bactéries du genre *Lactobacillus*, fréquemment présentes dans les levains naturels, sont des micro-organismes anaérobies facultatifs ou aérotolérants ne possédant pas les enzymes du système respiratoire aérobie classique. L'absence d'activité oxydasique confirme donc le profil métabolique fermentaire de ces bactéries, qui utilisent principalement la fermentation pour produire de l'énergie**[105].**

Ces observations sont cohérentes avec les résultats du test de catalase et renforcent l'hypothèse de la prédominance de bactéries lactiques typiques dans les deux types de levains étudiés.

Les analyses microbiologiques réalisées dans cette étude indiquent que les bactéries prédominantes dans les levains élaborés à partir de farine de blé complet et d'orge appartiennent au genre Lactobacillus, comme le suggèrent les tests négatifs de catalase et d'oxydase, ainsi que la coloration de Gram positive (violette) et la morphologie bacillaire des cellules, ce qui corrobore les données rapportées dans la littérature scientifique, tant ancienne que récente.

En effet, plusieurs travaux antérieurs **[73], [106]** ont mis en évidence la dominance naturelle de ce genre bactérien dans les levains spontanés, signalant la présence fréquente d'espèces telles que *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* ou encore *Leuconostoc mesenteroides* dans des levains préparés à base de farine de blé complet. D'autre part, des espèces comme *Lactobacillus fermentum* et *Weissella spp.* ont été isolées à partir de levains à base de farine d'orge **[6]**, connues pour leur tolérance aux milieux acides et pauvres en sucres fermentescibles.

Ces constats sont confirmés par des études plus récentes. Par exemple, il a été montré que *Lactiplantibacillus plantarum* (nouvelle classification de *L. plantarum*) améliore la qualité sensorielle du pain et prolonge sa durée de conservation grâce à la production d'exopolysaccharides**[107]**.

D'autres travaux ont mis en évidence l'importance du ratio des bactéries lactiques dans l'optimisation de l'activité antifongique du levain**[108]**. Par ailleurs, la présence de *Limosilactobacillus fermentum* (anciennement *L. fermentum*) et de souches du genre *Weissella* a également été observée dans des levains traditionnels, démontrant leur capacité d'adaptation à des conditions de culture défavorables telles qu'un pH acide et une faible teneur en glucides**[109]**.

Sur la base de ces observations, il est possible d'émettre l'hypothèse que le levain préparé à partir de blé complet serait majoritairement colonisé par des bactéries homofermentaires telles que *L. plantarum*, tandis que celui à base d'orge hébergerait des espèces acidotolérantes comme *L. fermentum*. Ces hypothèses devront néanmoins être confirmées par des techniques d'identification moléculaire, telles que le séquençage du gène 16S rRNA. Elles s'inscrivent par ailleurs dans la continuité des résultats rapportés dans la littérature scientifique concernant l'écologie microbienne des levains naturels.

3. Identification des isolats de levures

3.1.Caractéristiques morphologiques

Les observations microscopiques et macroscopiques de la morphologie cellulaire en milieux liquide et solide ont révélé des variations d'une souche à une autre.

Dans le cadre de notre étude, deux souches distinctes ont été identifiées : l'une isolée à partir de farine d'orge (D) et l'autre à partir de farine de blé tendre complet (B).

3.1.1. Caractéristiques macroscopiques

Sur milieu YPG et YPGA, on a étudié la forme, la taille, couleur ...etc.

3.1.1.1.Aspect en milieu liquide

Après l'incubation 10 à 20 jours à 25°C l'observation des cultures a montré la formation d'un dépôt qui représente la masse cellulaire (tableau16).

Tableau 16: Caractères culturaux des souches de levures isolées sur milieu YPG liquide.

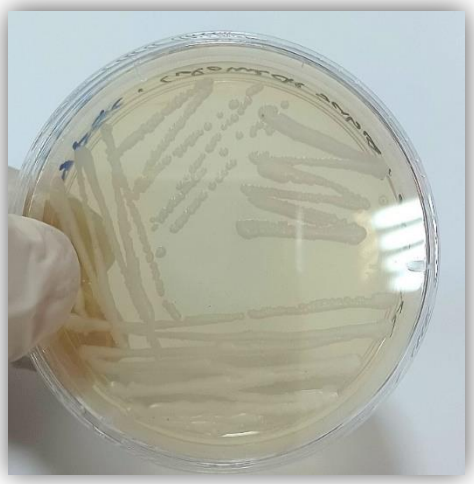
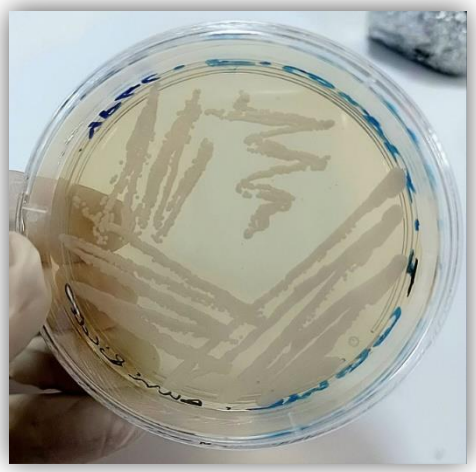
Code des Souches	Jour	Caractères culturaux sur milieu liquide				Vue le résultat sur tub
		Dépôt	Anneau	Pellicule	Voile	
D	10	+	–	–	–	 La forme Dépôt
	12	+	–	–	–	
	15	+	–	–	–	
	20	+	–	–	–	
B	10	+	–	–	–	
	15	+	–	–	–	
	20	+	–	–	–	

(+ : présence ; − : absence)

3.1.1.2.Aspects en milieu solide

Après une incubation de trois jours à 25 °C sur milieu YPGA, les résultats d'observation morphologique sont présentés dans le tableau 18. Il en ressort que les souches présentent des caractéristiques communes, notamment une forme cellulaire ovale, une surface lisse ainsi qu'un aspect bombé. Concernant la pigmentation, les colonies sont de couleur blanche à crème.

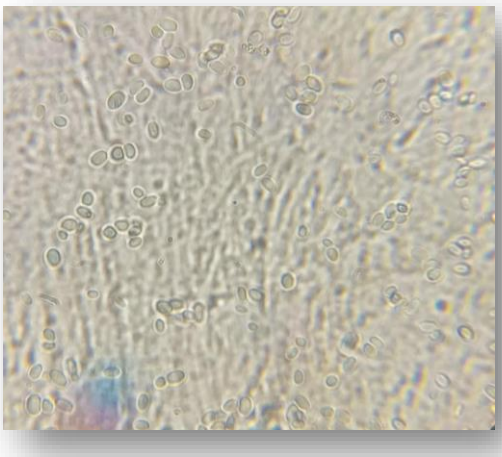
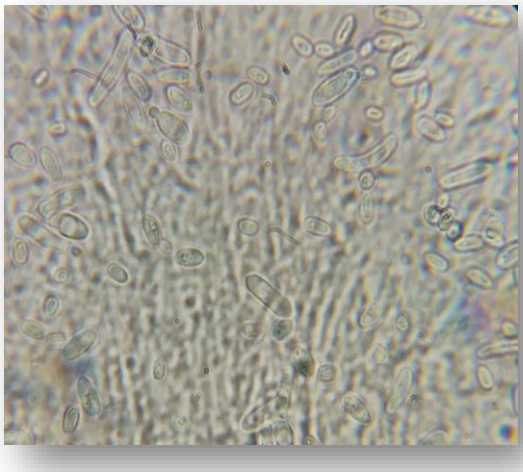
Tableau 17: Caracteres culturaux des souches de levures isolées après une culture de 3 jours sur YPGA à 25°C

Code des souche	Caractères culturaux sur milieu solide	Aspet des souche
D	Ronde, surface lisse et bombée, aspect brillant de couleur crème.	
B	Ronde, surface lisse et bombée, couleur variant du blanc au crème, aspect bien développé, opaque, dense et uniforme.	

3.1.2. Caractéristiques microscopiques

L'observation microscopique permet de déterminer la forme et la taille des cellules des levures sélectionnées (tableau18). La forme des cellules est ovoïde ou ovoïde allongée. La reproduction se fait par bourgeonnement, pouvant être unipolaire, bipolaire ou multilatéral (tableau 18).

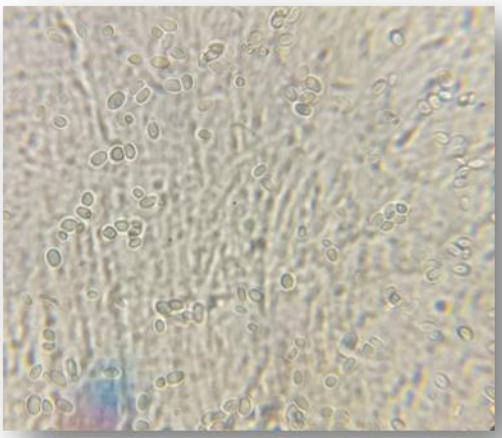
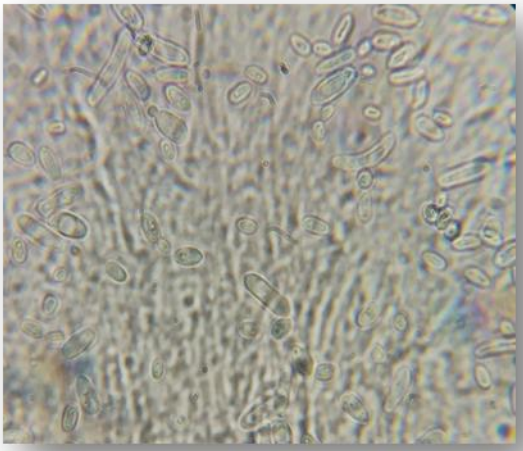
Tableau 18: Caractères morphologique des souches de levures isolées cultivées pendant 3 jours à 25°C dans YPGA.

Codes des souches	Forme et taille des cellule microscopique	Aspect microscopique (Grossissement x 100)
B	Cellules ovoïdes, de petite à grande taille, présentant un bourgeonnement multilatéral.	
D	Cellules ovoïdes allongées, de grande taille, avec un bourgeonnement unipolaire.	

