

République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1



Faculté de sciences de la nature et de la vie

Département : Agro-alimentaire

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master

Spécialité : Nutrition et pathologies

Filière : Sciences Agroalimentaires

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

THEME :

**Essai d'élaboration d'un levain naturel en vue de son
incorporation dans un pain diététique**

Réalisé par

- Mlle .HARIA Sunera Mauricio
- Mlle .OUNNAS Sara

Devant le jury :

Dr .HADJADJ Naima	MCB	Université Blida 1	Présidente
Dr. ABDELLAOUI Zakia	MCB	Université Blida1	Examinatrice
Dr .KOUIDRI Amel	MCA	Université Blida 1	Promotrice

Année universitaire 2019-2020



Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparait opportune de commencer ce projet de fin d'études par nos remerciements ; à **DIEU** le tout puissant, de nous avoir donné courage, santé, intelligence et patience pour finir nos études et achever ce travail (ELHAMDOU LILLAH).

À ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce projet et même ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce projet un moment très profitable. on présente nos vifs remerciements à **Dr Koudri Amel** notre promotrice, pour sa grande disponibilité, sa rigueur, son enthousiasme et son soutien moral qui nous a permis de bien mener ce travail, pour l'esprit d'entraide qu'elle a toujours manifesté à notre égard et son précieux conseils qu'elle n'a pas hésité à nous inculquer avec une patience, pour sa patience lors de la correction du manuscrit et une pédagogie exemplaire. Il nous est particulièrement agréable de témoigner encore une fois nos respects les plus sincères à notre

Co promotrice Madame **ketfi Sabrina** d'avoir accepté d'aussi bonne grâce, d'encadrer ce présent projet, pour ses précieux conseils, ses encouragements, ses fructueuses orientations, et son soutien tout au long du déroulement de ce stage qui nous a permis, grâce au sujet qu'on a développé, d'enrichir nos connaissances théoriques et pratiques. Aussi on remercie Mlle **Aissi Hiba**, qui a participé à la réalisation de ce travail à travers ses conseils. Nos vifs remerciements s'adressent aux membres du jury qui nous ont honoré, on tient à remercier tout particulièrement

Dr HADJADJ Naima et Dr ABDELLAOUI Zakia.

Ainsi que tout le corps administratif et professoral de l'université **Saad dahleb Blida 1** en particulier le corps Professionnel du **département agroalimentaire** pour la qualité de la formation et services rendus aux étudiants.

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que



Je dédie ce travail ...

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À ma chère Amína, mes adorables Ibrahim, Zakaria et Djaouad

Amina, la prunelle de mes yeux, Ibrahim, le brave, au cœur si grand, Zakaria l'aimable, et Djaouad mon petit bout chou que j'adore

. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À mes grands parents adorés

Qui m'ont accompagnés par leurs prières, leurs douceur, puisse Dieu leurs prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans leurs deux vies.

À mes chers oncles, tantes, leurs époux et épouses a mes chers cousins cousines

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

À toi ma binôme Sunera

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Accepte l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

*À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail
à tous ceux que j'ai omis de citer....*

OUNNAS Sara....

" There is inside you All of the potential To be whatever you want to be "

.....Donna Levine

Dédicace

Arrivée au terme de mes études par la grâce de DIEU, je le remercie pour le courage, la force et la patience qu'Il m'a donné durant toutes ces années loin de ma famille pour accomplir cette victoire...

J'ai le grand plaisir de dédier ce travail aux personnes qui me sont les plus chères

À ma chère mère NADIA

Que je ne cesse de remercier pour tout. Elle qui m'a supporté 9 mois dans son ventre et a fait de moi la femme que je suis aujourd'hui, que Dieu te récompense pour tous tes bienfaits et ta bienveillance à mon égard.

À Mon cher papa, monsieur MAURICIO,

Qui a toujours cru en moi et mis en ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.

À mes tantes BANINA et ASSERINA

Mana Banina qui est ma deuxième mère et que je remercie pour l'éducation et pour tout ce qu'elle a fait pour moi,

A ma tante Asserina, merci pour tout.

À mes frères et sœurs et à mon beau-frère mon grand

Merci pour le soutien moral qui vous m'avez apporté.

À mon oncle Issufo Mussa

Merci pour toute l'aide académique que tu m'as apporté,

Merci aussi de m'avoir aidé à atteindre mon but en m'encourageant et en ayant eu confiance en mes capacités.

À mon chéri Yuran

Merci beaucoup mon amour pour tout l'amour, la force, les encouragements et la confiance que tu m'as apportée.

À mes très adorables amies Denise, Bennzo, a Cassandra, à Liana et Neima

Merci Denise, merci beaucoup pour ton amitié, ton amour et pour tout ce que tu as fait pour moi durant toutes ces années. À Bennzo, à Cassandra, à Liana et Neima les filles je vous porterai éternellement dans mon cœur. Je vous aime toutes.

À mon amie Nyelete

Qui a été une personne très spéciale pour moi ici en Algérie (que son âme repose en paix), tu m'as enseigné que peu importe les difficultés, on doit être positive.

À Sara Ounnas

À Mon binôme Sara pour son aide et sa présence continuelles à mes côtés.

Je te souhaite beaucoup de réussite et j'espère te retrouver encore dans la vie.

À tous ce qui m'ont aidé durant ce parcours.

Merci.

HARIA Sunera...

Résumé

La fermentation au levain naturel est l'une des biotechnologies alimentaires anciennes qui préserve une bonne attractivité pour la filière Boulangerie, Viennoiserie et Panification.

Ce travail vise à l'essai de la fabrication du levain liquide naturel de blé complet, avec ses différentes étapes de rafraîchis, pour passer à la fabrication du pain diététique enrichi en ce levain. Le levain chef obtenu a été contrôlé sur le plan microbiologique. Les résultats obtenus ont révélé la présence de la flore mésophile totale, des levures et aucune moisissure ou Clostridium sulfite-réducteurs.

Une analyse physico-chimique de la farine complète du blé tendre, a été effectuée ; elle a révélé des résultats conformes aux normes en vigueur ; avec une teneur en humidité de 12%, une acidité titrable de 0.068%, une teneur en cendres totales de 1.14% et un coefficient d'hydratation de 38%. Aussi, le test de gluten de la farine complète a donné un résultat de 18% pour le gluten humide.

L'élaboration du levain, nous a permis de constater que 4 jours ont été nécessaires pour amorcer la fermentation des bactéries lactiques et levures naturellement présentes dans la farine complète et après 10 jours de rafraichis, il a été estimé que notre levain est microbiologiquement stable.

Sur le plan organoleptique et sensoriel le pain diététique au levain naturel obtenu est de bonne qualité avec un goût acide très caractéristique, particulièrement au niveau de la mie. Ce résultat a été émis par un jury de dégustation.

Mots clés :

Levain naturel, bactéries lactiques, levures, panification, la fermentation.

Abstract

Fermentation using natural sourdough is one of the ancient food biotechnologies which preserves a good attraction for the bakery, Viennese pastry and bread making sector.

This work aims to test the manufacture of natural whole wheat liquid leaven, with its various refreshing stages, to move on to the manufacture of dietetic bread enriched with this leaven.

The resulting master leaven has been microbiologically tested. The results obtained revealed the presence of total mesophilic flora, yeasts and no sulphite-reducing mold or Clostridium.

A physico-chemical analysis of the whole-wheat flour was carried out; it revealed results in accordance with the standards in force; with a moisture content of 12%, a titratable acidity of 0.068%, a total ash content of 1.14% and a hydration coefficient of 38%. Also, the whole flour gluten test gave a result of 18% for wet gluten.

The development of the sourdough allowed us to observe that 4 days were necessary to initiate the fermentation of lactic acid bacteria, yeasts naturally present in whole meal flour, and after 10 days of cooling, it was estimated that our sourdough is microbiologically stable.

From an organoleptic and sensory point of view, the natural sourdough dietary bread obtained is of good quality with a very characteristic acid taste, particularly at the level of the crumb. A tasting jury issued this result.

Keywords : Natural leaven, lactic acid bacteria, yeasts, bread making, fermentation.

الملخص

يعد التخمير بالعجين المخمر الطبيعي أحد التقنيات الحيوية الغذائية القديمة التي تحافظ على جاذبية جيدة للمخابز وقطاع المعجنات وصناعة الخبز .

يهدف هذا العمل إلى اختبار تصنيع الخميرة الطبيعية السائلة للقمح الكامل بمراحل التغذية المختلفة للانتقال إلى صناعة خبز الحمية بهذه الخميرة.

تم اختبار الخميرة الرئيسية الناتجة ميكروبيولوجيًا. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها وجود فلورا متوسطة وخمائر ولا يوجد عفن أو كلوستريديوم مخفض للكبريت.

تم إجراء تحليل فيزيو-كيميائي لدقيق القمح الكامل. أظهرت النتائج وفقاً للمعايير المعمول بها ؛ بمحتوى رطوبة 12% ، حموضة معايرة 0.068% ، محتوى رماد إجمالي 1.14% ومعامل ترطيب 38%.

كما أعطى اختبار الغلوتين للدقيق الكامل نتيجة 18% للجلوتين الرطب. هذه القيمة أكبر من نسبة الغلوتين الجاف والتي تبلغ 11%.

سمح لنا تطوير العجين المخمر بملاحظة أن 4 أيام كانت كافية لبدء تخمير بكتيريا حمض اللاكتيك والخمائر الموجودة بشكل طبيعي في دقيق القمح الكامل وبعد 10 أيام من التغذية ، تم تقدير أن العجين المخمر مستقر من الناحية الميكروبيولوجية.

من وجهة نظر حسية ، فإن الخبز الغذائي الطبيعي الذي يتم الحصول عليه من العجين المخمر ذو نوعية جيدة مع طعم حامضي مميز للغاية ، خاصة على مستوى الفئات. تم إصدار هذه النتيجة من قبل هيئة محلفين تذوق.

الكلمات الدالة :

الخميرة الطبيعية ، بكتيريا حمض اللاكتيك ، الخميرة ، صناعة الخبز ، التخمير.

Table de matières

Table de matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Liste d'abréviations	
Introduction.....	1
Partie I : Étude bibliographique	
Chapitre I : Le levain	
Chapitre I : Le levain.....	4
1. Le levain :.....	5
2. Levains naturels et starters :.....	5
2.1 Avantage des starters :.....	5
2.2 Types de starters.....	6
3. Les types de levain :.....	7
4. Facteurs influençant l'activité des levains :.....	8
4.1 La température.....	8
4.2 L'hydratation :.....	8
4.3 Le Sel :.....	8
4.4 L'acidité du milieu :.....	8
4.5 L'oxygénation du milieu :.....	8
4.6 La composition du milieu :.....	8
5. Caractéristiques nutritionnelles du levain.....	9
5.1 L'acide phytique.....	9
5.1.1 facteurs influencent l'activité de la phytase :.....	10
5.2 Interaction du levain avec des nutriments :.....	10
5.2.1 Levain et dégradation des protéines :.....	10
5.2.2 Levain et solubilité des fibres :.....	11
5.2.3 Levain et vitamines :.....	11
5.2.4 Levain et composants bioactifs :.....	11

5.3	Valeur nutritionnelle du levain :	11
6.	La microbiologie du levain :	13
6.1	Les bactéries lactiques du levain.....	13
6.1.1	Les bactéries lactiques présentes dans le levain :	14
6.1.2	Propriétés des bactéries lactiques :	15
6.2	Les levures dans le levain	16
6.2.1	Caractéristiques générales des levures	16
6.2.2	Composition des levures :	16
6.2.3	Métabolisme des levures :	17
6.2.4	Propriétés des levures dans les levains naturels	17
6.2.5	Les levures présentes dans le levain	17
6.3	Autres actions métaboliques des bactéries lactiques et des levures.....	18
6.4	Effets et phases de la fermentation :	19
□	Première phase de la fermentation	19
6.5	Des effets technologiques et d'environnement :	19
6.6	Le levain final et sa stabilité :	20
6.7	Fermentation et microorganisme fermenteurs du levain	20
6.7.1	Action fermentaire des levures	21
6.7.1.1	Les mécanismes de production de biomasse de la levure :	21
7.	Conservation du levain.....	22
7.1	Techniques pour les longues durées	23
1.	Le blé tendre et ses caractéristiques :	26
1.1	Description :	26
1.2	Structure du grain de blé tendre :(<i>Triticum aestivum</i>)	26
1.2.1	L'enveloppe :	27
1.2.2	L'Albumen ou amande farineuse :	27
1.2.3	Le germe :	28
1.3	Transformation du blé tendre en farine :	28
1.3.1	Etapas de la transformation des blés en farine :	28

1.3.2	Étapes de la mouture (FEILLET, 2000) :	28
2.	La farine de blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>) :	29
2.1	Définition :	29
2.2	Composition biochimique de la farine :	29
2.3	Caractéristiques physico – chimiques de la farine de blé tendre :	30
2.4	Types de farines :	31
3.	Technologie de la panification :	32
3.1	Les étapes de panification :	32
3.1.1	Pétrissage :	32
3.1.2	Pointage :	33
3.1.3	La division et boulage :	34
3.1.4	La détente :	34
3.1.5	Le façonnage :	34
3.1.6	L’apprêt :	35
3.1.7	Incision superficielle des pâtons :	35
3.1.8	La Cuisson :	35
4.	Caractères organoleptiques et nutritionnelles du pain au levain de blé complet :	36
4.1	Types traditionnels et nouveaux pains au levain :	36
4.1.1	Levain de seigle :	36
4.1.2	Levain de blé :	36
4.1.3	Levain sans gluten :	36
4.1.4	Nouveau levain :	36
4.2	Caractéristiques organoleptiques : Selon Lhomme, (2015) :	37
4.3	Caractéristiques nutritionnelles du pain au levain de blé complet :	37
4.3.1	Le pain au levain facilite le contrôle du niveau du sucre dans le sang :	38
4.3.2	Protéolyse :	38
4.3.3	La stabilité des vitamines et des composés bioactive :	39
1.	Objectif du travail :	42
2.	Lieu stage :	42

3. Matériel utilisé :	42
4. Méthodes d'analyses	43
4.1 Analyses physico-chimiques de la farine	43
4.1.2 Détermination de la teneur en eau :	43
4.1.3 Détermination des cendres	44
4.1.4 Détermination de l'acidité grasse (NF V03-712)	45
4.2 Analyses technologiques de la farine de blé tendre	46
4.2.1 Mesure de la teneur en gluten :	46
4.2.1.1 Gluten humide	46
4.2.1.2 Gluten sec (ISO 21415-4, 2006)	46
5. Préparation du levain liquide :	47
6. Analyses microbiologiques du levain liquide :	49
6.2 Recherche et dénombrement des germes microbiologiques :	51
6.2.1 Recherche et dénombrement des Germes Aérobie Mésophile totaux « GAMT »	51
6.2.2 Recherche et dénombrement des levures et moisissures (Selon JORA N° 48)	52
6.2.3 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfite-réducteurs	52
7. Panification au levain liquide :	53
7.1 Étapes de la panification au levain	54
7.2 L'analyse sensorielle du pain	57
7.3 Conduite des expériences	58
7.4 Fiche de renseignement sur la qualité sensorielle du pain au levain de farine de blé tendre complet	59
1. Résultats et interprétation des analyses physico-chimiques, et technologiques de la farine de blé tendre	61
□ Dosage du gluten :	63
2. Résultats des caractéristiques du levain naturel	63
3. Résultats des analyses microbiologiques du levain	68
4. Résultat de la panification au levain naturel	70

4.1	Le Suivi de la fermentation durant la panification au levain naturel.....	70
4.2	Appréciations de la qualité des pains.....	71
4.3	Analyses sensorielle.....	72
	Conclusion.....	74
	Références	75
	Annexes	Erreur ! Signet non défini. 81