3.1.3. Mode de reproduction

L'étude de la reproduction asexuée sur milieu YPGA a été réalisée, et les résultats sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19: Mode de reproduction des levures**.**

Code des souche	Mode de reproduction		Aspect microscopique (Grossissement x 100)
	Asexuée		
	Bourgeonnement	Mitoses	
B	+	−	
D	+	−	

(+ : présence ; − : absence)

3.1.4. Coloration au bleu de méthylène

L'observation microscopique après coloration au bleu de méthylène a révélé des différences notables entre les deux levains. Le levain élaboré à partir de farine de blé complet présentait une proportion élevée de cellules non colorées, indiquant une forte viabilité cellulaire. À l'inverse, le levain à base de farine d'orge montrait une proportion plus importante de cellules colorées en bleu, ce qui témoigne d'un taux plus élevé de mortalité cellulaire (figure 30).

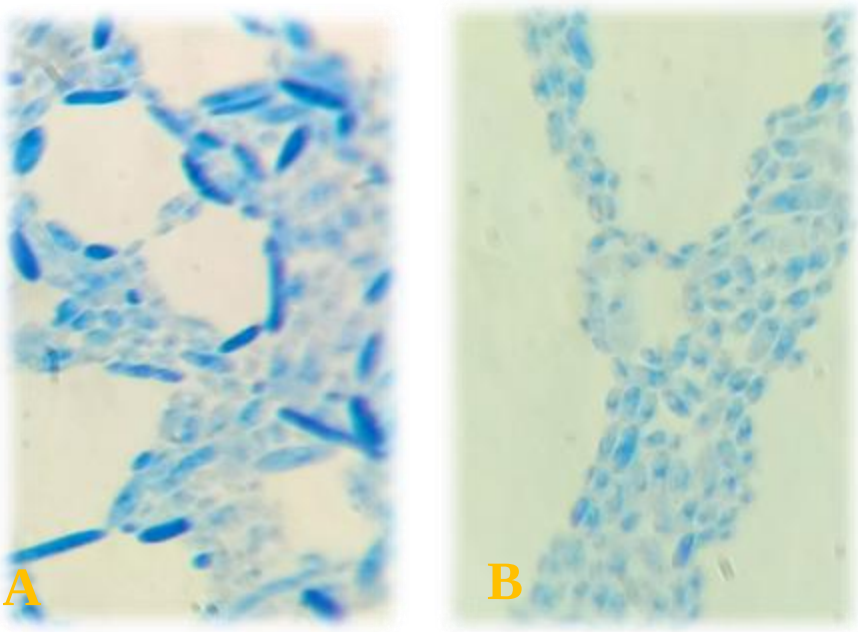


Figure 29: Aspect microscopique de levure observés dans le levain à base de farine d'orge (A) et blé tendre complet (B) après coloration de bleu méthylène (G×100).

3.2.Caractéristiques physiologiques

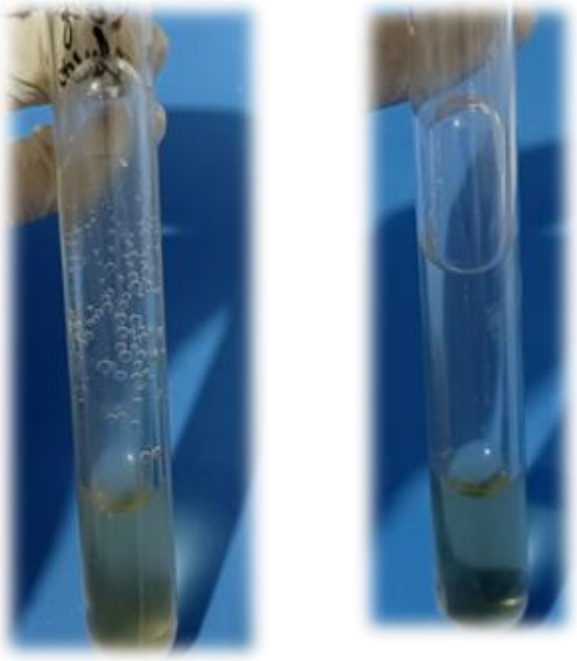
3.2.1. Fermentation des sucres

Les résultats de la fermentation des sucres par les levures sélectionnées sont regroupés dans le tableau 20.

Le test positif de la fermentation est reflété par la présence de gaz dans la cloche (figure 31).

Tableau 20: Résultats du test de fermentation de différents sucres par les isolats de levures (+ : présence ; - : absence).

Code des souches	Jour	Fermentation des sucre			
		Glucose	**Maltose**	**Saccharose**	**Lactose**
D	3	+	-	+	-
	7	+	-	+	-
	14	+	-	+	-
	21	+	-	+	-
	28	+	+ /-	+	+/-
B	3	+	+	+	-
	7	+	+	+	-
	14	+	+	+	-
	21	+	+	+	-
	28	+	+	+	-



\- +

Figure 30: Résultat du test de fermentation.

De ce tableau, il ressort que :

La souche D est capable de fermenter : le glucose et le saccharose (après 3 jour d'incubation), le lactose et le maltose (après 28 jours d'incubation).

La souche B est capable de fermenter le glucose, le saccharose et le maltose après trois jours d'incubation. En revanche, elle ne fermente pas le lactose.

3.3.Mise en évidence des activités enzymatiques

Ce test a été réalisé afin de mettre en évidence la production d'enzymes, en particulier l'uréase, par les levures sélectionnées cultivées en milieu liquide. Après une révélation spécifique (voir chapitre III « Matériel et Méthodes » P45), le test à l'uréase réalisé sur les souches issues des levains à base de farine d'orge et de blé complet s'est révélé négatif, comme en témoigne l'absence de changement de couleur du milieu, resté jaune après incubation. Cela indique que ces levures ne présentent pas d'activité uréasique détectable. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 32.

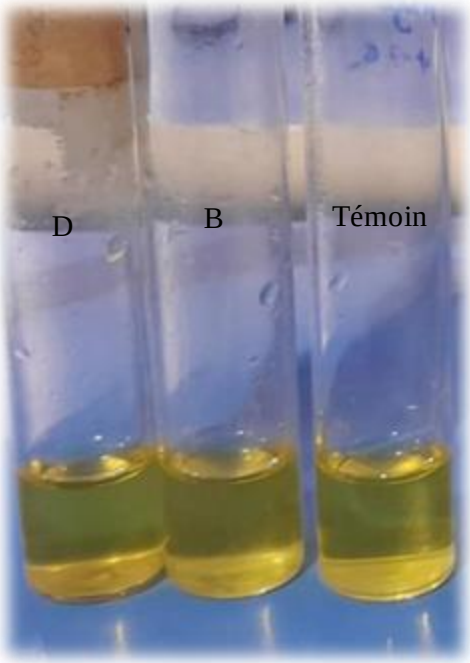


Figure 31: Résultat du test à l'uréase des souches levuriennes isolées des levains à base de farine d'orge (D) et de blé tendre complet (B).

Les résultats expérimentaux issus des analyses microbiologiques et biochimiques des deux levains naturels ont révélé une différence marquée dans la composition microbienne entre le levain à base de farine de blé complet et celui à base de farine d'orge. Ces observations ont permis de proposer une identification préliminaire des genres microbiens dominants, tout en soulignant l'influence directe de la nature de la farine utilisée sur la structure microbienne de chaque levain.

Ainsi, *Saccharomyces cerevisiae* semble dominer dans le levain préparé à partir de farine de blé complet, tandis que des levures du genre *Candida spp* (probablement *Candida milleri* ou *Candida humilis*) prédomineraient dans le levain d'orge.

Plusieurs éléments expérimentaux viennent appuyer cette hypothèse, notamment la morphologie ovoïde à ellipsoïdale des cellules observées au microscope, l'aspect typique des colonies levuriennes sur milieux de culture, ainsi que les résultats des tests de fermentation des sucres, qui ont révélé une activité fermentaire élevée chez les levures du blé, et plus lente chez celles de l'orge. Les résultats négatifs du test à l'uréase, conformes aux caractéristiques des levures de boulangerie, ainsi que l'absence de moisissures ou de levures contaminantes, témoignent de la qualité des conditions de préparation et d'une sélection naturelle efficace.

Cette distribution concorde avec les données de la littérature scientifique sur les écosystèmes microbiens des levains naturels. En effet, *Saccharomyces cerevisiae* est largement reconnue comme la levure de référence en panification grâce à sa capacité à produire une quantité importante de CO_2, contribuant ainsi au bon développement de la mie et du volume du pain **[110].** Sa dominance dans les levains à base de blé complet s'explique par la richesse de cette farine en sucres fermentescibles et en amidon endommagé, des facteurs favorisant sa croissance.

En revanche, le levain d'orge se caractérise par un environnement plus acide, une teneur plus élevée en bêta-glucanes et une plus faible teneur en gluten, ce qui favorise le développement de levures plus acidotolérantes comme *Candida humilis*. Plusieurs études ont démontré la capacité de ces espèces à coexister avec des bactéries lactiques productrices d'acide, en particulier dans les levains très hydratés ou élaborés à partir de farines moins panifiables**[6], [73].**

Ainsi, les résultats obtenus confirment que la composition microbienne des levains naturels est fortement influencée par la nature de la farine utilisée. Le blé complet favorise le développement de *S. cerevisiae*, tandis que l'orge constitue un milieu plus propice à

l'implantation de *Candida spp*, conformément aux observations déjà rapportées dans la littérature scientifique.

4. La panification au levain naturel

Les résultats obtenus lors de la fabrication des deux pains au levain naturel, l'un à base de farine d'orge et l'autre à base de la farine de blé tendre complet, ont révélé que, durant le pétrissage, les pâtes présentaient un aspect collant, une certaine élasticité, mais une extensibilité limitée.

- ✓ Le pétrissage est l'étape jugée la plus importante par de nombreux auteurs **[111], [112].** Il favorise, par l'action de la lipoxygénase, la formation des premiers composés volatils responsables de l'arôme et du goût du pain.