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition nutritionnelle moyenne pour 100 grammes de levain.....	11
Tableau 2 : Les lactobacilles présents dans le levain chef.....	14
Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre.....	30
Tableau 4 : Types de farines par rapport au taux de cendres, humidité et taux d'extraction moyenne.....	30
Tableau 5 : liste de matière première.....	41
Tableau 6 : Formulation du levain liquide.....	46
Tableau 7 : Ingrédients pour le rafraichissement du levain.....	47
Tableau 8 : Formulation du pain au levain.....	53
Tableau 9 : Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de blé tendre complet....	60
Tableau 10 : manifestation du levain pendant 10 jours.....	63
Tableau 11 : Analyse sensorielle du pain au levain.....	72

Liste des figures

Figure 1: levain liquide (Guedes, 2020)	Figure 2: levain dur (Guedes, 2020).....	7
Figure 3 : Structure de l'acide phytique (Anderson ,1914).....		9
Figure 4 : La méthode des pellicules fines (Boisseleau, 2013).....		23
Figure 5: Les utilisations industrielles du blé (Abecassis ,2015).....		26
Figure 6 : Structure du grain de blé (Abecassis ,2015).		27
Figure 7 : Le pétrissage (Roussel et al ,2010).....		33
Figure 8: Schéma représentatif de la formation du réseau du gluten durant le Pétrissage (Meredith, 1964).....		33
Figure 9 Le pointage (Touyarou, 2012).....		34
Figure 10 : Le façonnage (Touyarou 2012).....		34
Figure 11 : Effet du levain sur la qualité nutritionnelle du pain (Arendt et al. 2007).		39
Figure 12 : Étape du frasage.....		55
Figure 13 : Étapes du pétrissage manuel du pain au levain.....		55
Figure 14 : le pointage.....		56
Figure 15 : Étape du boulage.....		56
Figure 16 : la détente des pâtons.....		57
Figure 17: Incision des pâtons fermentés.....		57
Figure 18: Humidité (%) du lot de farine de blé tendre complète T155.....		61
Figure 19 : Taux de cendres (%) de la farine de blé tendre (T155).....		62
Figure 20 : histogramme représentant les résultats du taux de gluten de la T150.....		63
Figure 21 : levain à J1 (1er jour).....		65
Figure 22 : levain, deuxième jour.....		65
Figure 23: levain jour liquide jour 3.....		65
Figure 24: levain liquide jour 4.....		66
Figure 25 : levain liquide 5 ^{ème} jour.....		66
Figure 26: levain liquide 10 ^{ème} jour.....		67
Figure 27: colonies des germes aérobies mésophile totaux.....		68
Figure 28 : colonies des levures.		69
Figure 29 : suivie de fermentation au cours de la panification en fonction du développement de la pate.....		71
Figure 30 : pain au levain.....		72

Liste d'abréviations

LAB : lactobactéries

UFC : unité formant colonies

Introduction

Les aliments fermentés occupent une place très importante dans l'alimentation, et la fermentation joue un rôle important dans le développement des caractéristiques organoleptiques (flaveur, saveur, texture...) des aliments (**Oyewole, 1997 et Nout, 2009**).

En considérant uniquement les fermentations dues aux développements de micro-organismes, les aliments peuvent être fermentés par des cultures starters, ou de manière spontanée. De nombreux aliments fermentés en Afrique par exemple résultent d'une fermentation naturelle (ou spontanée) (**Nout, 2009; Guyot, 2012 ; Franz et al, 2014 ; Galati et al, 2014**). Le type de matière première utilisée par exemple, affecte la composition en micro-organismes des microbiotes des aliments fermentés (**Minervini et al, 2014**).

Parmi la grande famille des produits fermentés, le pain occupe une place particulièrement importante en Algérie et fut à la base de notre alimentation jusqu'au siècle dernier.

Il reste aujourd'hui encore un symbole intimement lié à notre histoire et notre identité : c'est le levain naturel ; il s'agit à la base, d'un mélange de farine de blé ou de seigle, du sel et de l'eau potable soumis à une fermentation lente (24 à 48 h) initiée par des levures et des bactéries lactiques contenues dans la farine (**Vogel et al., 1999**). La plupart de recherches scientifiques sur la biotechnologie du levain ont débuté approximativement en 1990. Au départ, l'accent était mis sur les effets technologiques du levain sur la saveur, la rhéologie et la durée de conservation, et les interactions microbiennes dans de tels écosystèmes complexes (**De Vust et al., 2017**). Actuellement, il existe un intérêt majeur pour l'amélioration de la qualité et de la sécurité alimentaire par conséquent la demande des consommateurs pour les produits les moins transformés et sans agents chimiques de conservation est en constante augmentation. Utilisé comme inoculum pour la fabrication du pain (**Onno et Roussel 1994**), le levain présente des caractéristiques particulièrement intéressantes en particulier dans le goût et la conservation du pain (**Bérard et Marchenay, 2005**).

Faire du pain au levain est un acte fort symboliquement, entreprendre cette «culture» c'est avoir conscience à observer et apprivoiser une matière vivante avec toutes les complexités qui en découlent. Mieux connaître les matières mises en œuvre, se forger des facultés intuitives, apprécier la fermentation de la pâte par l'odorat, percevoir la structure par le toucher, jongler avec la température, la dose d'ensemencement de ferment, la durée de maturité vont être de mise constante et quotidienne (**boisseleau, 2013**).

Ce Travail s'inscrit dans ce contexte, il a pour l'objectif :

- ✓ La fabrication d'un pain diététique à partir du levain naturelle
- ✓ L'étude des l'analyses microbiologiques du levain naturelle
- ✓ L'évaluation organoleptique et sensorielle du pain fabriqué

Partie I : Étude bibliographique

Chapitre I : Le levain

1. Le levain :

Le levain est une pâte composée de farine et d'eau soumis à une fermentation naturelle acidifiante dont la fonction est d'assurer la levée de la pâte. Le levain renferme une microflore acidifiante composée de bactéries lactiques et levures (**Lhomme, 2014**), qui se développent et qui sont les principaux agents de la fermentation et de la production d'acidité et d'arômes. Au cours du processus, une partie des glucides présents dans la flore de farine sont transformés, entre autres, en acide lactique, en acide acétique et en CO₂. Une foule de substances aromatisants apparaissent également, qui confèrent au levain son goût caractéristique (**Lesaffre, 2015**).

Un levain naturel de panification est constitué d'un équilibre entre les bactéries lactiques et les levures avec un ratio moyen de 10⁹ / 10⁷ UFC/g respectivement. Ce sont les bactéries lactiques qui dominent dans les pains aux levains (**Gobbetti et al. 2005**). Ces germes préexistants dans la farine sont également apportés par l'air ambiant et le milieu du travail (**Brochoire et al., 1996**).

2. Levains naturels et starters :

Starter est une culture déshydratée de microorganismes sélectionnés pouvant contenir des bactéries lactiques, seules ou en mélange avec des levures, permettant d'ensemencer une pâte en vue de l'élaboration rapide d'un levain (**Brochoire et al., 1996**), Ils permettent l'obtention d'un levain en 24h, prêt à être incorporé à la recette dans les mêmes proportions qu'un levain spontané (**Lesaffre, 2015**).

Les starters sont généralement sous forme lyophilisée et ils doivent être conservés à basses températures. (**Brochoire et al., 1996**) Ces microorganismes vivants sont sélectionnés à partir de la flore de levains naturels et stabilisés selon des procédés garantissant leur survie. Par la maîtrise de la floreensemencée, la qualité et les caractéristiques des levains liquides ou pâteux sont ainsi constantes (**Brochoire et al., 1996**).

2.1 Avantage des starters :

D'après **Brochoire et al., (1996)** les starters ont pour avantage :

- la simplification de l'élaboration du levain qui supprime les phases délicates du démarrage et d'entretien des levains traditionnelle, par une préparation en une seule étape (durée : 18 à 24 heures),
- le starter apporte les mêmes avantages qu'un levain spontané : il améliore le goût, la texture de mie et prolonge la fraîcheur des produits finis.
- Assure une régularité des performances et la reproductibilité des résultats. .

Par le choix des souches pures de bactéries lactiques et de levures, les profils sensoriels générés dans les produits finis de panification sont très distincts le levain issu de cette préparation a pour

particularité d'avoir une régularité performante et la qualité du produit fini (**Montel *et al.*, 1993**). En effet, le but avec ce ferment est de réaliser un levain tout-point régulier en un minimum de temps et sélectionner des levures du levain sauvages dites : aromatisantes (**Dewalque, 2011**)

2.2 Types de starters

Il existe trois types de starters :

- **Les starters (simples ou non mixtes)** correspondent à une culture microbienne mais ne contiennent qu'une ou plusieurs espèces de bactéries lactiques sélectionnées. Cette préparation ne permet pas d'utiliser l'appellation « pain au levain » car sa diversité spécifique est trop pauvre. De plus, afin que la pâte puisse lever correctement elle nécessite un ajout de levure de panification (*Saccharomyces Cerevisiae*) (Onno *et al.*, 1995 ; Vera, 2011).
- **Dans les starters liquides** les microorganismes n'ont pas été stabilisés. Ils ont une durée de conservation au froid limitée, car ils sont très riches en eau (**Gérard, 1996**).
- **Les starters en poudre**, la plupart lyophilisés, se réhydratent très facilement. Ce procédé permet de préserver le pouvoir fermentaire des levains. Ils présentent une activité stable dans le temps. La pousse est assurée par un apport de levure de boulangerie au pétrissage (**Brochoire *et al.*, 1996**).
- **Les starters mixtes** sont actifs et stables au niveau des activités bactériennes et levuriennes. Ce type de starter comprend un concentré, sec et stabilisé, de levures (10 milliards de cellules par gramme) et de bactéries lactiques vivantes (un milliard de cellules par gramme), sélectionnées à partir de levains de panification (**Gérard, 1996**).

3. Les types de levain :

Selon leur niveau d'hydratation, il existe des levains fermes, sous forme pâteuse, « **levains liquides** » (figure 1) et des « **levains durs** » (figure 2) (Elora, 2014).



Figure 1: levain liquide (Guedes, 2020)

Figure 2: levain dur (Guedes, 2020)

- a) Le « **levain liquide** » est un mélange à 50% d'eau et 50% de farine qui déclenche une fermentation lactique. Le mie est plus alvéolé qu'avec un levain dur. Est majoritairement utilisé pour la panification car les boulangers recherchent un produit goûteux et peu acide (Elora, 2014).
- b) Le « **levain dur** » est un mélange de deux tiers de farine pour un tiers d'eau. Il entraîne une fermentation acétique qui donne une croûte plus épaisse (meilleure conservation du pain), un goût un peu plus acide et rustique, et une mie plus dense. Ont tendance à développer une forte acidité. Cette particularité est due à l'influence du taux d'hydratation qui conditionne le développement des souches de microorganismes. (Elora, 2014).

Les levains peuvent être obtenus à partir de farine de blé, il est aussi possible d'utiliser toutes sortes de céréales différentes (comme l'orge, seigle, sarrasin, riz etc.) (Brochoire *et al.*, 1996).

Les levains se comportent différemment selon la céréale utilisée. En particulier, ils n'évoluent pas à la même vitesse, et ceux à base de sarrasin ou de riz offrent très peu de cohérence dans leur tenue par rapport à ceux contenant du gluten (Brochoire *et al.*, 1996).

4. Facteurs influençant l'activité des levains :

D'après (Lesaffre, 2015), les différents facteurs qui influencent les levains sont :

4.1 La température

La chaleur accroît l'activité biologique. Le levain démarre alors rapidement et son acidité augmente. Les boulangers travaillent généralement dans la zone de température comprise entre 20 et 28°C ; la température de 20°C étant la température minimale.

4.2 L'hydratation :

L'augmentation de l'hydratation favorise l'activité microbiologique et enzymatique. À forte hydratation l'acidité lactique est favorisée par rapport à l'acidité acétique.

4.3 Le Sel :

Le sel a une action inhibitrice sur les levures et les bactéries. Son incorporation contribue à ralentir la fermentation.

4.4 L'acidité du milieu :

Une acidité du milieu comprise entre un pH de 4 et de 5,5 est favorable à l'activité des levures et des bactéries ; par contre, elle ralentit quand la concentration en acide acétique devient trop forte (pH < 4).

4.5 L'oxygénation du milieu :

La multiplication des levures est fortement accélérée en milieu aérobie. Les rafraîchis sont favorables à l'oxygénation du milieu et donc à l'augmentation des levures.

4.6 La composition du milieu :

La faible fraction de sucres simples dans les farines blanches contribue à une certaine lenteur dans le démarrage des levains. Il existe également une nette différence entre farines de seigle et farines de blé. Le grain de seigle est nettement plus chargé en germes totaux. L'apport par certains boulangers de miel ou certains jus de fruits contribue aussi à accélérer le démarrage des levains.

5. Caractéristiques nutritionnelles du levain

Diverses variétés de pain au levain existent, avec de grandes différences, Certaines études ont d'ailleurs démontré que le pain au levain ne présente pas d'inconvénients chez certains intolérants au gluten (**Beiesiekierki ,2014**).

Le levain naturel, outre son intérêt organoleptique, il améliore la valeur nutritionnelle du pain du fait de sa teneur en acide phytique réduite et son apport en fibres et minéraux.

- ✓ rend le pain plus digeste et facilite l'assimilation des minéraux
- ✓ donne plus de goût au pain

Le facteur antinutritionnel (acide phytique) , limite sur le plan digestif l'absorption des minéraux, en particulier zinc, calcium et fer. Il est présent à l'état naturel dans les graines de céréales (**Lesaffre, 2019**).

5.1 L'acide phytique

L'acide phytique, acide myo-inositol hexaphosphorique ou encore phytate, est une biomolécule de formule brute $C_6H_{18}O_{24}P_6$ (figure 3), dans laquelle les plantes stockent du phosphore, une substance naturellement présente dans une foule d'aliments.

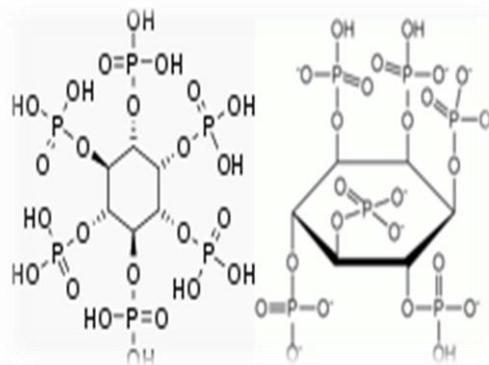


Figure 3 : Structure de l'acide phytique (Anderson ,1914)

Outre les céréales, on en trouve aussi dans les légumineuses, les graines et les noix. L'acide phytique est surtout présent dans les couches extérieures des céréales, ainsi que dans le germe. C'est là que la graine accumule du phosphore pour la future jeune pousse. Le phosphore peut être libéré du phytate sous l'action d'une enzyme nommée phytase, également présente dans le grain de céréale (**Boisseleau, 2013**).

L'acide phytique, qui est un facteur antinutritionnel, limite sur le plan digestif l'absorption des minéraux, en particulier zinc, calcium et fer. Son action négative se traduit par une combinaison de l'acide phytique avec le fer et le calcium pour donner des sels non assimilables par l'organisme. Il est présent à l'état naturel dans les graines de céréales, produits riches également en composés nutritionnels (fibres, minéraux et oligo-éléments), dans les farines complètes et les farines dont le taux d'extraction est élevé. C'est un des principaux moyens de stockage du phosphore dans les

végétaux. L'action d'une enzyme, la phytase, dégrade et neutralise l'acide phytique, responsable du non assimilation du calcium par l'organisme. Dans le pain au levain, l'acide phytique est détruit grâce à un enzyme présent dans le levain naturel. Il n'a donc plus cet effet néfaste sur l'organisme. (**Brochoire et al. 1996**).