Par ailleurs, durant la phase de pointage jusqu'à l'apprêt, les pâtons ont présenté un aspect lisse et une texture ferme.

- ✓ Le temps de pointage influence de manière significative les qualités organoleptiques des pains élaborés à base de farine d'orge et de blé tendre complet. Durant cette phase de fermentation, la levure agit en milieu anaérobie sur les sucres dérivés de l'amidon, produisant du maltose et du dioxyde de carbone (CO_2). La durée du pointage permet ainsi de développer davantage les arômes et la saveur du pain. Toutefois, en raison de la faible teneur en gluten de l'orge, les effets du pointage peuvent différer par rapport à ceux observés avec le blé complet, notamment en ce qui concerne la texture finale et l'aération de la mie**[113].**
- ✓ Le façonnage manuel a montré un effet bénéfique sur la texture et le goût des pains à base de farine d'orge et de blé tendre complet. Il permet une meilleure structuration de la pâte, favorisant une mie plus souple et mieux aérée, bien que cet effet soit plus marqué dans le pain de blé, en raison de sa richesse en gluten. Par ailleurs, une cuisson à température modérée favorise le développement des arômes de la croûte par la réaction de Maillard, ainsi que celui de la mie grâce à l'estérification des composés volatils issus de la fermentation et à la dégradation des acides aminés soufrés présents dans la levure**[113].**

4.1.Appréciations de la qualité des pains

Selon Corsetti et Settanni (2007**)[106]**, La saveur et l'arôme du pain sont les principaux critères de qualité pris en compte par les consommateurs lors de l'achat de pain**.**

Hansen et Schieberle (2005)**[99],** Plusieurs facteurs influencent la saveur du pain au levain, notamment les composés aromatiques issus de la farine, ceux produits par les bactéries lactiques et les levures (dont la formation dépend de leurs interactions), ainsi que les précurseurs d'arôme générés par l'activité enzymatique de la farine et des micro-organismes. La cuisson contribue également à la production, mais aussi à la perte de composés volatils responsables de l'arôme. Dans le cadre de la préparation de deux pains élaborés à partir de levain naturel, l'un à base de farine d'orge et l'autre de blé tendre complet, l'acidification de la pâte par les LAB a permis d'obtenir une mie de meilleure structure ainsi que les caractéristiques sensorielles typiques du pain au levain **[114].**

En ce qui concerne l'arôme et la saveur des pains élaborés à partir de levain d'orge et de blé tendre complet, ils se caractérisent par des notes subtiles, délicates, légèrement acidulées et persistantes en bouche. Ces caractéristiques résultent de l'action des acides organiques et des stérols naturellement produits au cours du processus de fermentation **[115].**

La production de composés volatils dans les levains utilisés pour la préparation des pains est étroitement liée à l'activité des bactéries lactiques et des levures. La concentration en composés volatils aromatiques varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment la température et la durée de fermentation, le rendement de la pâte ainsi que sa teneur en eau **[99].**

4.2. Résultat Analyses sensorielles

D'après Watts et al (1991)**[101],** la dégustation ou analyse sensorielle, c'est la technique qui permet de goûter un pain et d'en apprécier les qualités, les parfums et les arômes. Cette dégustation se compose traditionnellement de trois étapes, qui demandent l'utilisation de nos cinq sens (la vue, le touché, l'ouïe, l'odorat et le goût)

Selon Bushuk (1985)**[116],** un bon pain doit être d'un grand volume, de belle forme de croûte de couleur et de texture agréable, de mie de bonne couleur à texture lisse bien alvéolée non uniforme. De même Calvel (1990)**[44],** caractérise le bon pain par son développement, par sa légèreté, par sa croûte bien lisse, dorée qui adhère à la mie aux coups de lames jetés et réguliers ainsi que par sa saveur et son odeur agréable**.**

De manière générale, et à partir de la figure 33, on peut observer le résultat de la panification au levain pour les deux types de pain



Figure 32: pain au levain élaboré à partir de farine d'orge et de blé tendre complet.

Le pain au levain présente une saveur acidulée caractéristique. Comparé au pain fermenté à la levure industrielle, l'utilisation du levain améliore les qualités sensorielles du produit final, aussi bien pour le pain à base de farine d'orge que celui à base de blé tendre complet **[69], [99]** du tableau 21, le résultat suivant :

D'un point de vue visuel, le pain au levain présente une croûte de couleur relativement hétérogène, avec une surface mate (figure 33). Le pain à base de farine d'orge (a) affiche une croûte plus pâle et plus rugueuse, tandis que celui à base de blé tendre complet (b) présente une croûte plus uniforme. Au toucher, les deux pains possèdent une croûte ferme. Ils produisent peu de miettes à la coupe, et la mie présente un alvéolage peu régulier, probablement en raison d'un affaiblissement du réseau gluténique causé par l'acidification du milieu, due à l'activité des bactéries lactiques du levain. La couleur de la mie varie du beige foncé au brun, selon le type de farine utilisé.

En ce qui concerne l'odeur, le jury de dégustation a décrit un arôme allant de naturel à légèrement acide, caractéristique des pains au levain. Quant au goût, les avis étaient partagés :

certains dégustateurs ont fortement apprécié la saveur typique du levain, tandis que d'autres l'ont jugée moins agréable.

Tableau 21: analyse sensorielle du pain au levain à base de farine d'orge et de farine de blé tendre complet.

	Pain d'orge		**Pain de blé tendre complet**	
Aspect	**Croûte**	**Mie**	**Croûte**	**Mie**
	Croûte de couleur pâle, mate, rugueuse, avec des incisions visibles. Aspect rustique.	Alvéolage peu régulier. Mie compacte, de couleur beige foncé.	À première vue la croute du pain est, lisse, mâte, brune, de taille marquée, crevassée, craquelée et croustillante	Avec un alvéolage moins régulier, compacte, aérée, serrée, beige foncé à marron
Consistance et texture	Ferme, rugueuse, légèrement épaisse. Peu de miettes au toucher.	Densité élevée, collante et granuleuse.	Craquante, croustillante, épaisse	Collante et granuleuse
Odeur	Naturelle à légèrement acide		Acide et naturelle	
Saveur	Acide et rustique, Peut être jugée agréable ou forte selon la sensibilité du dégustateur.		Agréable et acide	

4.3.Résultats du test de dégustation

Les caractéristiques organoleptiques ont été évaluées à l'aide du test Quick Rank, décrit par Kramer (1960) **[103]**. Cette méthode repose sur le calcul de la moyenne des notes attribuées par les dix panélistes pour chaque lot, ainsi que sur la somme des rangs, correspondant au classement des échantillons selon leurs scores. Selon cette approche, la différence entre les lots est considérée comme non significative lorsque la somme des rangs se situe dans l'intervalle [14–22], au seuil de probabilité de 5 %.

L'analyse sensorielle a porté sur les critères suivants : la couleur, l'odeur, la texture, le goût et l'alvéolage. Les échantillons évalués étaient les suivants : un pain à base de farine d'orge, un pain à base de farine de blé complet, ainsi qu'un pain d'orge élaboré à partir d'un levain naturel commercial, rafraîchi depuis plus de cinq ans par la boulangerie **Rey Del Pan**,

située dans la wilaya de Blida. Les résultats obtenus sont présentés sous forme d'un tableau récapitulatif (Tableau 22), ainsi que d'histogrammes illustrant les différentes caractéristiques évaluées (Figures 34,35,36,37,38).

Tableau 22:Récapitulatif des résultats de test de dégustations obtenus sur les pains.

Pains	D'orge		Blé tendre complet		D'orge commerciale	
Caractères	MS	SR	MS	SR	MS	SR
Couleur	3,2	18,5	3,1	17,5	3	21,5
Texture	2,5	23	3,1	15	2,4	21
L'alvéolage	3,2	22	3,8	15,5	3,5	18,5
Odeur	3,7	21	3,5	22	3,8	17
Gout	3,5	16,5	2,9	21	3,3	16,5

MS : moyenne des scores ; SR : sommes des rangs

- **Couleur**

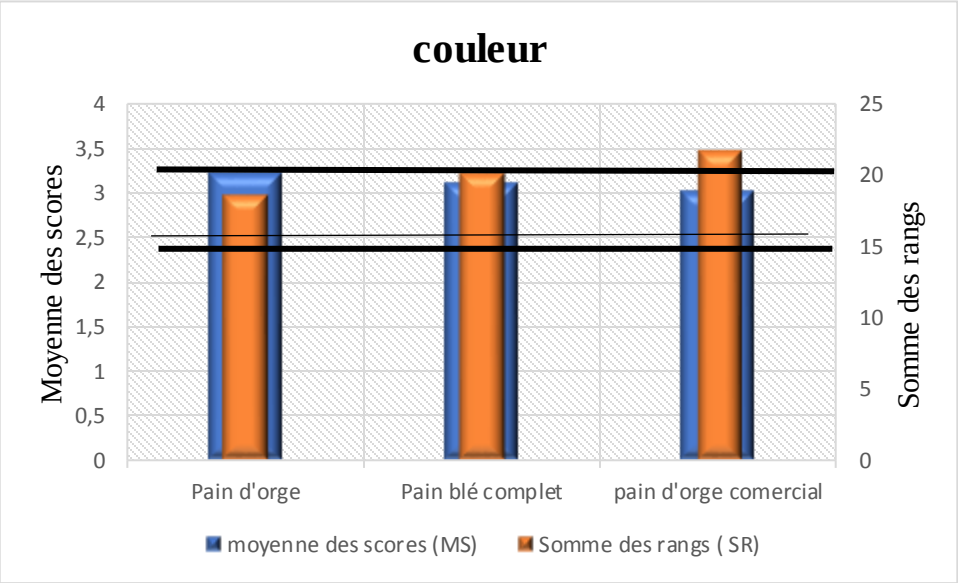


Figure 33: Histogramme des résultats de l'analyses de la couleur des pains au levain.

Limite d'acceptabilité de MS

L'intervalle de signification [14-22]

Selon **la somme des rangs (SR)**, les trois pains se situent dans l'intervalle de signification [14,22]. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence significative en couleur entre les trois pains. Cependant, pour le pain d'orge commerciale la sommes des rangs se situe au-dessus de la limite supérieure de signification, il est donc statistiquement mauvais.

Toutefois, **les moyennes des scores (MS)** attribuées par les panélistes aux trois types de pain sont supérieures à limite acceptable.

- **Texture**

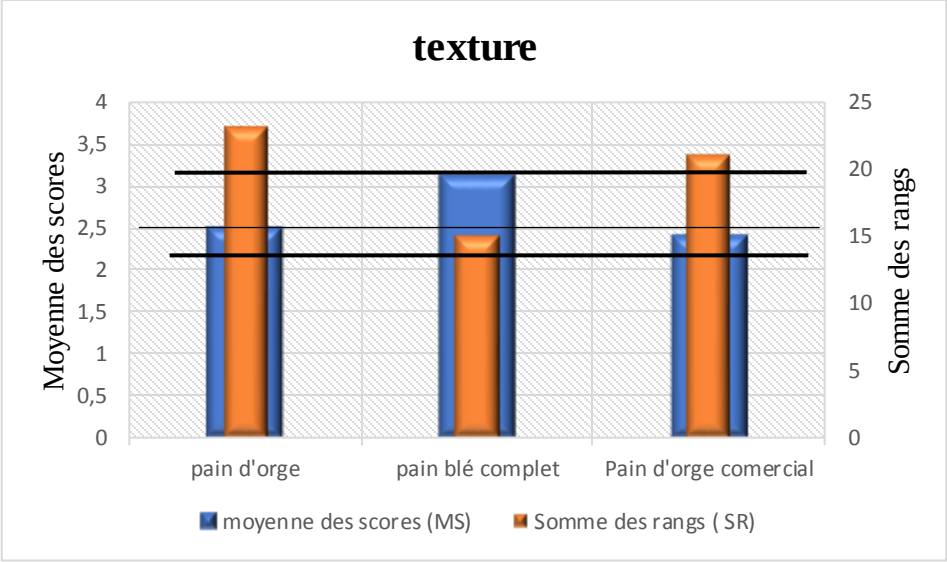


Figure 34: Histogramme de l'analyse de la texture des pains au levain.

Selon **la somme des rangs (SR)**, les trois pains se situent dans l'intervalle de signification [14,22]. Or, Les deux pains d'orge et d'orge commercial, présentent une somme des rangs (SR) supérieure à la limite acceptable, il est donc significativement mauvais

Par ailleurs, **la moyenne des scores (MS)**, texteur du pain blé complet est la mieux appréciée par les panélistes avec un score égale à 3.1.

- **Odeur**

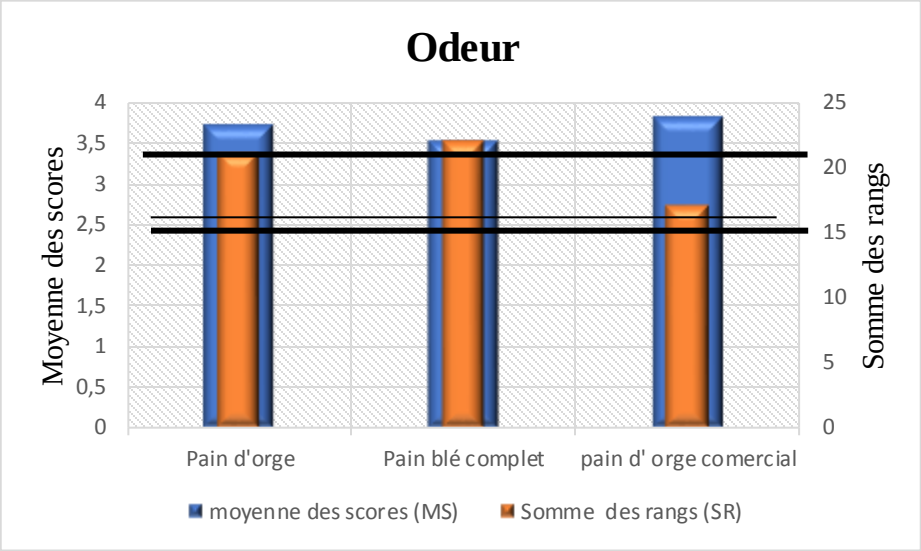


Figure 35: Histogramme des résultats de l'analyse de l'odeur des pains au levain

Selon **la somme des rangs (SR)**, Le pain de blé complet et le pain d'orge se situent au-dessus de la limite supérieure de signification ; ils sont donc statistiquement non significatifs. En revanche, pour le pain d'orge commerciale, la somme des rangs se situe dans l'intervalle de signification [14,22].

Selon **la moyenne des scores (MS)**, l'odeur du pain d'orge commerciale est la mieux appréciée par les panélistes avec un score égale à 3.8.

- **L'alvéolage**

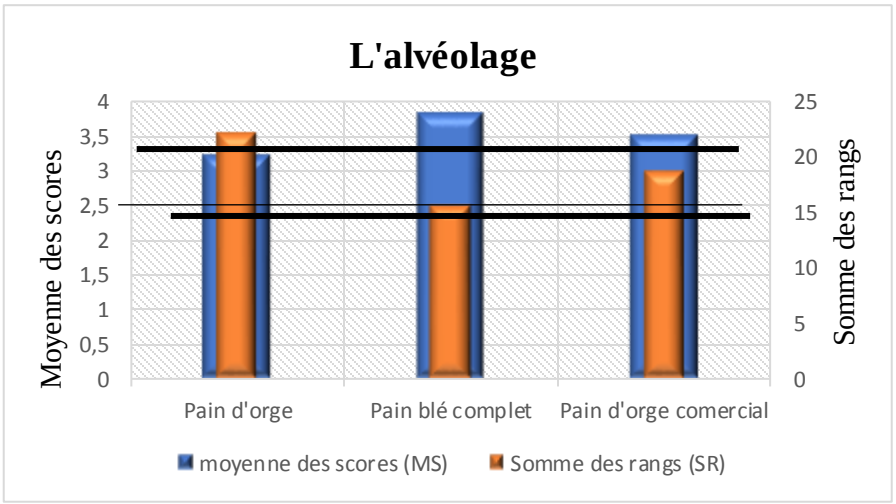


Figure 36: Histogramme des résultats de l'analyse de l'alveolage des pains au levain.

Selon la **somme des rangs (SR)**, les trois pains se situent dans l'intervalle de signification [14–22], Le pain de blé complet présente des résultats statistiquement bons : la somme de ses rangs est inférieure à la limite acceptable.

Toutefois **la moyenne des scores (MS),** les valeurs relevées pour les deux pains, à base d'orge et d'orge commerciale, sont relativement proches et excèdent la limite acceptable.

- **Goût**

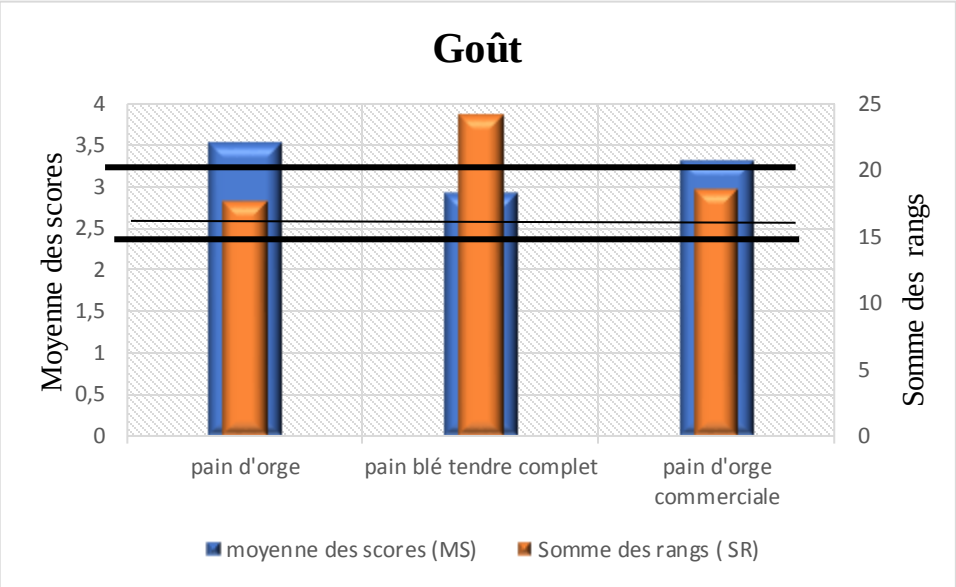
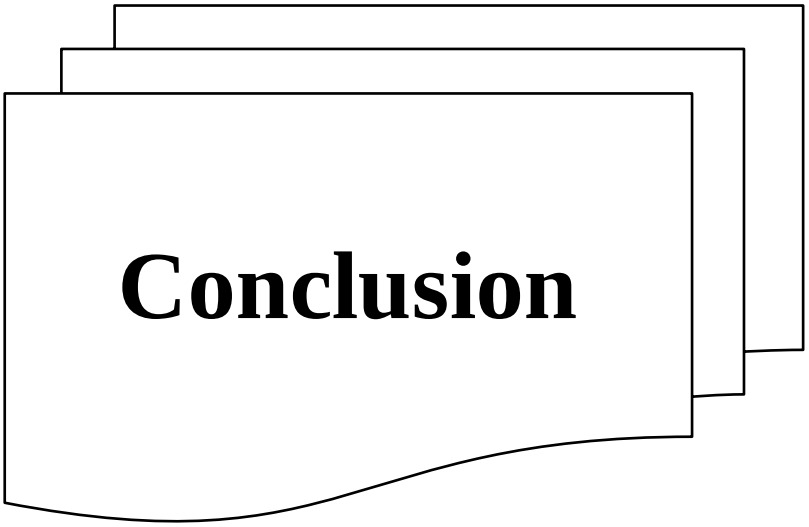


Figure 37: Histogramme d'analyse statistique du paramètre sensoriel (gout de la pâte) des différents pains au levain.

Selon **la somme des rangs (SR)**, des deux pain d'orge et d'orge commerciale dans l'intervalle de signification [14,22], cela signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux pains. Cependant, pour le pain de blé complet la sommes des rangs se situe au-dessus de la limite supérieure de signification, il est donc statistiquement mauvais.