5.1.1 facteurs influencent l'activité de la phytase :

D'après **Lesage, (1995)**, les facteurs qui influencent l'activité de la phytase sont :

a) Les matières premières :

L'addition de malt, de levain, en raison de son acidité, ou de poudre de lait, est bénéfique sur le plan nutritionnel.

b) La durée de la fermentation :

C'est le facteur qui a l'influence la plus importante sur la dégradation de l'acide phytique. Plus la durée est importante, plus la teneur en acide phytique diminue.

c) L'acidité :

L'addition d'un levain acide provoque une acidification de la pâte dont le pH se situe entre 4,1 et 4,5, zone proche de l'optimum d'action de l'enzyme dégradant l'acide phytique

d) La température :

Une élévation de température favorise l'activité de la phytase, mais la température de fermentation est toujours inférieure à 55°C, optimum pour l'action de la phytase. En pratique, la cuisson est bénéfique pour la diminution de la teneur en acide phytique. Seuls certains groupes déterminés pourraient souffrir d'une carence en fer due à l'acide phytique. Il s'agit principalement des enfants en pleine croissance, des femmes enceintes, des personnes suivant un régime amaigrissant strict et des végétariens ou végétaliens, qui tous encourent un risque accru de déficit en fer.

5.2 Interaction du levain avec des nutriments :

5.2.1 Levain et dégradation des protéines :

Certaines cultures de levain sont capables de dégrader partiellement le gluten et d'autres protéines, ce qui peut s'avérer bénéfique pour les personnes souffrant d'une hypersensibilité au gluten (**Broeck et al., 2016**). L'ampleur de cette dégradation dépend de l'activité de la protéase, une enzyme naturellement présente dans la farine et qui dégrade les protéines. La durée de fermentation et le choix des souches bactériennes d'acide lactique influencent le niveau d'acidité et, par conséquent, l'activité de la protéase et donc la capacité à dégrader les protéines (**Broeck et al 2016**).

5.2.2 Levain et solubilité des fibres :

L'acidification et l'activation d'enzymes influencent également les propriétés des fibres existantes. Le levain et la fermentation de la levure exercent une action sur celles-ci. Par exemple, les fibres arabinoxylanes sont mieux dissoutes et l'enzyme xylanase présente naturellement connaît une activation plus importante (**Gobetti *et al.*, 2014**).

5.2.3 Levain et vitamines :

La longue fermentation du levain augmente la disponibilité de certaines vitamines dans l'organisme, comme la vitamine B1, l'acide folique ou la vitamine E. Une très longue fermentation assure le maintien d'un niveau stable de vitamine B1 dans le pain complet, tandis qu'elle ferait baisser celui du pain de levure (**Batifoulier *et al.*, 2005**).

5.2.4 Levain et composants bioactifs :

La couche extérieure des grains de blé contient plusieurs composants biologiques actifs : acides phénoliques, alkylrésorcinols, lignanes, phytostérols et tocophérols. Le levain de seigle rend certains de ces composants plus disponibles pour l'homme.

Il est avéré que la fermentation du levain influence donc favorablement la disponibilité des nutriments. Des recherches sont toutefois encore nécessaires pour déterminer les quantités précises de nutriments nécessaires pour voir apparaître les effets précités sur la santé (**Lopez *et al.*, 2003**).

5.3 Valeur nutritionnelle du levain :

Le levain est riche en macronutriments et micronutriments (tableau 1), du fait de sa teneur en acide phytique réduite (**Brochoire *et al.*, 1996**).

Tableau 1: Composition nutritionnelle moyenne pour 100 grammes de levain

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	0.2 mg
Calcium	44mg
Fer	3.6mg
Magnésium	28mg
Sodium	513mg
Potassium	128 mg

D'après **Boisseleau, (2013)**

6. La microbiologie du levain :

Lors de l'élaboration du levain, la communauté microbienne se met en place: les espèces et souches adaptées aux conditions abiotiques du milieu se développent. De plus, certaines espèces sont exclues du milieu via le phénomène de compétition pour les ressources. La microflore des levains a été étudiée dans au moins 19 pays dont 11 européens via plus de 100 publications (**d'après De Vuyst et al., 2014**).

Le levain renferme une microflore acidifiante constitué d'un équilibre entre les bactéries lactiques et de levures. (**Lhomme, 2014**). Avec un ratio moyen de $10^9 / 10^7$ UFC/g respectivement. Les bactéries lactiques sont dominantes dans les pains aux levains (**Gobbetti et al., 2005**). Ces germes préexistants dans la farine sont également apportés par l'air ambiant et le milieu du travail (**Brochoire et al., 1996**).

6.1 Les bactéries lactiques du levain

Les bactéries lactiques constituent un groupe hétérogène dont le caractère commun est la production d'acide lactique suite à la fermentation des glucides (**Labioui et al., 2005**). Ce sont des bactéries Gram-positives, non pigmentées, asporulées, généralement immobiles et dépourvues de nitrate réductase, dépourvues de cytochromes oxydases et de catalase à l'exception de certains genres à pseudo-catalase (**Doguiet Koffi- Denis, 2010**). Elles sont considérées comme des anaérobies. Cependant, leur sensibilité à l'oxygène peut être très variable selon les souches : d'anaérobies strictes à aérotolérantes voire insensibles (**Leveau et al., 1993**). Pour se développer, elles ont besoin de sources de carbone organique (glucides fermentescibles). (**Bourgeois et al., 1996**). Elles se développent majoritairement à des pH compris entre 4 et 6,5 et certaines sont encore actives à pH 9,6 ou à pH 3,2. Elles ont des tolérances très variables vis-à-vis du sel (**Doguiet Koffi- Denis, 2010**).

Sur la base de leur profil fermentaires, les bactéries lactiques peuvent être classées en deux grands groupes : les homofermentaires et les hétérofermentaires (**Lhomme, 2014**).

- ✓ **Bactéries lactiques homofermentaires** permet la production de lactate à partir d'une molécule de fructose et d'une molécule de glucose (**Lhomme, 2014**).

Les principales espèces majoritaires dans le levain jeune, sont : *Lactobacillus plantarum* et *Lactobacillus casei*. (**Blandino et al., 2003; Guyot, 2010**).

- ✓ **Bactéries lactiques hétérofermentaires** produisent en plus de l'acide lactique, de l'acide acétique, de l'éthanol et CO₂. Ainsi, ce sont des bactéries lactiques qui, à travers la dégradation du maltose, sont responsables de l'acidité du pain. . Les principales espèces hétérofermentaires,

majoritaires dans le levain âgé, sont *Lactobacillus brevis* et *Lactobacillus fermentum* (Lhomme, 2014).

La composition de la flore levurienne influence l'acidification due aux bactéries hétérofermentaires car il existe des relations de symbiose entre les levures et les bactéries lactiques. Le pH acide du levain (PH=4.5) et l'action anti-microbienne des bactéries lactiques semblent constituer une bonne protection du levain contre les contaminants. S'ils persistent, la cuisson les éliminera (Larpent, 1996, et Larpent,1991).

6.1.1 Les bactéries lactiques présentes dans le levain :

Les bactéries lactiques, jouent un rôle important dans la fermentation des levains. Leur dominance dans les écosystèmes alimentaires diffère selon les pratiques traditionnelles de préparation. La variation des technologies de production et des paramètres tels que la nature des céréales, la température, et la durée de propagation, agissent sur leur diversité et sur l'implication d'une fermentation alcoolique, ou non, menée par les levures (Hammes *et al.*, 2005).

Plus de 50 espèces de bactéries lactiques présentes dans le levain ont été décrites appartenant principalement au genre *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* ou encore *Weissella* (Lhomme, 2014). Les lactocoques, les entérocoques et les streptocoques sont très minoritaires tableau 2 (Chavan *et al.*, 2011; De Vuyst *et al.*, 2014).

Tableau 2 : Les lactobacilles présents dans le levain chef

Les lactobacilles typiques des levains	Les lactobacilles moins prédominants dans les levains	Les lactobacilles très minoritaires
<i>Lactobacillus sanfranciscensis,</i> <i>Lactobacillus pontis,</i> <i>Lactobacillus panis,</i> <i>Lactobacillus paralimentarius,</i> <i>Lactobacillus frumenti,</i> <i>Lactobacillus spicheri,</i> <i>Lactobacillus rossiae,</i> <i>Lactobacillus zymae,</i> <i>Lactobacillus acidifarinae,</i> <i>Lactobacillus hammesii,</i> <i>Lactobacillus nantensis, et</i> <i>Lactobacillus mindensis.</i>	<i>Le weissellas</i> _(<i>Weissellus cibaria,</i> <i>Weissellus confusa</i>), <i>les pediocoques</i> (<i>Pediococcus acidilactici,</i> <i>Pediococcus pentosaceus</i>), et les <i>leuconostoques</i> (<i>Leuconostoc.</i> <i>mesenteroides, Leuconostoc</i> <i>citreum</i>)	<i>Les lactocoques</i> <i>les entérocoques et</i> <i>les streptocoques</i>

(Chavan et Chavan, 2011 ; De Vuyst *et al.*, 2014).

6.1.2 Propriétés des bactéries lactiques :

D'après Lhomme, (2014) les bactéries lactiques présentent des propriétés suivantes :

- influencent sur les propriétés organoleptiques et rhéologiques grâce à la production de composés aromatiques en améliorent la texture du pain ;
- par la diminution du PH et par leur activité antifongique, contribuent à une augmentation de la durée de vie du pain ;
- Sont responsables d'une meilleure disponibilité des minéraux et de l'hydrolyse des protéines améliorant ainsi la qualité nutritionnelle du pain.

6.2 Les levures dans le levain

6.2.1 Caractéristiques générales des levures

Les levures sont des cellules capables par fermentation oxydative des glucides, de produire du dioxyde de carbone faisant «lever» les pâtes.

Les levures sont les premiers micro-organismes utilisées par l'homme depuis les millénaires, en particulier dans la fabrication des boissons alcoolisées et de pain par fermentation (**Bouix et Leveau, 1991**).

- Les levures sont des eucaryotes hétérotrophes faisant partie du groupe des champignons unicellulaires (**Tortora et al. 2003**). Ces structures sont immobiles (**Guiraud, 2003**).
- Elles se rencontrent sur les milieux riches en sucre directement assimilables les sirops, le miel, les fleurs et de nombreux fruits (les pommes, les raisins) (**Bouix et Leveau, 1991**). On trouve également des levures à la surface ou à l'intérieur d'autres êtres vivants, dans les eaux, dans l'atmosphère et dans le sol (**Leveau et Bouix., 1993 et POL., 1996**).
- Les levures sont en général acidophiles et mésophiles : elles se multiplient à des pH compris entre 3 et 7,5 et à des températures voisines de 25-28°C (**GUIRAUD, 1998**)
- Les cellules sont généralement ovoïdes. La forme levure est la plus simple des appareils végétatifs. Il se présente sous forme de cellule unique libre indépendante ou associée deux à deux ayant une morphologie caractéristique à savoir : sphérique, ovoïde, cylindrique, apicule, en bouteille, pyramidale (**Bouix et Leveau, 1991**).
- Sous sa forme unicellulaire les dimensions des levures sont de 2,5 à 10,5µm de large et de 4,5 à 21µm de long. Les dimensions et aspects dépendent fréquemment des conditions de culture et de l'âge des cellules (**Larpent, 1991**). Certaines peuvent former des associations cellulaires ou se présenter sous forme filamenteuse à certains stades de leur vie (**Bouix et Leveau, 1991**).

6.2.2 Composition des levures :

Les levures se différencient nettement des bactéries par leur structure cellulaire eucaryote (**Bouix et Leveau, 1991**).

La composition des levures peut varier selon le type de levure, les conditions de conservation ainsi que l'âge des cellules.

Les levures sont très **riches en protéines** et notamment en enzymes qui témoignent d'une activité métabolique importante. La teneur en protéines est directement liée au pouvoir fermentatif et à l'aptitude à produire la biomasse (**GUINET R et al., 1994**).

6.2.3 Métabolisme des levures :

La levure de boulangerie appartient à un groupe relativement mineur de levures : levures aérobies facultatives et fermentaires capables d'utiliser le glucose en présence ou en absence d'oxygène et de fermenter le glucose même en présence d'air. Pour cela deux modes sont possible :

➤ **Respiration aérobie** : $C_6H_{12}O_6$ (glucose) + $6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{énergie (688kcal)}$

En présence d'oxygène *Saccharomyces cerevisiae* produit son énergie par respiration. Cette voie métabolique est très énergétique et permet aux cellules de subir une multiplication avec un rendement cellulaire élevé.

➤ **Fermentation alcoolique** : $C_6H_{12}O_6$ (glucose) $\rightarrow 2CO_2 + 2CH_3CH_2OH$ (éthanol) + énergie (56 kcal).

En absence d'oxygène (anaérobiose), elle la produit par fermentation alcoolique en faisant intervenir plusieurs sortes d'enzymes.

Comme en anaérobie, le glucose suit la voie de la glycolyse jusqu'au pyruvate ; mais, en présence d'oxygène, celui-ci ne sera pas transformé en éthanol mais en acétyle-COA qui permettra l'entrée dans le cycle de Krebs . En raison de son meilleur rendement énergétique, la voie respiratoire est utilisée préférentiellement par la levure. Cependant, si la concentration en sucre du milieu augmente (> 100 mg/L), il y a inhibition de la respiration par la fermentation et production d'alcool malgré la disponibilité d'oxygène. C'est l'effet Crabtree, appelé aussi effet glucose (BOUQUADIDA, 2012).

6.2.4 Propriétés des levures dans les levains naturels

- La levure agit sur la flaveur du pain via la production d'alcool ou d'enzymes (invertase), est source de vitamines (B et D notamment) et affecte la texture de la mie (Sakharkar & Sakharkar 2009).
- Les levures, en augmentant la disponibilité de certains acides aminés, stimulent la croissance de LAB ainsi que leur propre croissance en produisant du fructose (Gobbetti *et al*, 1994).
- L'activité de l'invertase des levures permet l'hydrolyse du sucrose en fructose et glucose (Brock & Madigan 1991).
- Le glucose est directement métabolisable par la levure. D'autre part, les souches de levures et de bactéries peuvent être en compétition pour l'azote du milieu (Gobbetti *et al*, 1994a). Ces interactions sont souches-dépendantes (Meroth *et al*, 2003 ; Vogelmann *et al.*, 2009).

6.2.5 Les levures présentes dans le levain

Au niveau des levures, 25 espèces ont déjà été isolées à partir de levain, dont environ la moitié sont connues comme étant fermentaires (Urien *et al*, 2015). 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*) (**Ramsayer et Sicard, 2015**). 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 (**Ramsayer et Sicard, 2014**). Enfin, les espèces *Saccharomyces uvarum* et *Torulaspota delbruecki* dominant parfois la communauté microbienne des levains.

Pour le pain au levain San Francisco la levure *Sacharomyces cerevisiae* joue un rôle important dans la fermentation. Il y a aussi la présence et la croissance d'autres espèces de levures *Kazachstania exigua*, *Saccharomyces exiguus*, *Candida humilis*, *Pichia kudriavzevii*, *Torulaspota delbrueckii* et *Wickerhamomyces anomalus*. Ces levures évoluent en présence des bactéries lactiques indigènes précédemment décrites comme *L. sanfranciscensis* (unique dans ces écosystèmes), *L. plantarum*, et diverses autres espèces de *Lactobacillus*, de *Leuconostoc*, et de *Pediococcus* (**De Vuyst et al., 2014**).