Selon **la moyenne des scores (MS)**, nées pour les trois types de pain ne présentent pas une grande différence et sont supérieures à limite acceptable.


Conclusion

Conclusion

Cette étude a permis d'élaborer deux levains naturels liquides, à base de farine d'orge et de farine de blé complet, destinés à la panification naturelle comme alternatives saines aux levures industrielles. Ces levains, produits par fermentation spontanée, constituent une méthode ancestrale reconnue pour ses nombreux bienfaits nutritionnels et technologiques.

La préparation des levains, réalisée dans des conditions rigoureuses et contrôlées, a permis d'obtenir des cultures microbiennes stables et actives. Les analyses microbiologiques, combinant l'observation microscopique, les tests biochimiques, physiologiques et la recherche enzymatique, ont permis de caractériser les flores microbiennes présentes dans les deux types de levains naturels. Les isolements ont été réalisés sur milieux sélectifs spécifiques, à savoir le milieu MRS pour les bactéries lactiques et le milieu YGC (Glucose, Chloramphénicol, Agar) pour les levures. L'observation microscopique, effectuée à l'aide de la coloration de Gram et du bleu de méthylène, a permis d'identifier les types cellulaires, de distinguer les bactéries Gram positives (notamment les lactobacilles).

Les tests biochimiques ont inclus les épreuves catalase et oxydase, pour l'identification précise de certaines bactéries. En complément, des tests physiologiques, principalement basés sur la fermentation de différents sucres (glucose, lactose, maltose, saccharose), ont été réalisés afin de déterminer les profils fermentaires des souches isolées. Ces tests ont permis de mieux comprendre les capacités métaboliques des micro-organismes, en particulier leur aptitude à produire des gaz à partir de différents sucres.

Enfin, la recherche enzymatique a porté sur la mise en évidence de l'activité uréasique, dont l'absence chez toutes les levures isolées constitue un indice de qualité microbiologique, indiquant la dominance de souches non pathogènes et adaptées à l'environnement du levain.

Les résultats ont montré que le levain à base de farine d'orge contenait majoritairement des levures du genre *Candida*, tandis que celui élaboré à partir de farine de blé complet était dominé par des levures du genre *Saccharomyces*, notamment *S. cerevisiae*. Par ailleurs, des bactéries lactiques du genre *Lactobacillus* ont été isolées dans les deux levains, jouant un rôle essentiel dans l'acidification du milieu, le développement des arômes, ainsi que la conservation du produit fini. La composition microbienne obtenue reflète une fermentation stable, saine et adaptée à la panification traditionnelle.

L'évaluation sensorielle, réalisée auprès d'un panel de 10 personnes à l'aide de fiches de dégustation pour les pains au levain d'orge et de blé complet, ainsi que par un test de Kramer (1960) comparant trois types de pains (levain d'orge, levain de blé complet et levain

commercial à base d'orge), a révélé une nette préférence pour le pain au levain de blé complet, notamment en ce qui concerne sa texture, son odeur, sa couleur, son alvéolage et son goût.

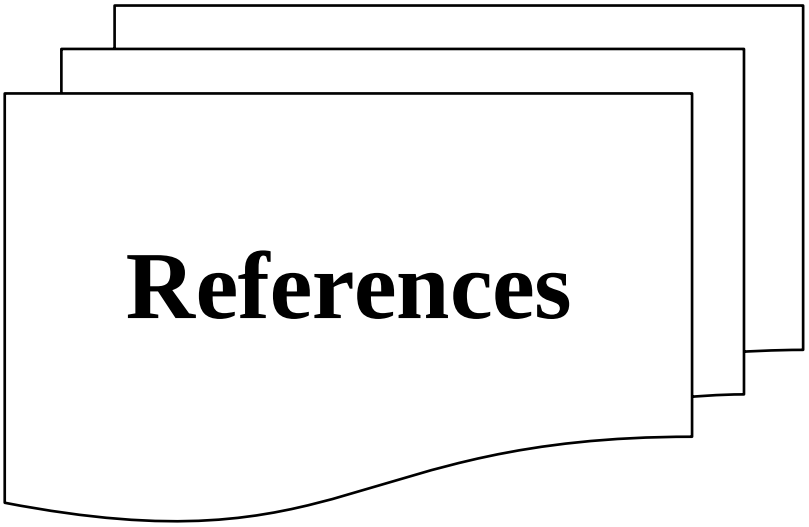
Il est important de noter que le levain naturel, bien entretenu, peut être conservé et utilisé efficacement sur de longues périodes, comme en témoignent les levains commerciaux actifs depuis plusieurs années, voire plusieurs décennies, garantissant une qualité constante et une panification traditionnelle.

Perspectives :

Malgré les résultats encourageants obtenus, certaines limites ont été relevées au cours de cette étude, notamment l'absence d'intégration de techniques de biologie moléculaire, telles que le séquençage de l'ADN ou la PCR, indispensables pour une identification plus précise des souches microbiennes.

Ainsi, il est recommandé :

- D'adopter des méthodes avancées d'identification génétique des micro-organismes afin d'affiner la caractérisation des levains,
- D'élargir l'évaluation sensorielle en incluant un panel plus large et plus diversifié,
- De mener des études complémentaires visant à approfondir les propriétés technologiques du pain produit à partir de ces levains.



References

References

[1] O. B. Oyewole, « Lactic fermented foods in Africa and their benefits », *Food Control*, vol. 8, nº 5-6, p. 289-297, oct. 1997, doi: 10.1016/S0956-7135(97)00075-3.

[2] M. J. R. Nout, « Rich nutrition from the poorest – Cereal fermentations in Africa and Asia », *Food Microbiol.*, vol. 26, nº 7, p. 685-692, oct. 2009, doi: 10.1016/j.fm.2009.07.002.

[3] J. Guyot, « Cereal-based fermented foods in developing countries: ancient foods for modern research », *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 47, nº 6, p. 1109-1114, juin 2012, doi: 10.1111/j.1365-2621.2012.02969.x.

[4] C. M. A. P. Franz *et al.*, « African fermented foods and probiotics », *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 190, p. 84-96, nov. 2014, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.08.033.

[5] A. Galati, F. A. Oguntoyinbo, G. Moschetti, M. Crescimanno, et L. Settanni, « The Cereal Market and the Role of Fermentation in Cereal-Based Food Production in Africa », *Food Rev. Int.*, vol. 30, nº 4, p. 317-337, oct. 2014, doi: 10.1080/87559129.2014.929143.

[6] F. Minervini, M. De Angelis, R. Di Cagno, et M. Gobbetti, « Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough », *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 171, p. 136-146, févr. 2014, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.021.

[7] R. F. Vogel, R. Knorr, M. R. A. Müller, U. Steudel, M. G. Gänzle, et M. A. Ehrmann, « Non-dairy lactic fermentations: the cereal world », in *Lactic Acid Bacteria: Genetics, Metabolism and Applications*, W. N. Konings, O. P. Kuipers, et J. H. J. H. In 'T Veld, Éd., Dordrecht: Springer Netherlands, 1999, p. 403-411. doi: 10.1007/978-94-017-2027-4_27.

[8] L. De Vuyst, S. Van Kerrebroeck, et F. Leroy, « Microbial Ecology and Process Technology of Sourdough Fermentation », in *Advances in Applied Microbiology*, vol. 100, Elsevier, 2017, p. 49-160. doi: 10.1016/bs.aambs.2017.02.003.

[9] B. Onno et P. Roussel, « Technologie et microbiologie de la panification au levain », in *Bactéries lactiques, Tome II*, 1994, p. 293-321.

[10] M. HARIA SUNERA et S. OUNNAS, « Essai d'élaboration d'un levain naturel en vue de son incorporation dans un pain diététique ». UNIVERSITé BLIDA 1, 2020.

References

[11] BOISSELEAU et PIERRE, « Quelles techniques pour bien réussir son levain? » FRAB Midi-Pyrénées - Fédération régionale des agriculteurs biologiques, 2013.

[12] L. Boutroux, *panification et le pain*, Premiére édition., 1 vol. in Encycolopédie de chimie industrielle et de métallurgie. paris: Librairie J.-B. Baillière et Fils, 1897.

[13] A. F. NEMICHE et R. H. BENAISSA, « Présenté par : - Amina Fadia NEMICHE - Racha Hiyem BENAISSA ». UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN, 2022.

[14] T. K. Bossou, « Caractéristiques de production et de sécurité sanitaire du pain - Une revue », *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 18, nº 8, p. 129-157, févr. 2022, doi: 10.19044/esj.2022.v18n8p129.

[15] A. N'DIAYE, H. CHIRON, G. D. VALLE, et P. ROUSSEL, « Développement d'un système expert d'aide à la panification française (AsCoPain) : application, au stade pétrissage, de la démarche de détermination de la qualité de la pâte en fonction des conditions de mise en œuvre du procédé », 2005.

[16] N. Fedala, L. Mekimene, M. Mokhtari, A. E. M. Haddam, et N. S. Fedala, « Consommation du pain en Algérie : état des lieux », *Ann. Endocrinol.*, vol. 76, nº 4, p. 570, sept. 2015, doi: 10.1016/j.ando.2015.07.917.

[17] C. Rémésy, F. Leenhardt, et A. Fardet, « Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d'une alimentation durable et préventive », *Cah. Nutr. Diététique*, vol. 50, nº 1, p. 39-46, mars 2015, doi: 10.1016/j.cnd.2014.07.005.

[18] B. S. Kamel et C. E. Stauffer, Éd., *Advances in Baking Technology*. Boston, MA: Springer US, 1993. doi: 10.1007/978-1-4899-7256-9.

[19] C. Urien, « Diversité des espèces de levures dans des levains naturels français produits à partir de farine issue de l'Agriculture Biologique: une étude pilote pour analyser les pratiques boulangères et les patterns des communautés microbiennes », UNIVERSITÉ PARIS-SUD, 2015.