Au total, au moins 18 espèces de levures ont été identifiées moléculairement dans des levains de blé ou de mélange blé et seigle (levains naturels avec/sans ajout de starter): *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida humilis* (ou *C. milleri*), *C. glabrata*, *Kazachstania barnettii*, *K. exigua*, *K. unispora*, *Torulaspota delbrueckii*, *Wickerhamomyces anomalus*, *Pichia kudriavzevii*, *C. parapsilosis*, *Lodderomyces elongisporus*, *Meyerozyma guilliermondii*, *Millerozyma farinosa*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *C. tropicalis*, *P. occidentalis*, *C. carpophila* et *Scheffersomyces stipitis* (**Gobbetti, 1998**).

6.3 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, diacétyl, acétoïne et esters, (**Birch et al., 2013**) diminuent l'effet négatif de certains métabolites comme l'acide phytique (**Khetarpaul & Chauhan 1990**).

- les propriétés aromatiques dépendent des souches microbiennes (**Birch et al., 2013**) ;
- les bactéries lactiques et les levures interagissent dans les produits fermentés (exemple de la libération de facteurs de croissance par les levures, permettant le développement des bactéries en surface (**Corsetti et al., 2001**).

La diversité et l'activité des bactéries lactiques et des levures dépendraient de plusieurs facteurs endogènes et exogènes au procédé de panification, comme le type de céréale composant la farine, l'hydratation du levain, la longueur des rafraîchis, ou encore la température de (**Vuyst et al., 2009**). Le blé dur (*Triticum durum*) et le blé tendre (*T.aestivum*) pourraient sélectionner différentes populations de bactéries lactiques (**Minervini et al., 2012**). Les levains liquides favoriseraient la croissance des levures et contiendraient une plus faible concentration d'acide gras libre, d'acide

lactique et surtout d'acide acétique, que les levains fermes (**De Cagno et al., 2014**). La température de fermentation affecterait la composition des espèces : l'association *C. humilis* et *L. sanfranciscensis* gagnerait la compétition contre *S. cerevisiae* et *L. plantarum* à 20°C (**Vogelmann et Hertel 2011**).

6.4 Effets et phases de la fermentation :

D'après **Lhomme, (2014)** la fermentation a 3 (trois) étapes :

Au début de la première fermentation, la microflore du levain est à l'image de la microflore de la farine et comprend environ 10² à 10⁵ UFC/g. parmi les bactéries présentes on trouve des bactéries non-lactiques mais aussi des bactéries lactiques homo-fermentaires ou hétéro-fermentaires.

- **Première phase de la fermentation** après un ou deux jours de rafraichi, une grande partie de la flore bactérienne de la farine est quasiment inhibée a cause d'un manque d'adaptation à l'environnement du levain. Lors de cette première phase le potentiel redox de la farine diminue favorisant la croissance des Entéro-bacteriaceae, des levures et des bactéries lactiques.
- Durant **la deuxième phase de la fermentation** (du 2^{ème} au 5^{ème} jours environ) les bactéries lactiques spécifiques au levain (*Lactobacillus*, *Weissella* et *pediococcus*) dominent. A ce stade, les bactéries lactiques produisent des acides lactiques et acétiques qui diminuent le ph du levain. Cette acidification inhibe la croissance des entérobacteriaceae et favorise celle des levures.
- Pendant **la troisième et dernière phase de la fermentation**, au fur et à mesure que le nombre de rafraichis augmente, les espèces très adaptées au levain telles a que *L.plantarum* ou *L.fermentum*, et les levures sont dominantes dans le levain mature atteignant 10⁶ à 10⁹ UFC/g et 10⁵ à 10⁸ UFC/g respectivement.

6.5 Des effets technologiques et d'environnement :

Les paramètres technologiques utilisés lors de l'élaboration du levain ont une grande importance sur la sélectivité des espèces de bactéries lactiques présentes dans le levain (**Lhomme, 2014**).

Des études effectuées par Lhomme en 2014 , ont montré que les bactéries lactiques présentes dans les levains rafraichis soit par une farine de blé dur (*Triticum durum*) soit par farine de blé tendre (*Triticum aestivum*) sont différentes. En effet, le levain à base de farine T. durum est caractérisé par la présence majoritaire de bactéries lactiques hétérofermentaires. À l'inverse, les levains à base de blé (*Triticum aestivum*) sont dominés par une flore lactique homofermentaire. De la même manière, un taux d'hydratation élevé permet de sélectionner les bactéries lactiques face aux levures.

En effet, La température et le nombre de rafraichis jouent un rôle très important pour la sélection des espèces présentes dans le levain. Après 10 jours de rafraichis, le levain rafraichi à 23°C toutes

les 24h est dominé par *Leuconostoc.citreum* alors que les levains rafraichis à plus hautes températures (30 et 37°C) sont prédominés par *Lactobacillus.fermentum*. Un temps plus long (toutes les 48h à 30°C) résulte en une codominance de *Lactobacillus.Fermentum* et *Lactobacillus.Plantarum*.

6.6 Le levain final et sa stabilité :

Après 10 jours de rafraichis il est estimé qu'un levain est microbiologiquement stable. Le levain mature (ou levain chef) est un écosystème complexe, avec un faible PH, un faible taux d'oxygène et une présence de bactéries lactiques compétitives et adaptées à ce milieu. Cependant, lors du stockage du levain chef, entre deux panifications, il va y avoir une diminution de la température et du PH ainsi qu'une compétition nutritionnelle. Les bactéries lactiques sont capables d'adapter leur métabolisme, pour survivre à ces conditions. Ainsi, les bactéries qui ont réussi à être dominantes dans le levain lors de son élaboration restent présentes au cours du temps. Ainsi, lors de l'élaboration du levain les bactéries lactiques compétitives s'installent et les espèces lactiques majoritaires dépendent des paramètres de rafraichis utilisés. Lorsque le levain est mature, les bactéries lactiques présentes développent des mécanismes d'adaptation aux conditions de l'écosystème du levain. Enfin, un environnement boulanger stable permet la constance des espèces présentes dans le levain (**Lhomme, 2014**).

6.7 Fermentation et microorganisme fermenteurs du levain

La microflore des levains est toujours composée de bactéries lactiques et de levures. Le rapport entre ces deux types de microorganismes est toujours en faveur des bactéries (la moyenne est de 1 levure pour 50 bactéries). Même si elles portent le nom de « *Saccharomyces cerevisiae* », les levures ne sont pas les mêmes que les levures de boulangerie (que les recherches ont rendu très performantes en production de gaz). Elles sont parfois appelées ; sauvages ou levures du levain. Bien plus que la levure de boulangerie, elles supportent l'acidité produite par les bactéries et sont dites « acidotolérantes ». Dans les levains séchés et « starters » on retrouve plus difficilement ces levures typiques du levain puisqu'elles ne supportent pas la dessiccation à froid et la longue conservation (**Delwaque, 2011**).

6.7.1 Action fermentaire des levures

6.7.1.1 Les mécanismes de production de biomasse de la levure :

Pour obtenir un bon rendement de production de biomasse, il est nécessaire d'oxyder complètement le substrat organique et d'utiliser l'énergie potentielle libéré au cours de la fermentation (Scriban, 1999). Trois comportements métaboliques peuvent être distingués chez les levures selon la façon dont elles dégradent la source de carbone utilisée pour produire leur énergie: oxydatif, fermentaire et respiro-fermentaire (**Kappeli, 1986 ; Aguilar Uscanga, 2003**). Le type métabolique, lui-même, varie selon l'environnement (présence d'oxygène), la source de carbone et l'espèce de la levure considérée (**Bauer *et al.*, 1992**).

La levure *Saccaromyces cerevisiae* a un métabolisme varié (**Bouix et Leveau, 1991**). Cependant, le bon rendement de production de la biomasse s'effectue grâce au métabolisme respiratoire.

Le métabolisme (respiratoire) oxydatif du glucose est une oxydation complète de la molécule de sucre en eau et en gaz carbonique à travers les voies métaboliques de la glycolyse, du cycle de Krebs et de la phosphorylation oxydative. Deux conditions sont nécessaires à ce métabolisme ; la présence d'oxygène et la concentration en glucose et c'est pour éviter un changement métabolique (**Van Uden et Fell, 1968**). 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 :



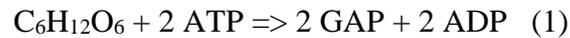
-En condition anaérobie, les levures sont capables de fermenter. De plus, certaines levures (dites « Crabtree positive ») peuvent également fermenter les sucres en condition aérobie si la concentration en glucose est importante : c'est l'« effet Crabtree » (**Rhind *et al.*, 2011 ; Rozpędowska *et al.*, 2011 ; Hagman *et al.*, 2013**).

* **L'effet Crabtree** est encore peu connu et concerne aussi bien les cellules procaryotes (bactéries) que les eucaryotes (champignons et mammifères) (**Encyclopedia of Industrial Biotechnology, 2010**).

***L'effet Crabtree** à court terme est défini comme la survenue immédiate d'une fermentation alcoolique aérobie en réponse à la fourniture d'une impulsion d'excès de sucre aux cultures de levure à teneur en sucre limitée (**De Deken, 1966**).

Au cours de la fermentation par les levures, le glucose est transformé en pyruvate par la voie de la glycolyse ou « voie d'Embden-Meyerhof ». La glycolyse a lieu dans le cytosol de la levure et permet l'assimilation des sucres d'un milieu par la cellule.

- ✓ Dans un premier temps, la dégradation du glucose ($C_6H_{12}O_6$) en glycéraldéhyde-3-phosphate (GAP) met en jeu une chaîne de quatre réactions enzymatiques et implique la dégradation de deux molécules d'adénosine triphosphate (ATP) en adénosine diphosphate (ADP).



- ✓ Dans un second temps, la conversion du GAP en pyruvate (CH_3COCOO^-) permet la récupération d'une partie de l'énergie du GAP sous forme d'ATP et il y a formation de NADH.
- $$2 GAP + 4 ADP + 2 H_2PO_4^- + 2 NAD^+ \Rightarrow 2 CH_3COCOO^- + 4 ATP + 2 NADH + 2 H^+ + 2 H_2O$$
- (2)

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



Ensuite, la voie de la fermentation transforme le pyruvate issu de la glycolyse et il y a production d'acétaldéhyde, puis d'éthanol (C_2H_5OH) via une réaction d'oxydation du NADH. C'est la production finale d'éthanol qui donne son nom à la « **fermentation alcoolique** ».

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



7. Conservation du levain

D'après Boisseleau, (2013) la conservation d'un bout de pâte a des limites. La température, la durée de conservation sont deux paramètres à tenir en compte. Une fois les huit heures dépassées l'activité fermentaire est descendante et plus que faible, il faut soit «re-nourrir» le levain, soit aider la mise en veille par le froid positif (le mettre au congélateur).

En effet, un levain se bonifie avec le temps et s'enrichit : on voit apparaître des bactéries lactiques hétérofermentaires qui produisent non seulement de l'acide lactique, mais aussi de l'acide acétique et du CO_2 , ce qui renforce la levée.

Il s'agit de revivifier le ferment en le ramenant doucement à température ambiante puis le rafraîchir aussi souvent que nécessaire. Il est préférable d'employer une farine intégrale pour re-nourrir le levain-chef. Pour des durées qui restent courtes (une semaine), on peut aussi le mettre au frais ($6-10^\circ C$) et le ramener pendant 2h à température ambiante avant de le rafraichir.

7.1 Techniques pour les longues durées

Il existe à priori 2 techniques pour conserver le levain (**Boisseleau, 2013**) :

- la déshydratation
- la congélation

a) la déshydratation :

- la technique des petites boules : quand le levain est à son apogée, lui ajouter de la farine pour obtenir une pâte type pâte à modeler, puis façonner des petites boules de la taille d'une bille. Les laisser sécher sans qu'elles se touchent, puis les mettre dans un four à 40°C pour finir le séchage. Les stocker ensuite dans une boîte au sec à température ambiante. Pour le réutiliser, réduire les billes en poudre avec et mélanger à de l'eau tiède et farine à parts égales pour réactiver. Quelques jours après le levain revit.

- La technique des pellicules fines consiste en choisir le moment où son levain est en pleine forme (à son maximum de bulles). Étaler, sur une feuille de papier sulfurisé, une mince couche de levain et le faire sécher jusqu'à ce que le mélange blanchisse et qu'il n'y ait plus d'endroit sombre (signe d'humidité). Le levain doit se décoller automatiquement, de la feuille en séchant. (figure 4) Émietter bien le levain et le conserver dans une boîte fermée propre et sèche. La conserver dans un placard à l'abri de la lumière.



Figure 4 : La méthode des pellicules fines (Boisseleau, 2013)

Pour le faire revivre il suffira, comme pour les «petites boules» de l'incorporer dans une pâte. Le levain redevient bien actif au bout de 24 à 36 h, mais c'est variable selon la température de la pièce et de la «force» qu'avait le levain avant déshydratation.

b) La congélation

C'est la technique la plus risquée car elle affaiblit beaucoup le levain. Mettre du levain «bien actif» qui a été récemment rafraîchi (par ex. 100 g.) dans une boîte hermétique et la stocker au congélateur.

Pour le réactiver, laisser décongeler à température ambiante. Le levain ne sera pas très actif après ce passage au grand froid, il faudra être patient et le nourrir pendant quelques jours, en le rafraichissant régulièrement. Le levain décongelé sera réactivé au bout de 24 à 36 heures environ. L'activation après congélation est plus longue que celle après déshydratation, car beaucoup de cellules meurent à basse température, mais si votre levain était assez «fort» avant la congélation, il revivra.

Chapitre 2 :

- *Le blé tendre et panification*
- *Caractères organoleptiques et nutritionnelles du pain au levain de blé complet*

1. Le blé tendre et ses caractéristiques :

1.1 Description :

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

Sur l'épi, le grain est entouré d'enveloppes qui n'adhèrent pas à la graine et qui sont éliminées au moment du battage (**Surget et Barron, 2005**). Le blé est composé de deux espèces ; le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Elles se différencient par la friabilité de l'amande, qui est plus importante pour le blé tendre et permet la transformation (Figure 5) en farine, alors que le blé dur est plus apte à se transformer en semoules.

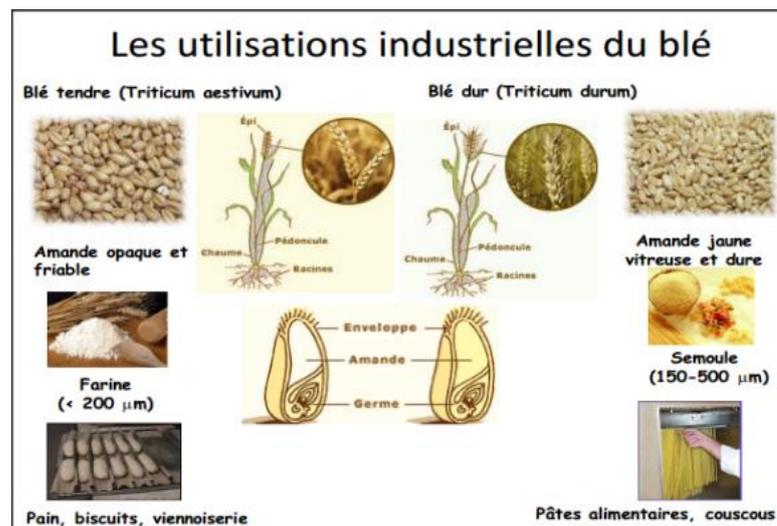


Figure 5: Les utilisations industrielles du blé (Abecassis ,2015)

1.2 Structure du grain de blé tendre :(*Triticum aestivum*)

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 varie de sphérique à allongée, sa surface est parcourue d'un sillon longitudinal dont la profondeur atteint près de la moitié de l'épaisseur du grain (figure 6) (**Feillet, 2000**) .

Le grain de blé comprend trois parties principales : l'enveloppe, l'amande farineuse et le germe.

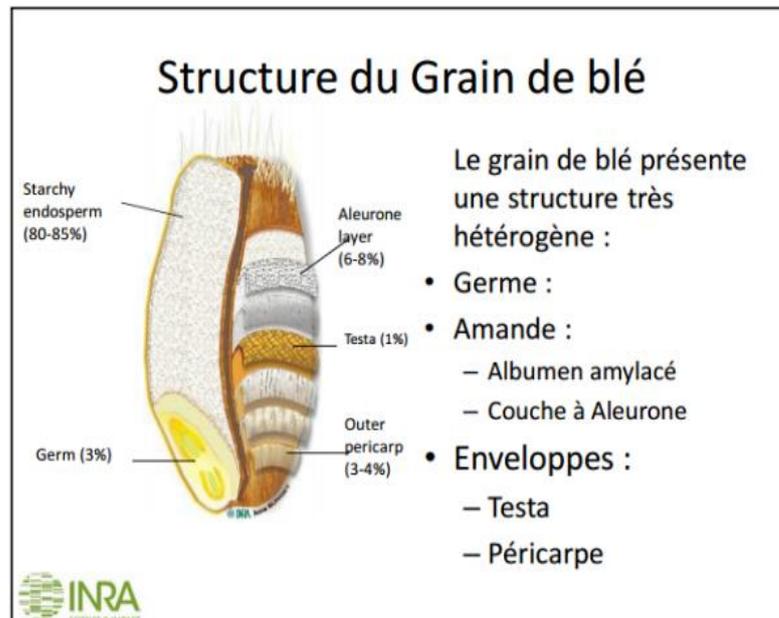


Figure 6 : Structure du grain de blé (Abecassis ,2015).

1.2.1 L'enveloppe :

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

- a) **Le péricarpe** : c'est une enveloppe avec des cellules dont la membrane est épaisse riche en fibres cellulosiques et hemi-cellulosique, son utilisation digestive est médiocre ; elle est riche également en sels minéraux et en acide phytique qui complexe le calcium et le fer et détermine sa disponibilité.
- b) **Le tégument séminal** : contient les colorants du grain qui lui donnent sa couleur jaune marron.
- c) **La bande hyaline** : c'est un ensemble de cellules transparentes ;
- d) **L'assise protéique ou couche à aleurone** (aleurone étant une substance protidique de réserve) qui est riche en protéines, vitamines (elle contient des vitamines B1 et B2 et environ les 2/3 des vitamines B6 et B3 du grain), minéraux, lipides, cellulose et lignine.

1.2.2 L'Albumen ou amande farineuse :

C'est la partie du grain qui donne la farine. Elle est blanche et farineuse dans le blé tendre, tend vers le jaune et vitreux dans le blé dur. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renfermant les grains d'amidon (70% de l'amidon total) réunis entre eux par un réseau de nature protéique, le gluten. Elle représente 80% du poids du grain et sa partie inférieure est délimitée par le germe.

1.2.3 Le germe :

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

- a) **l'embryon**, formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorizhe et de la coiffe.
- b) **le scutellum** qui entoure l'embryon, le protège, et joue un rôle nourricier (**feillet, 2000**).

1.3 Transformation du blé tendre en farine :

Pour obtenir la farine souhaitée, chaque meunier met au point un diagramme de mouture, c'est-à-dire « un programme de réglage des machines » qui permet la fabrication de la farine en fonction des caractéristiques du blé reçu et de la farine souhaitée. Pour bien comprendre le processus de fabrication de farine ou de transformation du grain de blé en farine, ou plus précisément du principe d'extraction de farine. Il faut comprendre le parcours que le grain de blé effectue dès son arrivée au moulin (**Doumandji et al., 2003**).

1.3.1 Étapes de la transformation des blés en farine :

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

- **Premier étape le nettoyage** des blés dont le but d'éliminer les produits et grains contaminants.
- **deuxième étape le conditionnement** qui permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître les différences de friabilité entre les tissus du grain.
- **troisième étape la mouture** proprement dite qui assure la séparation de l'albumen et des enveloppes et réduit l'albumen en fines particules.

1.3.2 Étapes de la mouture (**FEILLET, 2000**) :

- **Le broyage** est une opération qui permet d'ouvrir mécaniquement le grain, par cisaillement, choc ou compression et de détacher plus ou moins complètement l'amande qui se brise alors que les enveloppes, plus élastiques, résistent. Il est réalisé entre des cylindres cannelés tournant en sens inverse et à des vitesses différentes.
- **Le convertissage** et le **claquage** sont effectués dans des appareils à cylindres lisses, respectivement des convertisseurs et des claqueurs.
- **Le tamisage**, ou **blutage**, permet de séparer les produits en provenance des cylindres lisses et des cylindres cannelés en fonction de leur granulométrie. L'opération est réalisée dans des plansichters.
- **Le sassage** assure également la séparation des produits de mouture: les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au-dessus du tamis dont la largeur de

maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l'inclinaison et le mouvement de va-et-vient des tamis.

- **La ségrégation** des produits repose sur leurs différences de densité et de propriétés aérodynamiques : les particules d'albumen amylicé, plus dense ($d=1.4$) que celles d'enveloppe ($d=1.2$), retombent plus rapidement sur les tamis et sont extraites en premier.

2. La farine de blé tendre (*Triticum aestivum*) :

2.1 Définition :

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

2.2 Composition biochimique de la farine :

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

a) Amidon

Représente 65 à 70 % du poids total de la farine, c'est une forme de réserve des glucides chez les plantes. Il contient dans sa structure deux polymères : l'amylose et l'amylopectine. Ces molécules absorbent l'eau, et sous l'effet de la chaleur, elles forment un gel essentiel à la transformation de la farine.

b) Matières minérales

Représentant 0.45 à 0.60%, les teneurs en matières minérales sont peu importantes. La pureté de la farine se juge d'après sa teneur en résidu minéral. Les Matières minérales de la farine apparaissent après calcination, les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Comme les matières minérales existent en plus grande quantité dans les enveloppes du blé, on conclut que moins il y a de cendres, plus que la farine est pure.

c) Les protéines

Elles se retrouvent dans l'endosperme (73 %), le son (19 %) et le germe (8 %). Elles représentent en général 11 à 13.5 %. Elles sont classées selon leurs solubilités en :

- protéines hydrosolubles, principalement les albumines et les globulines (15 à 20 % des protéines totales).
- protéines insolubles (80 à 85 %) dans l'eau dont les gliadines (45 à 50 %) et les gluténines (55 à 60 %) qui forment le gluten.

d) Les lipides

Les lipides de la farine de blé tendre sont constitués de 23 classes de lipides saponifiables séparés en 3 groupes (**lipides neutres**, **glycolipides** et **phospholipides**) dont les proportions varient selon leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de l'amidon.

e) Les vitamines

Le blé contient une quantité appréciable de vitamines que l'on retrouve surtout dans le son et le germe. On retrouve les vitamines du groupe B avec une teneur d'environ 4.6 mg /kg de grain et la riboflavine avec 1.3 mg/kg. La mouture détruit une partie d'entre eux. Les vitamines C et D sont absentes du grain ; par contre le blé est riche en vitamine E qui peut agir comme agent antioxydant.

2.3 Caractéristiques physico – chimiques de la farine de blé tendre :

D'après **FEILLET (2000)**, la farine présente des caractéristiques physico-chimiques suivantes :

a) Teneur en eau :

Le taux d'humidité de la farine est un facteur important de conservation et de stockage, et doit être inférieur ou égal à 15.5 %.

b) Teneur en cendres :

La détermination du taux de matières minérales, principalement réparties dans les enveloppes et les germes, qui donnent une indication sur le taux d'extraction pour le meunier.

e) Taux en protéines :

La teneur en protéines, par son intérêt technologique et nutritionnel, est un élément de la valeur d'utilisation du blé. Le gluten est un principal élément de la farine qui se trouve en proportion beaucoup plus grande, c'est à leurs propriétés fonctionnelles très particulières que la farine doit son aptitude à la panification.

Dans les farines, l'accroissement de la teneur en protéines se traduit par une augmentation de la pression P et du gonflement G des alvéogrammes,

d) Acidité :

Les mauvaises conditions de conservation s'accompagnent par d'autres phénomènes : une dégradation enzymatique des lipides se traduisant par un accroissement de l'acidité du milieu, cette acidification constitue un indice d'altération de la qualité technologique (0.045% tolérance 0.015).

Le tableau 3 énonce les valeurs moyennes de la composition physico-chimique d'une farine de blé tendre.

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre

Caractéristiques des farines de blé tendre	
Teneur en eau %	≤15.5
Teneur en cendre (MS%)	0.56-0.67 farine courant <0.6 farine supérieure
Teneur en protéine (MS%)	>8
Acidité en g/l de H ₂ SO ₄	0.045-0.05
Teneur en lipides (MS%)	<1.4

D'après **Feuillet, (2000)**.**2.4 Types de farines :**

Depuis le début de la campagne, les types de farines sont déterminés d'après le taux de cendre, ce sont avec le pourcentage de l'humidité les seules normes fixe par l'autorité comme indique le tableau 4.

Tableau 4 : Types de farines par rapport au taux de cendres, humidité et taux d'extraction moyenne.

Type	Dénomination courante	Taux de cendre en (MS%)	Humidité %	Taux d'extraction moyenne correspondant
45	Farine pour pâtisserie	Moins de 0.5	15.5%	67
55	Farine blanche	De 0.5 à 0.6	15.5%	75
65	Farine de pain de campagne	De 0.62 à 0.75	15.5%	78
80	Farine bise ou semi-complète	De 0.75 à 0.9	15.5%	80-85
110	Farine semi-complète	De 1.00 à 1.20	15.5%	85-90
150	Farine intégrale	Plus de 1.4	15.5%	90-98

D'après **Calvel, (1980)**

3. Technologie de la panification :

-La panification : c'est l'ensemble des opérations, qui constituent la fabrication du pain. Elle se fait essentiellement à base de matières premières suivantes : farine de blé, eau, sel et parfois ajout d'additifs alimentaires. Ils sont principalement destinés à améliorer les propriétés rhéologiques (ténacité, extensibilité, élasticité), structurales (microalvéoles) et fermentaires des pâtes (**Kamelia et Ourdia, 2017**).

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

3.1 Les étapes de panification :

Le processus de panification est structuré par succession d'opérations unitaire. Elle demande la maîtrise de ses différentes étapes, et le savoir-faire (**Malik, 2016**).

La panification au levain naturel figure parmi les méthodes de fabrication présentes dans la classification officielle (**Diane et al, 2008**).

3.1.1 Pétrissage :

C'est la première étape ou opération unitaire, qui permet de mélanger de façon intime les ingrédients et d'incorporer de l'air dans la pâte pour favoriser la multiplication des levures.

Le pétrissage permet l'hydratation du gluten et la formation de fibres emprisonnant l'oxygène et les grains d'amidon, ce qui mène à l'hydratation de l'amidon et à sa transformation enzymatique en sucres (figure7). Le pétrissage consiste à appliquer une force mécanique afin d'assurer l'homogénéisation des différents ingrédients (figure 6) (**Peighambardoust et al., 2010**).

Le pétrissage se compose de **deux phases** : le frasage et le pétrissage : Ces deux phases sont effectuées dans le pétrin, l'une à la suite de l'autre.

- **Le frasage** s'effectue à vitesse lente afin de mélanger les ingrédients et d'hydrater la farine. Ce procédé incorpore l'eau au gluten de l'amidon de la farine. Les particules de gluten gonflent et forment un réseau semblable à un échafaudage (figure 8).
- **Le pétrissage** se réalise à vitesse plus rapide (environ deux fois plus vite que celle du frasage). Ce traitement consiste à développer le réseau glutineux (**Alvarado, 2014**).



Figure 7 : Le pétrissage (Roussel et al ,2010)

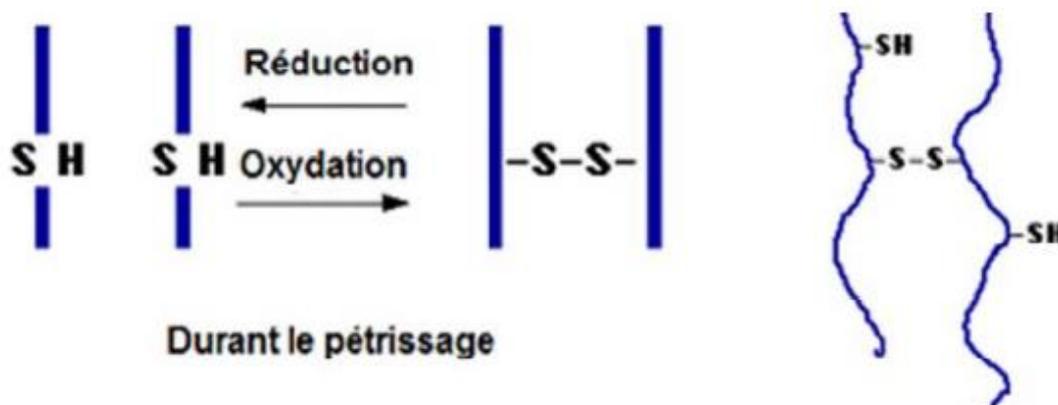


Figure 8: Schéma représentatif de la formation du réseau du gluten durant le Pétrissage (Meredith, 1964).

3.1.2 Pointage :

Le pointage ou piquage correspond à la toute première fermentation en cuve ou en bac, qui a lieu dès que la levure entre en contact avec le mélange farine /eau. Il concerne l'ensemble de la masse de pâte (figure8) .Le premier rôle du pointage est de donner de la force à la pâte. Cette prise de force correspond à une modification du gluten. La pâte devient plus tenace, plus élastique et moins extensible. Le tissu glutineux formé peut retenir le dioxyde de carbone. Le deuxième rôle est la formation de la flaveur du pain (odeur et saveur). En effet, il y a formation d'acide propionique , d'acide pyruvique, d'aldéhydes et de cétones aromatisants ainsi que de faibles quantités d'acide acétique et d'acide lactique qui sont aussi exhausteurs d'arômes (**Fredot, 2005**).



Figure 9 Le pointage (Touyarou, 2012)

3.1.3 La division et boulage :

La pâte est décuvée et pesée par bacs de même poids de pâte. La pâte est alors divisée en plusieurs boules de même poids appelés « **pâtons** » (**figure9**) . Chaque boule servira au façonnage d'un pain différent (**Langraf, 2002**).

3.1.4 La détente :

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

3.1.5 Le façonnage :

Il consiste à donner à chacun des pâtons sa forme voulue selon le type de pain désiré (baguette, épi, boule, couronne ...). Pendant cette étape, il y a encore production de sucres fermentescibles (glucose+ maltose) toujours grâce à l'action des amylases sur l'amidon qui subiront la deuxième fermentation (**Fredot ,2005**).



Figure 10 : Le façonnage (Touyarou 2012)

3.1.6 L'apprêt :

L'apprêt est la deuxième étape de fermentation appliquée aux pâtons boulés, Elle se fait aussi dans une enceinte thermostatée (20-25) (**landraf,2002**).

La levure utilise encore les sucres fermentescibles pour produire du CO₂ en grande quantité. Retenu par le film élastique et continu du réseau de gluten, ce CO₂ ouvre alors une multitude de petites alvéoles qui font de plus en plus gonfler la pâte. Plus le taux d'extraction de la farine est faible et plus le réseau de gluten se distend sous la poussée du CO₂. Le volume de chaque pâton est ainsi triplé et il y a là encore production de nombreux arômes (**Fredot ,2005**).