[20] P. Gustavo Maldonado Alvarado, « FACTEURS DÉTERMINANTS DU POUVOIR DE PANIFICATION DE L'AMIDON DE MANIOC MODIFIÉ PAR FERMENTATION ET IRRADIATION UV », Thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2, 2014.

References

[21] P. Roussel, B. Onno, E. Michel, et D. Sicard, *La panification au levain naturel*. éditions Quae, 2020. doi: 10.35690/978-2-7592-3167-6.

[22] P. Sullivan, E. Arendt, et E. Gallagher, « The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods », *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 29, n° 2, p. 124-134, févr. 2013, doi: 10.1016/j.tifs.2012.10.005.

[23] M. S. Izydorczyk, « Chapter 9 - Barley: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements », p. 195-234, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-8.00009-7.

[24] M. Houde, N. Khodaei, N. Benkerroum, et S. Karboune, « Barley protein concentrates: Extraction, structural and functional properties », *Food Chem.*, vol. 254, p. 367-376, juill. 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.01.156.

[25] S. M. Bhatt et R. K. Gupta, « Bread (composite flour) formulation and study of its nutritive, phytochemical and functional properties », vol. 4(2), p. 254-268, 2015.

[26] B.-K. Baik et S. E. Ullrich, « Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest », *J. Cereal Sci.*, vol. 48, n° 2, p. 233-242, sept. 2008, doi: 10.1016/j.jcs.2008.02.002.

[27] M. P. Felizardo et J. T. Freire, « Characterization of barley grains in different levels of pearling process », *J. Food Eng.*, vol. 232, p. 29-35, sept. 2018, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.017.

[28] D. E. Briggs, *Malts and malting*. in internetarchivebooks; printdisabled. 1998.

[29] H. CHENOUI et H. CHERIF, « Etude de l'extrait aqueux de "l'Armoise"(Artemisia herba alba) comme herbicide biologique dans la lutte contre les adventices de céréales (cas de la culture d'Orge) ». Université Ibn Khaldoun–Tiaret, 2019.

[30] H. S. Arbouche, Y. Arbouche, F. Arbouche, et R. Arbouche, « VALEUR NUTRITIVE DE QUELQUES VARIÉTÉS D'ORGE ALGÉRIENNES POUR L'ALIMENTATION DES RUMINANTS », 2008.

[31] G. McIntosh, J. Whyte, R. McArthur, et P. Nestel, « Barley and wheat foods: influence on plasma cholesterol concentrations in hypercholesterolemic men », *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 53, n° 5, p. 1205-1209, mai 1991, doi: 10.1093/ajcn/53.5.1205.

References

[32] « TRANSFORMER DES CÉRÉALES ». MEMENTO DES OUTILS, 2020.

[33] C. par K. Tacos, « Qu'est-ce que la farine d'orge ? (De quoi est-il fait, substituts et plus) ». King-Tacos.fr, 3 novembre 2024.

[34] S. TEBIB et H. SEBROU, « caracteristique physico-chimique et sensorielle de couscous dorge ». 2019.

[35] A.-B. Stéphanie, « Farine dorge mondé:recettes et bienfaits ». Green Weez, 20 juin 2022.

[36] « Farine d'orge mondé ». Celnat.fr. [En ligne]. Disponible sur: http://www.celnat.fr

[37] P. Feillet, *Le grain de blé: Composition et utilisation*, Editions Quae. 2000.

[38] J. ABECASSIS et I.-U. IATE, « La Filière Blé dur », 24 novembre 2015.

[39] G. Charmet, « Wheat domestication: Lessons for the future », *C. R. Biol.*, vol. 334, nº 3, p. 212-220, févr. 2011, doi: 10.1016/j.crvi.2010.12.013.

[40] P. R. Shewry, « Wheat », *J. Exp. Bot.*, vol. 60, nº 6, p. 1537-1553, avr. 2009, doi: 10.1093/jxb/erp058.

[41] J. Dubcovsky et J. Dvorak, « Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication », *Science*, vol. 316, nº 5833, p. 1862-1866, juin 2007, doi: 10.1126/science.1143986.

[42] C. Bonneuil, E. Demeulenaere, F. Thomas, P.-B. Joly, G. Allaire, et I. Goldringer, « Innover autrement? La recherche face à l'avènement d'un nouveau régime de production et de régulation des savoirs en génétique végétale », *Doss. L'environnement L'INRA*, nº 30, p. 29-51, 2009.

[43] K. TADJOURI, « Contrôle de qualité de la farine Etude de Cas : les Grande Moulins du Sud OumachBiskra », MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, Biskra, 2023.

[44] R. Calvel, *Le Gout Du Pain*, Jérôme Villette. 1990.

[45] P. ELORA, « Du levain au pain. Approche anthropologique de l'usage du levain dans la fabrication du pain. », Fond de développement de recherche, Rapport de stage de master 2., 2014.

References

[46] INBP, « Spécial levain », 15 décembre 2019.

[47] G. Brochoire, A. Netter, B. Onno, I. Rio, P. Roussel, et C. Stéphan, « Levains et panification », *Nouv. Boulang. Pâtiss.*, vol. 49, nº (2), p. 1-21, 1996.

[48] B. Stéphan, « Levains et volume ». LESAFFRE, 2022.

[49] M. Lesage, « L'acide phytique : un facteur antinutritionnel des céréales », in *Qualité nutritionnelle des céréales*, Paris: INRA Éditions, 1995, p. 125-134.

[50] H. c van den Broeck, L. jwj Gilissen, et F. jph Brouns, « Wheat and gluten intolerance », p. 43, 2016.

[51] M. Gobbetti, C. G. Rizzello, R. Di Cagno, et M. De Angelis, « How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods », *Food Microbiol.*, vol. 37, p. 30-40, févr. 2014, doi: 10.1016/j.fm.2013.04.012.

[52] F. Batifoulier, M.-A. Verny, E. Chanliaud, C. Rémésy, et C. Demigné, « Effect of different breadmaking methods on thiamine, riboflavin and pyridoxine contents of wheat bread », *J. Cereal Sci.*, vol. 42, nº 1, p. 101-108, juill. 2005, doi: 10.1016/j.jcs.2005.03.003.

[53] L. De Vuyst, S. Van Kerrebroeck, H. Harth, G. Huys, H. M. Danie, et S. Weckx, « Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? », *Food Microbiology*, p. 11-29, February2014.

[54] E. Lhomme, « Caractérisation biomoléculaire des bactéries lactiques issues des levains de panification français. », Thèse de Doctorat, laboratoire de microbiologie alimentaire et industrielle, 2014.

[55] M. Gobbetti, M. D. Angelis, A. Corsetti, et R. D. Cagno, « Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria », *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 16, p. 57-69, 2005.

[56] K. D. D. Doguiet, « Biocontrôle des moisissures du genre fusarium productrices de fumonisines par sélection de bactéries lactiques autochtones de maïs », Thèse de doctorat, université bordeaux 1, 2010.

[57] B. M. LEVEAU J.Y, *Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel.*, Doc Lavoisier. in Sciences et techniques agroalimentaires. 1993.

References

[58] W. P. Hammes, M. J. Brandt, K. L. Francis, J. Rosenheim, M. F. H. Seitter, et S. A. Vogelmann, « Microbial ecology of cereal fermentations », *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 16, nº 1-3, p. 4-11, janv. 2005, doi: 10.1016/j.tifs.2004.02.010.

[59] R. S. Chavan et S. R. Chavan, « Sourdough Technology-A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review », *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 10, nº 3, p. 169-182, mai 2011, doi: 10.1111/j.1541-4337.2011.00148.x.

[60] T. A. Defosse *et al.*, « Les levures du clade CTG (clade Candida) : biologie, incidence en santé humaine et applications en biotechnologie », *J. Mycol. Médicale*, vol. 28, nº 2, p. 257-268, juin 2018, doi: 10.1016/j.mycmed.2018.02.009.

[61] J.-P. Guiraud, *Microbiologie alimentaire*, Nouvelle présentation 2003. in Appartient à la collection : Industries agroalimentaires. Paris : Dunod, 2003.

[62] S. Hencke, « Utilisation alimentaire des levures », Thèse de Doctorat, UNIVERSITE HENRI POINCARE - NANCY 1, 2000.

[63] A. GUILLIERMOND, *Les Levures*, BIBLIOTHÈQUE DE BOTANIQUE CRYPTOGAMIQUE 220. Paris: ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DU DE TOULOUSE, 1912.

[64] J.-P. Larpent, *Biotechnologie des levures*, Masson. Paris, 1991.

[65] A. T. M. LAICHE, « Production d'enzymes amylolytiques chez des souches levuriennes isolées à partir de deux origines (sol saharien et blé) et cultivées sur milieu à base de lactosérum », Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Ouargla, 2019.

[66] I. BOUQUADIDA, « Dosage d'alcool au cours de la production de la levure.Mise en place d'une nouvelle méthode (colorimétrie) », Projet de fin d'etude, université sidi mohamed ben abdellah, 2012.

[67] K. R. Sakharkar et M. K. Sakharkar, « Yeast Genomics for Bread, Beer, Biology, Bucks and Breath », in *Yeast Biotechnology: Diversity and Applications*, T. Satyanarayana et G. Kunze, Éd., Dordrecht: Springer Netherlands, 2009, p. 473-485. doi: 10.1007/978-1-4020-8292-4_22.

References

[68] J. Ramsayer et D. Sicard, « Explorer et conserver la diversité de la flore des levains, un potentiel en boulangerie. », *Innov. Agron.*, vol. 44, p. 45-54, 2015, doi: 10.15454/1.462200815153098E12.

[69] M. Gobbetti, « The sourdough microØora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts », *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 9, p. 267-274, 1998.

[70] A. N. Birch, M. A. Petersen, N. Arneborg, et Å. S. Hansen, « Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles », *Food Res. Int.*, vol. 52, nº 1, p. 160-166, juin 2013, doi: 10.1016/j.foodres.2013.03.011.

[71] A. N. Birch, M. A. Petersen, N. Arneborg, et Å. S. Hansen, « Influence of commercial baker's yeasts on bread aroma profiles », *Food Res. Int.*, vol. 52, nº 1, p. 160-166, juin 2013, doi: 10.1016/j.foodres.2013.03.011.