3.1.7 Incision superficielle des pâtons :

Des petits coups de lame sont donnés sur la partie supérieure des pâtons ce qui forme des incisions. Elles ont pour but d'éviter les déchirures peu esthétiques de la croûte sous la très forte poussée du CO₂ et sous l'action de la chaleur lors de la cuisson.

Elles permettent aussi d'obtenir de belles arêtes appelées grignes dorées et croustillantes qui sont un élément important du « bon pain » (**Fredot, 2005**).

3.1.8 La Cuisson :

La cuisson du pain est réalisée à environ 250°C. Le four doit être préchauffé car une certaine quantité de chaleur est perdue à l'introduction des pâtons. La cuisson dure typiquement entre 40 et 60 minutes, selon la taille des pains à cuire (**Alvarado ,2014**).

La cuisson a pour but essentiel de gélatiniser l'amidon et de coaguler les protéines afin d'accroître leur digestibilité. Elle permet en plus d'assurer une durée de conservation convenable au produit par destruction des enzymes et des microorganismes (**Potus et Drapron, 1990**).

4. Caractères organoleptiques et nutritionnelles du pain au levain de blé complet :

4.1 Types traditionnels et nouveaux pains au levain :

4.1.1 Levain de seigle :

La farine de seigle contient des niveaux plus élevés de pentosanes que la farine de blé; d'où la cuisson les propriétés diffèrent considérablement. Les protéines de la pâte de seigle jouent un rôle moindre dans la mie (processus de formation) que dans la pâte de blé, car les pentosanes inhibent généralement le gluten réseau. De plus, les caractéristiques acides typiques du levain augmentent la solubilité et les propriétés de gonflement des pentosanes. Une quantité excessive d' α -amylase dans la farine de seigle produit non seulement une mie collante, mais, à des niveaux plus élevés, elle produit un grain très ouvert et une réduction de volume du pain en les rendant plus élastiques et extensibles et confère la saveur acide caractéristique des pains de seigle (**Arendt et al. 2007**).

4.1.2 Levain de blé :

L'utilisation du levain dans les pains de blé a gagné en popularité ces derniers temps comme moyen pour améliorer la qualité et la saveur des pains de blé. San Francisco pain au levain français est un exemple de produits de blé qui reposent sur le processus d'aigre. Plusieurs rapports ont également indiqué que l'incorporation de LAB sous la forme de le levain retarde notamment le rassissement du pain de blé. (**Arendt et al. 2007**).

4.1.3 Levain sans gluten :

La majorité des produits de boulangerie sans gluten sur le marché sont de mauvaise qualité par rapport à leurs homologues du blé (**Arendt et al. 2007**). Ceci est principalement dû aux propriétés uniques du gluten et l'absence de réseau protéique dans les aliments sans gluten des produits. Les recherches actuelles visent à trouver d'autres substrats pour le seigle et le blé comme la farine d'orge et la graine de jacquier pour faire du pain que les patients cœliaques peuvent tolérer. L'autre approche implique l'utilisation d'une tel farine avec le levain pour améliorer la qualité de la matrice sans gluten. Les effets de l'ajout de levain produit à partir d'un mélange de farine de riz brun, d'amidon de maïs, de sarrasin et de soja à une recette de pain sans gluten ont été étudiés (**Moore et al. 2007**).

4.1.4 Nouveau levain :

Il existe un grand nombre d'études pour trouver des substrats alternatifs, à part le seigle et blé, pour faire du pain fonctionnel en utilisant du levain. La consommation d'aliments à base d'orge entière réduit le cholestérol sanguin et la glycémie index, et favorise la perte de poids en augmentant la satiété. L'utilisation du levain peut être une stratégie pour améliorer la qualité du pain d'orge (**Sudhanshu et Ramesh ,2015**).

Dans une étude récente, deux levains, fabriqués avec de la farine d'orge unique sans coque ou mélange de 50 g / 100 g d'orge et 50 g / 100 g de farine de blé, ont été caractérisés point de vue

microbiologique et technologique, par rapport à une farine de blé unique levain. Globalement, les résultats ont montré que les levains d'orge étudiés pouvaient être utilisés pour obtenir du pain d'orge à valeur nutritive améliorée (**Mariotti et al. 2014**).

De même, l'utilisation de la fermentation au levain et d'un mélange de blé, pois chiche, lentille et il a été constaté que la farine de haricot améliore les caractéristiques nutritionnelles, texturales et sensorielles de pain blanc (**Rizzello et al. 2012**)

4.2 Caractéristiques organoleptiques : Selon Lhomme, (2015) :

- Le levain donne au pain une très agréable saveur acidulée grâce à l'acide lactique et à l'acide acétique produits par les bactéries, ainsi qu'une texture rustique, dense et légèrement élastique.
- Chaque levain est unique, et apporte une grande richesse d'arômes et de goûts développés par son acidité et par l'extrême diversité des microorganismes qui le compose. Il agit également sur les caractéristiques physiques de la pâte et du pain. L'acidité augmente la conservation du pain en créant un environnement défavorable au développement de moisissure mais surtout, il ralentit le rassissement en limitant les échanges d'eau entre le pain et l'extérieur,
- La fermentation au levain s'est avérée utile pour améliorer la texture et la palatabilité de produits à grains entiers et riches en fibres ou sans gluten et peut se stabiliser ou augmenter les niveaux de composés bioactifs (**Katina et al. 2005**).

4.3 Caractéristiques nutritionnelles du pain au levain de blé complet :

Le deuxième étage de la pyramide est rempli par les céréales et les féculents. Les aliments de cette famille sont riches en glucides complexes. Ces glucides doivent être la principale source d'énergie de l'organisme pour une alimentation équilibrée. C'est pour cette raison que cette famille a une place très importante dans la pyramide. Une attention particulière sera accordée aux produits céréaliers complets qui présentent de nombreux avantages par rapport à leurs homologues raffinés. Ils sont riches en vitamines et en fibres (sentiment de satiété plus important, prévention du cancer du côlon, régulateur du transit intestinal).

Le pain au levain présente un 1er avantage : il est plus digeste. En effet, les bactéries lactiques formées au cours de la fermentation vont initier le travail d'acidification et donc de digestion. La fermentation va aussi contribuer à dégrader en partie le gluten, qui peut poser des problèmes de digestion. Il est conseillé de choisir du pain au levain pour les pains complets qui peuvent être plus difficiles à digérer. Par ailleurs, **l'indice glycémique du pain au levain est plus faible** que celui du pain à la levure. Il est d'environ 65 contre plus de 80 pour celui à la levure. Le pain au levain

va donc permettre une diffusion plus lente des glucides, et donc limiter les fringales et le stockage des glucides sous forme de graisses (**Hollon et al. 2015**) .

Enfin, **le pain au levain présente aussi un apport plus élevé en vitamines et minéraux**. En effet, les vitamines et minéraux du pain sont enfermés dans une molécule appelée l'acide phytique. Cet acide reste intact au cours de la digestion et empêche les vitamines et minéraux de franchir la barrière intestinale pour passer dans notre organisme : ils ne sont donc pas ou peu assimilés. Dans le cas du pain au levain, les bactéries lactiques produites au cours de la fermentation vont permettre de neutraliser l'acide phytique, qui va alors libérer les vitamines et minéraux afin qu'ils soient assimilés par l'organisme (**Korem et al, 2017**).

4.3.1 Le pain au levain facilite le contrôle du niveau du sucre dans le sang :

Bien que les recherches soient encore mal comprises, le pain au levain peut avoir un effet bénéfique sur la glycémie et l'insuline. En fait, de nombreux chercheurs suggèrent que la fermentation du levain peut modifier la structure des molécules de glucides. Ce qui réduit l'indice glycémique du pain au levain et donc, ralentit la vitesse à laquelle le sucre intègre la circulation sanguine. De plus, les bactéries lactiques produisent des acides organiques pendant le processus de fermentation du levain et ces acides peuvent prévenir l'augmentation du niveau de glycémie dans le corps (**De angelis et al,2009**)

4.3.2 Protéolyse :

La dégradation des protéines pendant la fermentation au levain est l'une des principales caractéristiques qui influencent la qualité globale du pain au levain (**Gänzle et al. 2008**). La main d'œuvre les protéinases de levure (intracellulaires ou extracellulaires) ne jouent pas un rôle majeur dans l'hydrolyse des protéines dans le levain (**Wieser et al. 2008**). Au lieu de cela, la protéolyse (ventilation des protéines en peptides) pendant la fermentation du pain au levain est initiée par le blé ou des protéinases endogènes de seigle qui sont activées par le faible pH. Hydrolyse plus poussée des peptides en acides aminés est réalisée par des peptidases intracellulaires / extracellulaires de LAB (**Di Cagno et al. 2004**). En outre, la plupart des LAB au levain, préfèrent l'absorption de peptides plutôt que le transport d'acides aminés (**Thiele et al. 2004**).

4.3.3 La stabilité des vitamines et des composés bioactive :

La consommation de produits alimentaires à grains entiers aurait de nombreux avantages pour la santé, comme une faible digestibilité de l'amidon, une meilleure régulation de la glycémie et une diminution du risque de le diabète, le cancer et les maladies cardiovasculaires (**Jacobs et al. 1998 ; Liu et al. 2000 ; Pereira et al. 2002**). Il existe des rapports mitigés sur l'amélioration ou la diminution des effets du levain fermentation sur la biodisponibilité des minéraux et vitamines dans les produits finaux selon les types de processus de levain (**Liukkonen et al. 2003**). De même, une diminution du tocophérol et du tocotriénol (**Wennemark et Jägerstad 1992**) et diminution / une augmentation de la teneur en thiamine a été signalée en fonction du processus de fermentation (Ternes et Freund 1988). La présence de levure suppose de soutenir la formation de thiamine et de folates, en particulier après un long temps de fermentation (**Batifoulier et al. 2005**). Les effets du levain sur la qualité nutritionnelle du pain est illustrée à la Fig.11.

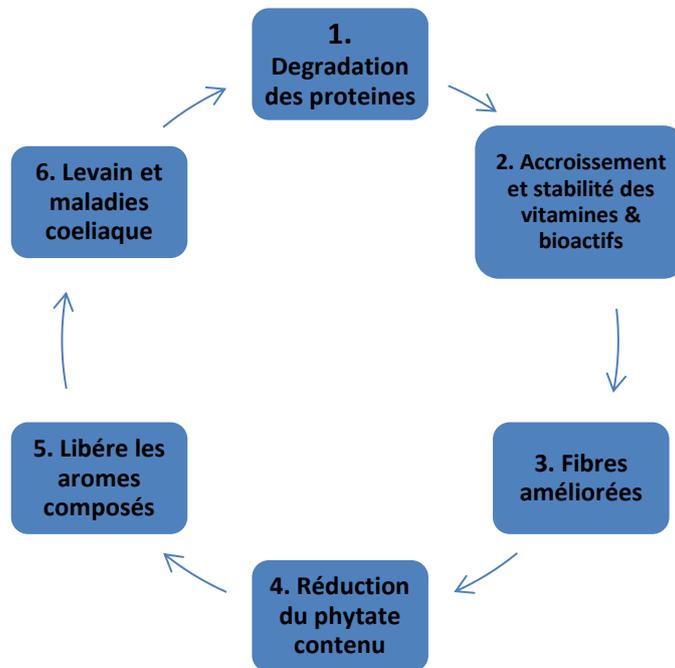


Figure 11 : Effet du levain sur la qualité nutritionnelle du pain (Arendt et al. 2007).

Partie 2 : Étude Expérimentale

Chapitre III

Matériel et méthodes

1. Objectif du travail :

L'objectif de cette étude vise à :

- élaborer un levain naturel à base de farine de blé tendre complet afin de l'incorporer dans un pain diététique.
- analyser les échantillons des matières premières et le levain sur le plan physico-chimique, technologique et microbiologique afin d'essayer de déterminer la flore fongique et bactérienne engendrant la fermentation.
- apprécier la qualité sensorielle au levain

2. Lieu stage :

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de la faculté de sciences de la nature et de la vie de Blida département agroalimentaire.

3. Matériel utilisé :

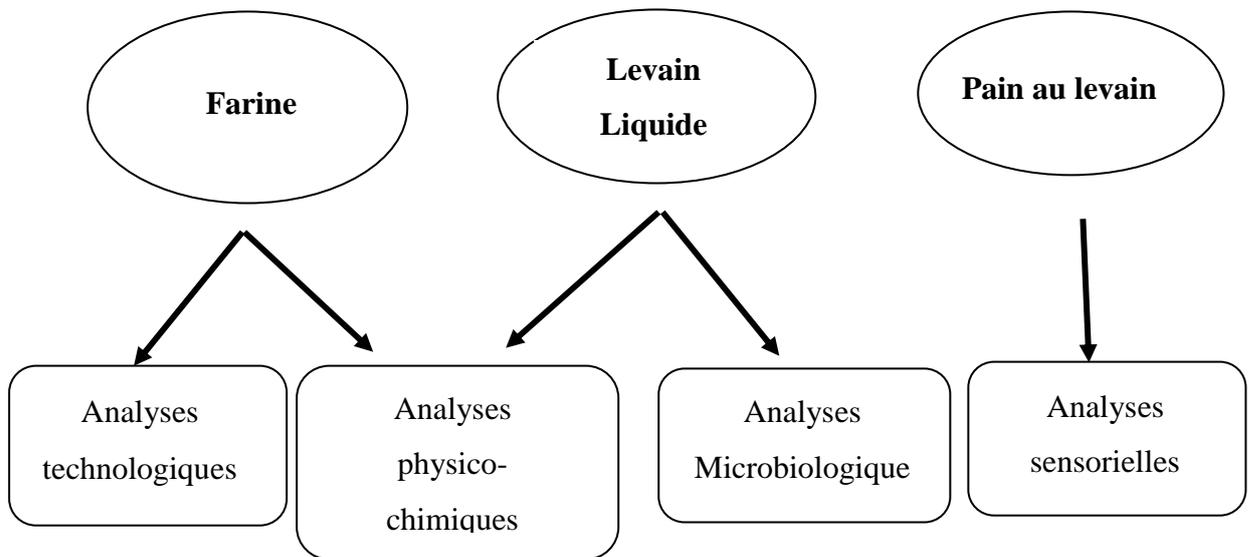
Pour la réalisation de notre étude, notamment pour la préparation du levain, nous avons eu besoin de différentes matières premières (tableau 5) et de matériels de laboratoire ainsi que des milieux de cultures spécifiques (Annexe I).

Tableau 5: liste de matière première

Matériel	Description
La farine	blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>) complet (T150) produit par une entreprise du secteur privé (SOPI) avec un taux d'humidité $\leq 15.5\%$ et un taux de cendres $\geq 1.20\%$
Le levain	levain liquide réalisé à base de cette farine complète.
Le miel	miel naturel multifloral local.

4. Méthodes d'analyses

Plusieurs analyses ont été effectuées sur les matières premières, sur le levain, et sur le produit fini en l'occurrence le pain diététique (organigramme 1).



Organigramme 1 : Analyses effectuées

4.1 Analyses physico-chimiques de la farine

Les différentes techniques d'analyses physico-chimiques ont pour but la connaissance de la composition biochimique de chaque échantillon de farine de blé (la teneur en eau ou l'humidité), le taux de cendres, l'acidité titrable (grasse) et la teneur en matière grasse.

4.1.2 Détermination de la teneur en eau :

D'après JORA, (2013) la teneur en eau est la perte de masse, exprimée en pourcentage du produit dans les conditions de séchage.

➤ Principe

Il s'agit d'un Séchage de la farine à une température comprise entre 130°C et 133°C, à pression atmosphérique normale et après broyage éventuel du produit. N.A1132-2008/ ISO 712.