[72] A. Corsetti, J. Rossi, et M. Gobbetti, « Interactions between yeasts and bacteria in the smear surface-ripened cheeses », *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 69, nº 1-2, p. 1-10, sept. 2001, doi: 10.1016/S0168-1605(01)00567-0.

[73] L. De Vuyst, G. Vrancken, F. Ravyts, T. Rimaux, et S. Weckx, « Biodiversity, ecological determinants, and metabolic exploitation of sourdough microbiota », *Food Microbiol.*, vol. 26, nº 7, p. 666-675, oct. 2009, doi: 10.1016/j.fm.2009.07.012.

[74] F. Minervini *et al.*, « Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiotas of 19 Sourdoughs Used for Traditional/Typical Italian Breads: Interactions between Ingredients and Microbial Species Diversity », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 78, nº 4, p. 1251-1264, févr. 2012, doi: 10.1128/AEM.07721-11.

[75] S. A. Vogelmann et C. Hertel, « Impact of ecological factors on the stability of microbial associations in sourdough fermentation », *Food Microbiol.*, vol. 28, nº 3, p. 583-589, mai 2011, doi: 10.1016/j.fm.2010.11.010.

[76] R. Scriban, *Biotechnologie*, 5eme édition. Paris: Technique et documentation . Lavoisier, 1999.

[77] O. Käppeli, « Regulation of Carbon Metabolism in Saccharomyces cerevisiae and Related Yeasts », in *Advances in Microbial Physiology*, vol. 28, Elsevier, 1987, p. 181-209. doi: 10.1016/S0065-2911(08)60239-8.

References

[78] B. Aguilar-Uscanga et J. M. Francois, « A study of the yeast cell wall composition and structure in response to growth conditions and mode of cultivation », *Lett. Appl. Microbiol.*, vol. 37, nº 3, p. 268-274, sept. 2003, doi: 10.1046/j.1472-765X.2003.01394.x.

[79] N. van Uden et J. W. Fell, « Marine Yeasts », in *Advances in Microbiology of the Sea, Volume 1*, vol. 1, Londnes: Academic Press, 1968, p. 167-201.

[80] N. Rhind *et al.*, « Comparative Functional Genomics of the Fission Yeasts », *Science*, vol. 332, nº 6032, p. 930-936, mai 2011, doi: 10.1126/science.1203357.

[81] A. Hagman, T. Säll, C. Compagno, et J. Piskur, « Yeast "Make-Accumulate-Consume" Life Strategy Evolved as a Multi-Step Process That Predates the Whole Genome Duplication », *PLoS ONE*, vol. 8, nº 7, p. e68734, juill. 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0068734.

[82] E. Rozpędowska *et al.*, « Parallel evolution of the make–accumulate–consume strategy in Saccharomyces and Dekkera yeasts », *Nat. Commun.*, vol. 2, nº 1, p. 302, mai 2011, doi: 10.1038/ncomms1305.

[83] M. C. Flickinger, *Encyclopedia of Industrial Biotechnology*. 2010.

[84] R. H. De Deken, « The Crabtree Effect: A Regulatory System in Yeast », *J. Gen. Microbiol.*, vol. 44, nº 2, p. 149-156, août 1966, doi: 10.1099/00221287-44-2-149.

[85] K. Haroun et O. Hasna, « Étude de L'influence de l'incorporation de la poudre de Pulicaria odora sur l'acceptabilité du pain. », Mémoire fin d'étude, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou., 2017.

[86] R. Malki et M. Malki Yasser Youyoy, Soraya, « Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel Eriad tademait », Mémoire de master en Contrôle de qualité et nutrition en agro-alimentaire, Université m'Hamed bouguara boumerdes, 2016.

[87] S. H. Peighambardoust, E. Fallah, R. J. Hamer, et A. J. Van Der Goot, « Aeration of bread dough influenced by different way of processing », *J. Cereal Sci.*, vol. 51, nº 1, p. 89-95, janv. 2010, doi: 10.1016/j.jcs.2009.10.002.

References

[88] É. Frédot, *Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique*, 2e édition. Paris, France: Lavoisier – TEC & DOC, Éditions médicales et internationales, 2005.

[89] F. LANDRAF, « Produits et procédés de panification », in *Produits d'origine végétale*, 2002, p. 16P.

[90] L. A. Camargo, *Pão Nosso: receitas caseiras com fermento natural*, 1re édition. São Paulo, SP, Brésil: Senac São Paulo & Panelinha, 2016.

[91] D. Strawbridge et J. Strawbridge, *Feito em casa – Pães e fermentos*. São Paulo: Publifolha, 2015.

[92] J. C. De Man, M. Rogosa, et M. E. Sharpe, « A MEDIUM FOR THE CULTIVATION OF LACTOBACILLI », *J. Appl. Bacteriol.*, vol. 23, nº 1, p. 130-135, avr. 1960, doi: 10.1111/j.1365-2672.1960.tb00188.x.

[93] j Guiraud et P. Galzy, *L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires*, L'Usine nouvelle. Paris, 1980.

[94] T. Idoui, J. Boudjerda, E. Leghouchi, et N.-E. Karam, « Naturally fermented Jijelian black olives: microbiological characteristics and isolation of lactic acid bacteria », *Grasas Aceites*, vol. 60, nº 5, p. 516-520, déc. 2009, doi: 10.3989/gya.043009.

[95] Guiraud, Joseph-Pierre, *Microbiologie alimentaire*. Paris : Dunod, 1998.

[96] C. P. Kurtzman, J. W. Fell, T. Boekhout, et Vincent. Robert, « Chapter 7: Methods for isolation, phenotypic characterization and maintenance of yeasts », in *The Yeasts: A Taxonomic Study*, Cinquième édition (5th edition)., vol. 1, Amsterdam: Elsevier, 2011, p. 87-111.

[97] S. L. Lu Yu, W. Ying, et Z. Xianyou, « Rapid evaluation of yeast cell viability using methylene blue staining combined with visible spectroscopy », p. 106-464, 2022.

[98] Benita Brink, « Urease Test Protocol ». American society for microbiology, 11 novembre 2010.

[99] A. Hansen et P. Schieberle, « Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects », vol. 16, p. 85-94, 2005.

References

[100] Raymond Calvel, *Le goût du pain*. Paris: Jérôme Villette, 1990.

[101] B. M. Watts, G. L. Ylimaki, L. E. Jeffery, et L. G. Elias, *Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments*. Ottawa, Canada: The Centre, 1991.

[102] Lavoisier, *Évaluation sensorielle : manuel méthodologique*. Paris: Lavoisier, 1990.

[103] A. Kramer et B. A. Twigg, *Fundamentals of Quality Control for the Food Industry*. Westport, Connecticut, USA: AVI Publishing Company, 1960.

[104] W. P. HAMMES et R. F. VOGEL, « The genus Lactobacillus », in *The Lactic Acid Bacteria*, The Genera of Lactic Acid Bacteria., vol. 2, 1995, p. 19-54.

[105] F. J. Carr, D. Chill, et N. Maida, « The Lactic Acid Bacteria: A Literature Survey », *Crit. Rev. Microbiol.*, vol. 28, nº 4, p. 281-370, janv. 2002, doi: 10.1080/1040-840291046759.

[106] A. Corsetti et L. Settanni, « Lactobacilli in sourdough fermentation », *Food Res. Int.*, vol. 40, nº 5, p. 539-558, juin 2007, doi: 10.1016/j.foodres.2006.11.001.

[107] D. Zielińska et A. Kostrzewska, « Development of Sourdough Bread Made with Probiotic Lactiplantibacillus plantarum Bacteria Addition », *Appl. Sci.*, vol. 14, nº 14, p. 6155, juill. 2024, doi: 10.3390/app14146155.

[108] R. H. Hernández-Figueroa, E. Mani-López, N. Ramírez-Corona, et A. López-Malo, « Optimizing Lactic Acid Bacteria Proportions in Sourdough to Enhance Antifungal Activity and Quality of Partially and Fully Baked Bread », *Foods*, vol. 13, nº 15, p. 2318, juill. 2024, doi: 10.3390/foods13152318.

[109] H. İSpiRli et E. Dertli, « Isolation of Distinct Lactobacillaceae spp. with Functional Characteristics from Traditional Sourdough Samples », *Akad. Gıda*, vol. 20, nº 3, p. 211-219, oct. 2022, doi: 10.24323/akademik-gida.1186584.

[110] M. G. Gänzle, « Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation », *Food Microbiol.*, vol. 37, p. 2-10, févr. 2014, doi: 10.1016/j.fm.2013.04.007.

[111] Institut National de la Boulangerie-Pâtisserie (INBP), « Le goût du pain », *Nouv. Boulang. Pâtiss. Supplément Tech. INBP*, nº 83, p. 15, 2003.

References

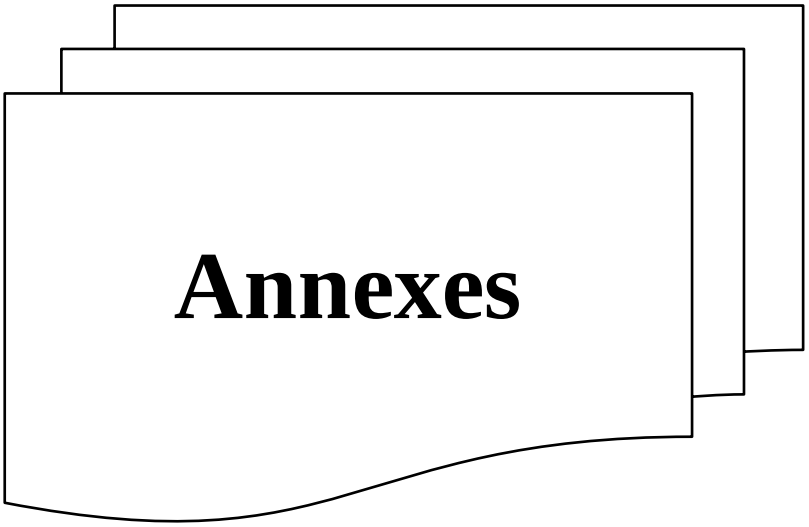
[112] R. Drapon, Y. Beaux, M. Cormier, j Geffroy, et j Adrian, « Répercussion de l'action de la lipoxygénase en panification. Destruction des acides gras essentiels à l'état libre, des caroténoïdes et des tocophérols. Altération du goût du pain. », vol. 23, nº 3, p. 353-365, 1974.