➤ Mode opératoire :

- Sécher les capsules vides à l'étuve durant 15 min à 130°C et 133°C.
- Tarer les capsules après refroidissement dans un dessiccateur
- Peser dans chaque capsule 5g de farine
- Placer dans l'étuve à une température comprise entre 130° et 133°C pendant 90 minutes
- Retirer les capsules de l'étuve, les placer dans le dessiccateur pendant 15 minutes et après refroidissement les peser (annexe 2).

➤ Mode de calcul et formule :

La teneur en eau, exprimée en pourcentage en masse, du produit, est calculée par la formule suivante :

$$X = \frac{m1 - m2}{m1 - m0} * 100$$

Où :

m0 : est la masse, en gramme, de la capsule et son couvert

m1 : est la masse, en gramme, de la prise d'essai et de la capsule avant séchage

m2 : est la masse, en gramme, de la capsule et de la prise d'essai après séchage Nous prenons comme résultat la moyenne arithmétique des trois essais.

4.1.3 Détermination des cendres

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

➤ **Principe (NF V 05-113, 1972)**

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

➤ **Mode opératoire**

- Dans des capsules en porcelaine, peser 2 g de farine
- Placer les capsules dans un four à moufle réglé à 550°C pendant 5 heures jusqu'à l'obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre
- Retirer les capsules du four et les mettre à refroidir dans le dessiccateur, puis les peser.
(annexe 2)

➤ **Expression des résultats**

Le taux de cendres exprimé en pourcentage rapporté à la matière sèche, est donné par la formule suivant :

$$MO\% = \frac{(M1 - M2)}{P} * 100$$

Où :

MO% : Matière organique.

M1 : Masse des capsules + prise d'essai.

M2 : Masse des capsules + cendres.

P : Masse de la prise d'essai

La teneur en cendres (Cd) est calculée comme suit :

Où :

$$Cd = 100 - MO$$

MO% : Matière organique

4.1.4 Détermination de l'acidité grasse (NF V03-712)

L'acidité grasse est l'expression conventionnelle des acides, essentiellement des acides gras libres, extraits dans les conditions qui suivront. Elle est exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100g de matière sèche (JORA, 2013).

➤ **Principe :**

Il s'agit de la mise en solution des acides gras dans l'éthanol à 95 % (V/V) à la température du laboratoire et ensuite il faudra procéder à une centrifugation et un titrage d'une partie aliquote du surnageant par NAOH (0,05 N).

➤ **Mode opératoire :**

- Introduire dans le tube de centrifugeuse 0,5 g de farine en ajoutant 0,3 ml d'éthanol à 95 %.
- agitation à l'aide d'un agitateur mécanique pendant 01 heure
- centrifugation successive à deux minutes chacune juste après, prélever 20 ml de surnageant à la solution alcoolique et l'introduire dans un mortier.
- Ajouter à ce surnageant 80 ml d'eau distillée et 05 gouttes de phénophtaléine, titrer avec la solution NAOH (0,05 N) jusqu'au virage rose pale.

➤ **Expression des résultats :**

L'acidité grasse, exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100 g de matière sèche, est donnée par la formule suivante :

$$A = (7.35 (V1-V0) C / M) \times (100 / 100-H)$$

Où :

C : La concentration en moles par litre, de la solution d'hydroxyde de potassium.

M : La masse en grammes de la prise d'essai.

V1 : Le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de potassium utilisée pour la détermination.

V0 : Le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de potassium utilisée pour l'essai témoin.

H : Teneur en eau de l'échantillon pour l'essai.

4.2 Analyses technologiques de la farine de blé tendre

4.2.1 Mesure de la teneur en gluten :

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

4.2.1.1 Gluten humide

➤ **Principe**

D'après **Godone et Loisel, (1997)**, l'extraction du gluten est réalisée par malaxage mécanique et lavage d'un mélange de mouture avec une solution d'eau salée à 2% puis le peser.

➤ **Mode opératoire**

Faire un pâton avec 10g de farine (m0) mélangée avec 5ml d'eau salée. Après 10 minutes de repos, on isole le gluten par lixiviation, c'est à dire par lavage du pâton sous un mince filet d'eau tout en malaxant afin d'évacuer l'amidon et les matières solubles dans l'eau. Le gluten (m1) obtenu est essoré avant d'être pesé.

➤ **Expression des résultats**

La teneur en gluten humide (GH) est exprimée en pourcentage de la fraction massique de l'échantillon initial :

$$GH (\%) = \frac{m1}{m0} * 100$$

4.2.1.2 Gluten sec (ISO 21415-4, 2006)

➤ **Principe**

Le principe du dosage du gluten sec repose sur le séchage ou l'élimination de la fraction d'eau présente dans le gluten humide à l'aide des plaques chauffantes. Laisser les plaques chauffantes atteindre la température de service, prendre la boule de gluten humide obtenue par la méthode spécifiée précédemment, et la mettre entre les plaques chauffantes préchauffées pendant 3s à 5s. Enlever le gluten séché des plaques chauffantes et le peser (M2).

➤ **Expression des résultats**

La teneur en gluten sec (GS) exprimée en pourcentage de fraction massique de l'échantillon initial est égale à :

$$GS(\%) = \frac{M2}{M0} * 100$$

La capacité d'hydratation du gluten (CH) représente la quantité d'eau absorbée par le gluten.

Le calcul de la capacité d'hydratation (CH) est effectué par la formule suivante :

$$CH (\%) = \frac{Teneur\ en\ gluten\ humide - Teneur\ en\ gluten\ sec}{Teneur\ en\ gluten\ humide} * 100$$

5. Préparation du levain liquide :

Élaboration du levain liquide

D'après **Brochoire *et al*, (1996)**, l'élaboration du levain représente la phase de sélection et de développement des ferments principalement à partir de la flore préexistante dans la farine et dans l'air. Il faudra penser à rajouter aux farines une source glucidique comme le miel, fruits secs qui constituent un apport de sucres simples (glucose, saccharose...) rapidement assimilables par les levures et les bactéries. D'après **Camargo (2016)**, le processus de création du levain peut être démarré avec de la farine et de l'eau uniquement, mais il y a des formules qui indiquent des fruits tels que la pomme, le raisin, l'ananas ou même le sucre dans la composition. Dans le même sens, **Paris, (2014)** recommande que la création du levain commence par le mélange de farine et d'eau à conserver température ambiante afin de favoriser la sélection des microorganismes qui composeront le levain.

L'ustensile qui servira de dépôt peut être un bol ou un bocal et doit être conservé dans un endroit peu éclairé et sans lumière directe du soleil, à l'abri de l'humidité et de la chaleur excessive et recouvert d'un chiffon propre qui protège le mélange au fil du temps, dans lequel il permet de maintenir une oxygénation continue (**Camargo, 2016**).

Dans nos conditions de travail, nous avons utilisé différents ingrédients pour mener à bien l'obtention d'un levain naturel liquide recette d'après (**Isabel, 2019**) (tableau 6).

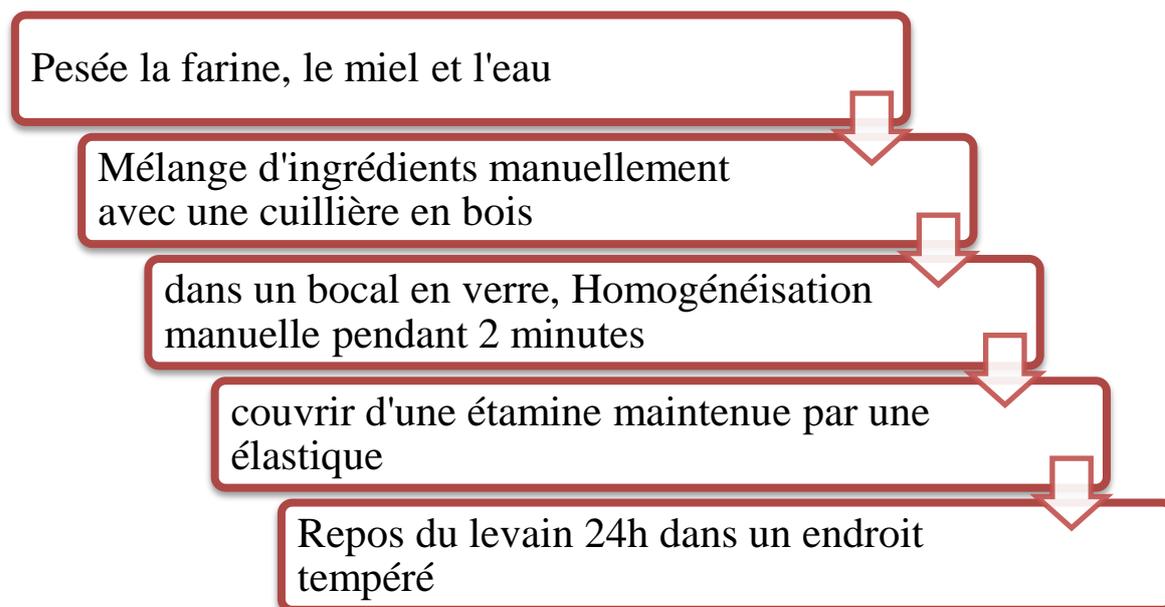
Tableau 6: Formulation du levain liquide

Ingrédients	Quantité (g)
Farine de blé complet	50
Eau de source marque Ayris	50
Miel multi-floral	10

Tous les ingrédients ont été pesés et homogénéisés, pendant deux minutes à l'aide d'une cuillère en bois. Le tout a été conservé et bien fermé dans un bocal en verre. Cette préparation nécessite un temps de repos de 24 heures à 25°C (schéma 1).

D'après **Boisseleau, (2013)** cette méthode de mise en route du levain chef c'est la méthode de travail sur le levain la plus utilisée. Généralement, le levain passe son temps de maturation pendant la nuit, ce qui laisse plus de souplesse au boulanger.

Schéma 1 : d'élaboration du levain liquide



À chaque période de 24 heures, le mélange doit être ajouté avec de la farine et de l'eau afin de nourrir les microorganismes, en favorisant le développement de la levure jusqu'à atteindre la maturation qui peut atteindre la période d'une semaine (Strawbridge, 2015).

Après 24h du premier jour, le levain a été rafraîchi une fois par jour à 12h du matin avec la même quantité de farine et l'eau (tableau 3) pendant 11 jours. Deux prélèvements ont été effectués le onzième jour pour différentes analyses et pour la préparation du pain.

- **Rafraîchissement du levain :**

Le rafraîchissement du levain est l'action qui consiste à rajouter des éléments nutritifs (eau et farine) à une culture initiale, afin de permettre le développement de la flore bactérienne et levurienne. À partir du levain-chef, il convient de faire plusieurs rafraîchis afin de stabiliser le levain (Brochoire *et al*, 1996). Notre levain a été rafraîchi avec la farine de blé tendre complet et de l'eau de de marque source Ayris tableau 7.

Tableau 7: Ingrédients pour le rafraîchissement du levain.

Ingrédients	Quantités
Farine de blé complet	50g
Eau de source marque Ayris	50g

6. Analyses microbiologiques du levain liquide :

Selon JORA N°36, (2017) l'analyse microbiologique donne une idée sur la qualité hygiénique d'un aliment, elle permet de rechercher et de dénombrer l'absence ou la présence de micro-organismes existant dans l'aliment et de comparer les résultats selon les normes en vigueur.

Toutes les opérations et manipulations ont été réalisées dans des conditions d'asepsie assurées par la désinfection des paillasse et de l'ensemble du matériel utilisé. Le travail a été effectué aux alentours des flammes d'un bec bunsen jusqu'à la fin de la manipulation.

6.1 Préparation des solutions mères et des dilutions décimales (AFNOR NF V 08 010 ; 1996) :

- La solution mère a été préparé par un prélèvement de 25 g de levain et les introduire dans un flacon stérile contenant au préalable 225 ml de tryptone-sel-eau (TSE). Le mélange a subit une parfaite homogénéisation. la suspension obtenue correspond à la dilution 10^{-1} (1 /10) ou la solution mère (Schéma 2) ;
- La technique des dilutions s'effectue aseptiquement avec un maximum de précision. À partir de la solution mère 10^{-1} , 1 ml a été prélevé à l'aide d'une pipette stérile et a été introduit dans un tube stérile contenant 9 ml de TSE, bien homogénéisé. C'est la dilution 10^{-2} ou (1/100).
- Ensuite et aseptiquement, 1 ml de la dilution 10^{-2} est prélevé et introduit dans un tube stérile contenant 9 ml de TSE qui donnera la dilution 10^{-3} ou (1/1000).
- Finalement, trois solutions décimales (10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3}) ont été préparé

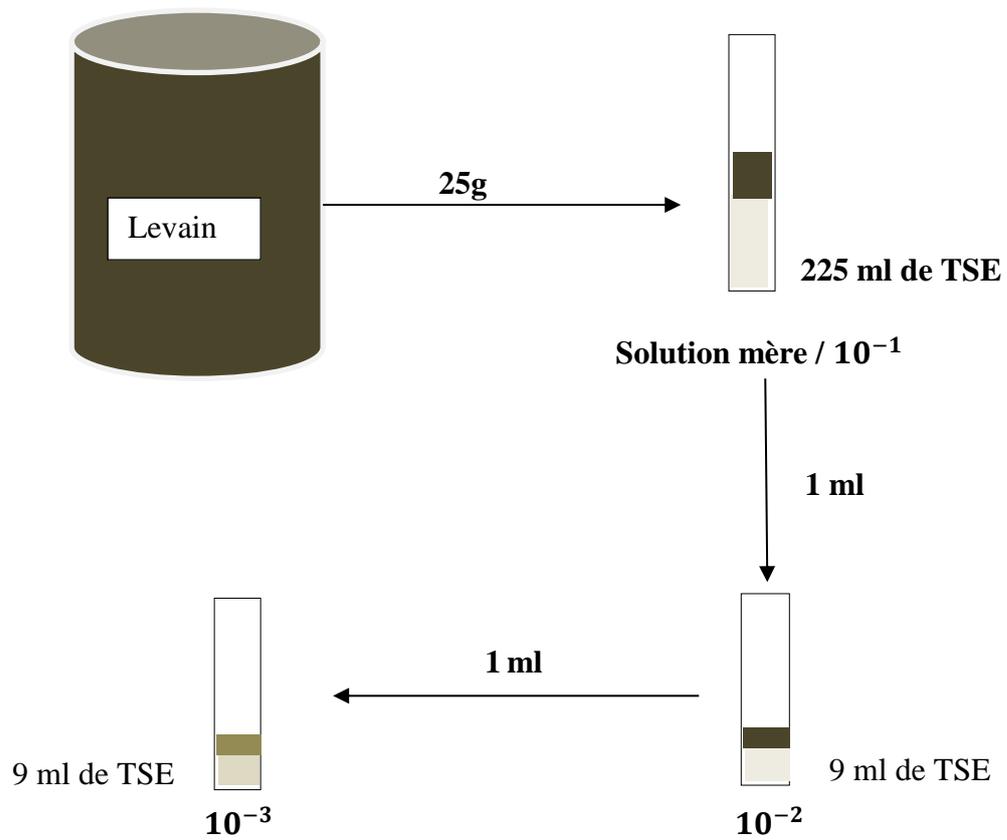


Schéma 2 : Préparation des solutions mères et des dilutions décimales.

6.2 Recherche et dénombrement des germes microbiologiques :

6.2.1 Recherche et dénombrement des Germes Aérobie Mésophiles totaux « GAMT »

➤ Définition :

La flore aérobie mésophile totale est constituée d'un ensemble de micro-organismes variés correspondant aux germes banaux de contamination. Ces germes n'agissent pas sur l'aliment et n'ont de répercussion du point de vue qualitatif et hygiénique qu'au-delà de certaine quantité. Il est donc possible d'en tolérer un certain nombre (**Guiraud et Rosec, 2003**).