[113] R. Drapron, « Le goût du pain », *Bull. Anc. Élèves L'École Fr. Meun.*, nº 244, p. 127-132, 1971.

[114] G. Spicher, E. Rabe, R. Sommer, et H. Stephan, « The microflora of sourdough – XIV. Communication: About the behaviour of homofermentative sourdough bacteria and yeasts in mixed culture / Die Mikroflora des Sauerteiges – XIV. Mitteilung: Über das Verhalten homofermentativer Sauerteigbakterien und Hefen bei gemeinsamer Kultur », *Z. Für Lebensm.-Unters. -Forsch.*, vol. 173, p. 291-296, 1981, doi: 10.1007/BF01043397.

[115] Canella-Rawls, S., *Pain : art et science*, 4e édition. São Paulo: Senac, 2003.

[116] Bushuk, W., « Rheology: Theory and Application to Wheat Flour Dough », in *Rheology of Wheat Products*, Faridi, H., St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1985, p. 1-26.



Annexes

Annexes

1. Matériel utilisé pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques

✓ Verreries et petit matériel

Micropipettes, pissette, pince, Boites de pétri, Portoir, papier de filtres, béchers, fioles jaugées, pipettes graduées, Tubes à essais en verre, Flacons stériles, Éprouvettes graduées, Erlenmeyer, Entonnoir, spatules, aluminium, Nacelles en quartz, Pince en acier inoxydable, pince en bois.

✓ Appareillage

Bec bunsen, balance, étuves, bain Marie (Memmert), autoclave, réfrigérateur, dessiccateur, agitateur magnétique, plaque chauffante.



Figure 1 : Bain marie.



Figure 2 : Balance.



Figure 3 : Bec benzène**.**



Figure 4 : Etuve.



Figure 5 : Dessiccateur.

2. Matériel utilisé pour la préparation du levain



Figure 6 : Miel pure.



Figure 7 : Farine complet T150.



Figure 8 : Farine d'orge.



Figure 9 : eau potable.



Figure 10 : Bocal avec couvercle pour conserver notre levain.



Figure 10 : Tulle, étiquette, élastique.



Figure 11 : Spatule en bois.



Figure 11 : Levain naturel déshydraté d'orge commercial, fourni par la boulangerie Rey Del pan.

Annexe II

1. **Produits chimiques**
   - ✓ TSE (Tryptone Sel ou Peptone Sel) : est un diluant destiné à la préparation des suspensions mères des produits alimentaires et cosmétiques en vue de leur analyse microbiologique
   - ✓ L'eau distillé : est une eau dont la composition est basée sur l'unité de molécules H2O, les impuretés et les ions ont été éliminés par distillation. Cela consiste à séparer les composants liquides d'un mélange.
2. **Composition des milieux de culture**
   - ✓ MRS (Man, Rogosa et Sharpe) bouillon
     - Peptone :10 g / l.
     - Extrait de viande : 10 g / l.
     - Glucose :20 g / l.

- Acétate de sodium :5 g / l.
- Sulfate de magnésium :0,1 g / l.
- Sulfate de manganèse : 0,15 g / l.
- Phosphate :2 g / l.
- Tween :1 g / l.
- Extrait de levure :5 g / l.

Stérilisation à 121 °C pendant 20 min

✓ YPGA (yeast extract peptone glucose agar)

Il est utilisé pour la purification et la conservation des souches.

- Extrait de levure :10 g/l.
- Peptone :10 g / l.
- Glucose :20 g / l.
- Agar :20 g / l.

Stérilisation à 121 °C pendant 20 min

✓ Milieu de la mise en évidence de l'uréase

- Extrait de levure :0,1g
- Phosphate de potassium, monobasique :9,1g.
- Phosphate de potassium, dibasique :9,5g,
- Urée :20g.
- Rouge phénol ;0,01g.

3. Méthodes d'analyse par coloration de gramme

- **Principe**

La coloration de Gram permet de différencier les bactéries selon la structure de leur paroi.

- Gram positif : paroi épaisse, retient le cristal violet (violet).
- Gram négatif : paroi mince, se décolore, prend la safranine (rose).

- **Réactifs**

- Cristal violet.
- Lugol (iode).
- Alcool (éthanol ou alcool-acétone).
- Safranine (ou fuchsine).

- Eau distillée.

- **Mode opératoire**

- Préparer un frottis sur une lame, sécher à l'air, puis fixer à la flamme.
- Colorer avec cristal violet (1 min), rincer.
- Ajouter le Lugol (1 min), rincer.
- Décolorer avec de l'alcool (15–30 seconde), rincer.
- Appliquer la safranine (30 seconde à 1 min), rincer.
- Sécher et observer au microscope à immersion.

Annexe III

1. Table de Kramer

Nombre de dégustateurs	Nombre de pains dégustés										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3				3-9	3-11	3-13	4-14	4-16	4-18	5-19	5-21
4		4-8	4-11	5-13	6-15	6-18	7-20	8-22	8-25	9-27	10-29
5		5-11	6-14	7-17	8-20	9 -23	10-26	11-29	13-31	14-34	15-37
6	6-9	7-13	8-17	10-20	11-24	13-27	14-31	15-35	17-38	18-42	20-45
7	7-11	9-15	11-19	12-24	14-28	16-32	18-36	20-40	21-45	23-49	25-53
8	8-13	10-18	13-22	15-27	17-32	19-37	22-41	24-46	26-51	28-56	30-61
9	10-14	12-20	15-25	17-31	20-36	23-41	25-47	28-52	31-57	33-63	36-68
10	11-16	14-22	17-28	20-34	23-44	26-46	29-52	32-58	35-64	38-70	41-76
11	12-18	16-24	19-31	13-37	26-44	30-50	34-56	37-63	40-70	44-76	47-83
12	14-19	18-26	21-34	25-41	29-48	33-55	37-62	41-69	45-76	49-83	53-90
13	15-21	19-29	24-36	28-44	32-52	37-59	41-67	45-75	50-82	54-90	58-98
14	17-22	21-31	26-39	31-47	35-56	40-64	45-72	50-80	54-89	59-97	64-105
15	18-24	23-35	28-42	33-51	38-60	44-68	49-77	54-86	59-95	65-103	70-112
16	19-26	25-35	30-45	36-57	42-63	47-73	53-82	56-91	64-101	70-110	75-120
17	21-27	27-37	33-47	39-57	45-67	51-77	57-87	62-98	69-107	75-117	81-127
18	22-29	28-40	35-50	41-61	48-71	54-82	61-92	67-108	74-113	81-123	87-134

2. Paramètres sensoriels du pain

- **Couleur**

Pains	**D'orge**		**Blé tendre complet**		**D'orge commerciale**	
Paneliste	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**
1	2	2,5	4	1	2	2,5
2	2	3	4	1	3	2
3	4	1	2	3	3	2
4	4	1	2	3	3	2
5	2	3	4	1	3	2
6	4	1	1	3	2	2
7	1	3	4	1	3	2
8	5	1	4	2,5	4	2,5
9	4	2	4	2	4	2
10	4	1	3	2,5	3	2,5
Moyenne des scores	**3,2**		**3,1**		**3**	
Somme des rangs	**18,5**		**17,5**		**21,5**	

- **Texture**

Pain	**D'orge**		**Blé tendre complet**		**D'orge commerciale**	
Paneliste	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**
1	4	1	1	3	2	2
2	5	1	3	3	2	2
3	2	3	4	1	3	2
4	2	3	3	2	4	1
5	2	3	4	1	3	2
6	4	2	5	1	2	3
7	1	3	3	1	2	2
8	2	2,5	3	1	2	2,5
9	1	2,5	2	1	1	2,5
10	2	2	4	1	2	2
Moyenne des scores	**2,5**		**3,2**		**2,3**	
Somme des rangs	**24**		**15**		**21**	

- **L'alvéolage**

Pains	**D'orge**		**Blé tendre complet**		**D'orge commercial**	
Paneliste	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**
1	2	3	4	1	3	2
2	2	3	4	1	3	2
3	4	1	3	2	2	3
4	4	2,5	4	2,5	5	1
5	2	3	4	1	3	2
6	4	2,5	4	2,5	5	1
7	1	3	4	1	2	2
8	5	1	2	2	5	1
9	3	2,5	4	1	3	2,5
10	4	2	4	2	4	2
Moyenne des scores	**3,1**		**3,7**		**3,5**	
Somme des rangs	**23,5**		**16**		**18,5**	

- **Odeur**

Pains	**D'orge**		**Blé tendre complet**		**D'orge commercial**	
Paneliste	Score	Rang	Score	Rang	Score	Rang
1	4	1	2	3	3	2
2	3	3	4	2	5	1
3	5	1	3	3	4	2
4	3	2,5	3	2,5	4	1
5	4	2,5	5	1	4	2,5
6	2	3	3	2	4	1
7	3	2,5	4	1	3	2,5
8	4	2	4	2	4	2
9	3	2,5	3	2,5	4	1
10	4	1	2	3	3	2
Moyenne des scores	**3,5**		**3,3**		**3,8**	
Somme des rangs	**21**		**22**		**17**	

- **Gout**

Pains	**D'orge**		**Blé tendre complet**		**D'orge commercial**	
Paneliste	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**	**Score**	**Rang**
1	4	2	4	2	4	2
2	3	2,5	3	2,5	4	1
3	4	1	2	3	3	2
4	3	2,5	3	2,5	4	1
5	3	2	2	3	4	1
6	3	2,5	3	2,5	4	1
7	3	2	4	1	2	3
8	4	1	3	2	2	3
9	4	1	2	3	3	2
10	4	1	3	2,5	3	2,5
Moyenne des scores	**3,5**		**2,5**		**3,3**	
Somme des rangs	**17,5**		**24**		**18,5**	