➤ Mode opératoire :

- À partir des dilutions décimales allant de 10^{-3} à 10^{-1} , prélever aseptiquement 1ml dans une boîte de Pétri vide.
- Ensuite remplir chacune des boîtes avec 20 ml de gélose PCA (Plate count agar) fondue et refroidie à 45°C.
- ensuite des mouvements circulaires de va-et-vient en forme de « 8 » ont été appliqués pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose. Cette dernière a été laissée pour solidifier sur paillasse.

➤ Incubation :

Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 72 heures avec une première lecture à 24 heures, une deuxième lecture à 48 heures, et la troisième lecture à 72 heures.

➤ Lecture :

Les G.A.M.T se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires en masse. On compte toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies. Le nombre trouvé est multiplié par l'inverse de sa dilution et ensuite une moyenne arithmétique des colonies entre les différentes dilutions est calculée.

Les résultats seront exprimés en Unité Formant Colonie (UFC).

6.2.2 Recherche et dénombrement des levures et moisissures (Selon JORA N° 48).

➤ **Mode opératoire :** (ISO 6611-IDF 94, 2004).

➤ **Préparation du milieu :**

Faire fondre préalablement un flacon de gélose OGA (Gélose oxytétracycline glucose agar) dans un autoclave, puis le refroidir à 45C° et la faire couler dans 3 boîtes de pétri et laisser solidifier sur paillasse.

➤ **Ensemencement :**

La technique d'ensemencement se fait en surface, c'est-à-dire 4 gouttes de chaque dilution 10⁻¹, 10⁻² et 10⁻³, sont mises sur une surface solide OGA.

- Étaler à l'aide d'un râteau en verre stérile pour chacune des boîtes.
- Deux autres boîtes de pétri sont considérées comme témoin d'OGA et de TSE (ensemencement en surface après avoir mis 4 gouttes de TSE).

➤ **Incubation :**

Incuber les boîtes à 25C° pendant 5 jours.

➤ **Lecture et dénombrement :**

La lecture et le dénombrement s'effectuent tous les jours, les colonies des moisissures sont épaisses, grandes et à aspect velouté, et les colonies de levures sont rondes, brillantes, et bombées. Le comptage se fait sur les boîtes, le nombre des colonies trouvé est multiplié par l'inverse de la dilution.

6.2.3 Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs

➤ **Définition :**

Les *Clostridium*s sont des bacilles Gram (+), souvent de grande taille, isolés ou en chaînette et généralement mobiles. Ils sont capables de sporuler. Ces germes sont catalase (-) et anaérobiques. Cependant l'espèce *Clostridium* sulfito-réductrice qui a l'aptitude à sporuler, est le signe d'une contamination fécale (**Guiraud, 2003**).

➤ **Principe :**

Les microorganismes anaérobies sulfito-réducteurs sporulent et sont capables de se développer en conditions d'anaérobiose et de manifester des propriétés sulfito-réductrices. La méthode sera capable de détecter les spores du genre *Clostridium*, mais aussi de certaines *Bacillus*.

Le milieu gélose viande foie (VF) contient de l'amidon qui est réduit en sulfure par les sulfito-réducteurs, ce sulfure précipite avec les ions ferriques en formant un précipité noir

➤ **Mode opératoire :**

Faire fondre un flacon de gélose viande-foie, le refroidir dans un bain d'eau à 45°C puis ajouter une ampoule d'Alun de fer et une ampoule de sulfite de sodium. Mélanger soigneusement et aseptiquement. Le maintenir dans une étuve à 45°C jusqu'au moment de son utilisation.

- Introduire dans quatre tubes stériles vides, deux tubes pour chaque dilution 10^{-1} et 10^{-2} , 1ml de chaque dilution en double.
- Placer dans un bain marie à 80°C pendant 10min.
- Refroidir immédiatement sous l'eau de robinet dans le but d'éliminer les formes végétatives et de ne garder que les formes sporulées.
- Puis couler environ 15ml de VF préalablement fondus et refroidie dans chaque tube.
- Laisser se solidifier.

➤ **Incubation**

Les tubes sont incubés à 46°C pendant 24 à 48heures.

➤ **Lecture**

La première lecture doit se faire impérativement après 16heures d'incubation, car d'une part les colonies de *Clostridium*s Sulfito-réducteurs sont envahissantes auxquelles on se trouve en face d'un tube complètement noir, rendant alors le dénombrement difficile, d'autre part, il faut absolument repérer toutes les colonies noires ayant poussé en masse et d'un diamètre visible.

7. Panification au levain liquide :

La production du pain au levain nécessite un processus de panification particulier, qui influence le goût et les arômes du produit final (**Hansen & Schieberle 2005**).

La panification a été réalisé le onzième (11^{ème}) jour du rafraichissement du levain liquide.

La quantité des ingrédients a été calculée à partir de la quantité de farine (tableau 4). Nous considérons que les 800g de farine correspondent à **100%**. L'eau est calculée par rapport à la farine. Dans notre cas, 500 g d'eau correspondent alors à **62,5%** de la farine. En ce qui concerne le levain, 300g ont été ajouté à la farine, ce qui représente un pourcentage de 37,5% de la farine. Le **sel est aussi** calculé par rapport à la farine. Nous avons pesé 16g de sel donc **2%** de la farine ; sachant qu'en boulangerie classique, l'ajout de ce dernier se fait à raison de 20g au kg de farine Tableau 8 (**Landraf ,2002**).

Tableau 8: Formulation du pain au levain

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

7.1 Étapes de la panification au levain

La préparation de la pâte à pain requiert : de la farine, de l'eau, du sel et du levain que seront mélangées c'est le pétrissage, la pâte subit un premier temps de repos : le « pointage ». La pâte est ensuite divisée : c'est le « boulage », avant d'être façonnée. Les pains reposent lors d'une seconde période, nommée l'« apprêt », avant la cuisson schéma 3 (Calvel, 1990 ; Granier, 2003).

Les principales étapes de la panification au levain se sont déroulées au laboratoire en suivant le diagramme ci-dessus :

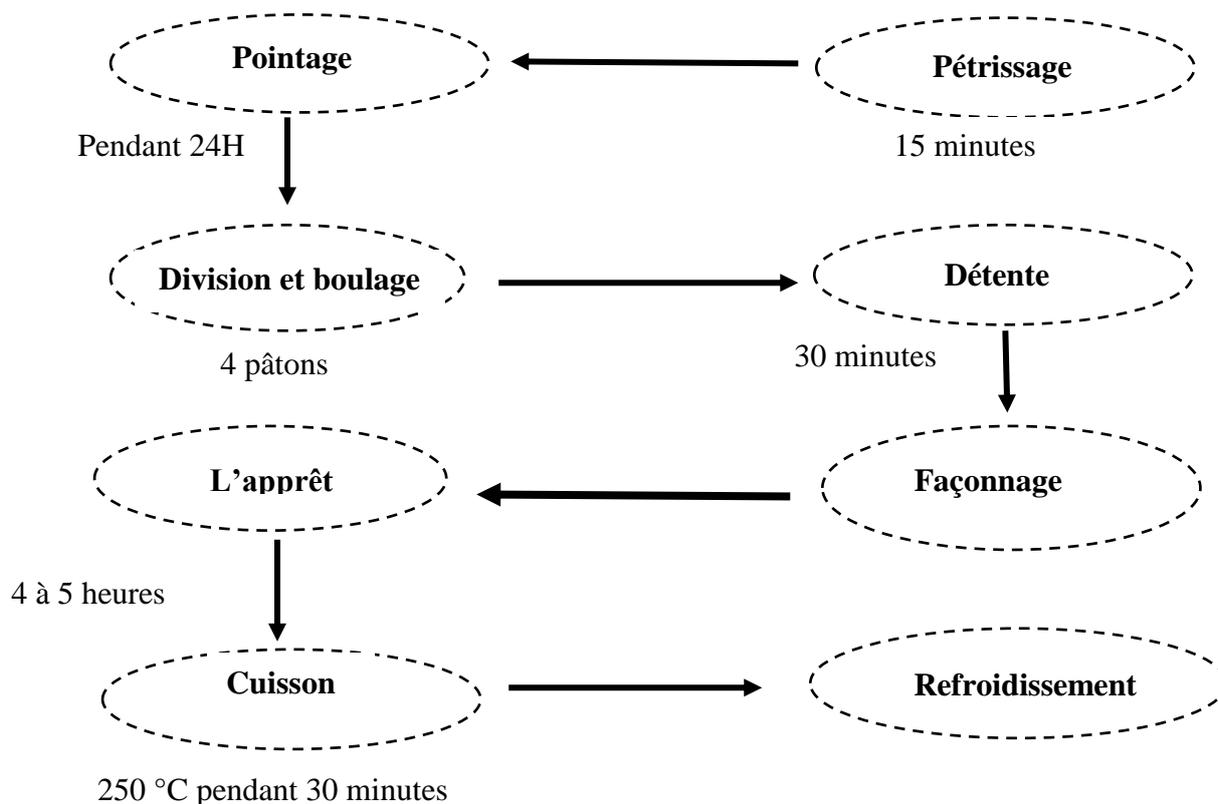


Schéma 3 : Diagramme de fabrication du pain au levain

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

- a) **Frasage** : c'est la première étape du pétrissage, elle consiste à mélanger les ingrédients ensemble (figure 12).



Figure 12 : Étape du frasage

- b) **Le pétrissage** : il consiste à développer le réseau glutineux de la farine. se réalise comme



Figure 13 : Étapes du pétrissage manuel du pain au levain

Étape 2 : Pointage

C'est la première fermentation de la pâte pendant 24H (Figure 14).

Il s'agit de placer la pâte pétrit dans un récipient et le couvrir avec du film alimentaire transparent. La pâte doit reposer 24H pour permettre aux levures et bactéries lactiques de se développer naturellement.



Figure 14 : le pointage

Étape 3 : La division et le boulage

Il s'agit de diviser la pâte en pâtons au même poids (Figure 15). Durant cette étape, les pâtons ont été pesés 50g chacun.



Figure 15 : Étape du boulage

Étape 4 : la Détente

Il s'agit d'un temps de repos de la pâte que permet au réseau de gluten de se détendre après les étapes de division et de boulage (Figure 16).

Étape 5 : Façonnage

Il s'agit de donner des formes définitives aux pâtons fermentés (Figure 16).



Figure 16 : la détente des pâtons

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 17).



Figure 17: Incision des pâtons fermentés

Étape 8 : Cuisson

Les pâtons sont placés dans un four classique et ménager réglé à 250°C pendant 15 à 30 min dont on règle l'humidité par injection de vapeur d'eau ce qui évite le dessèchement du pain et permet la formation d'une croûte dorée et croustillante.

7.2 L'analyse sensorielle du pain

L'analyse sensorielle s'applique à toute une gamme de domaines comme le développement et l'amélioration des produits, le contrôle de la qualité, l'entreposage et le développement des processus. (watts et al.,1991)

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité de produits alimentaires ainsi que de nombreux autres produits. (Watts et al., 1991).

L'évaluation sensorielle des aliments est une technologie dont l'objectif est la détermination des propriétés sensorielles ou organoleptiques des aliments, c'est-à-dire leurs activités sur les divers organes de sens stimulés avant et pendant leur ingestion (**Lavoisier, 1990**). La couleur, l'odeur et le goût sont des facteurs de l'appétence de l'aliment.

Les pains aux levains sont présentés aux dégustateurs afin d'évaluer la croûte, la mie, l'odeur et le goût. La couleur de la croûte et de la mie sont qualifiées par les adjectifs suivant : brune, jaune, homogène et hétérogène. Par contre le goût et l'odeur du pain sont qualifiés par l'adjectif : bon, peu agréable et normal.

Ce test de dégustation est effectué au niveau du laboratoire, le panel de dégustation est formé de 10 personnes (5 hommes et 5 femmes âgées de 23 ans à 40ans). En effet, nous avons établi des fiches de dégustations pour faciliter par la suite l'étude et le traitement des résultats obtenus.

7.3 Conduite des expériences

Pour réaliser cette étude nous avons suivi 3 principales étapes :

- Première étape : Rédaction de la fiche de dégustation
- Deuxième étape : Réalisation de la séance de dégustation (il été réalisé une grille de dégustation .Le moment de dégustation a été fixé au moins 1h après la sortie du four des pains.
- Troisième étape : analyse des résultats

7.4 Fiche de renseignement sur la qualité sensorielle du pain au levain de farine de blé tendre complet

Nom : **prénom :** **Age :** **sexe :**

1. La croûte du haut vous paraît-elle : **Lisse / Rugueux**
2. Le nombre de bulles sur la croûte du bas est : **Faible / Élevé**
3. La couleur de la croûte est : **Moins brune / Plus brune**
4. La couleur de la croûte est : **Homogène / Hétérogène**
5. Couper le pain en 2 dans le sens de la longueur à l'aide d'un couteau : Le nombre de miette après découpage est : **Faible / Élevé**
6. L'alvéolage vous paraît : **Homogène / Hétérogène**
7. Les alvéoles sont : **Petites / Grosses**
8. La couleur de la mie est : **Moins jaune / Plus jaune**
9. La croûte est : **Moins épaisse / Plus épaisse**
10. La distinction de couleur entre la croûte et la mie est : **Moins prononcée / Plus Prononcée**
11. Sentez le pain :
 - L'odeur de pain cuit est : **Moins intense / Plus intense**
12. Comment caractériseriez-vous le goût en bouche du pain ? Donnez 3 termes

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Résultats et interprétation des analyses physico-chimiques, et technologiques de la farine de blé tendre

Les analyses ont été réalisées sur des échantillons de farine T155 et sont répétées deux fois. L'ensemble des résultats des analyses physico-chimiques de la farine de blé tendre complet T155 sont reportés dans le tableau 9.

Tableau 9: Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de blé tendre complet

Analyse	Humidité	Acidité titrable	Cendres totales	Coefficient d'hydratation
Résultat	12%	0.068%	1.14%	38%

• Teneur en humidité

Il est essentiel de connaître la teneur en eau, appelée aussi humidité pour les farines boulangères. Elle doit être comprise entre 10 et 16 % (**calvel 1984 ; grandvoinnent & praty, 1994 ; chene, 2001 ; gherairia, 2011**) ; au-delà de ces valeurs, il y'aura risque d'altération. Dans cette étude, il a été enregistré une humidité de farine complète de 12%, ce qu'indique une conformité avec les normes précédemment cités. (figure18)

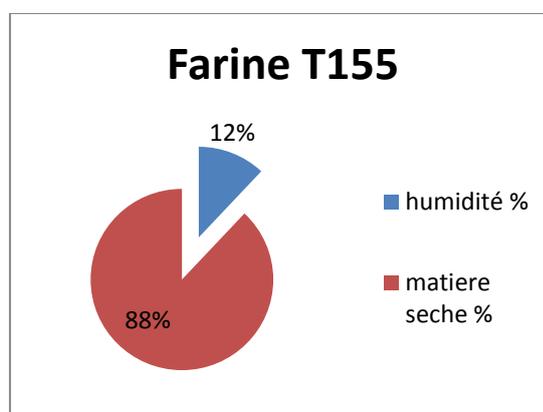


Figure 18: Humidité (%) du lot de farine de blé tendre complète T155

Taux de cendres

Le taux de cendres d'une farine constitue l'une des caractéristiques de la pureté de celle-ci et peut aider à déterminer le taux d'extraction d'une farine (**Calvel, 1984**).

D'un autre côté, le taux de cendres totales présente la quantité globale en sels minéraux présents dans les céréales. En effet, moins les résidus (cette étude parle des enveloppes du blé) sont éliminés, plus le taux de cendres et d'extraction s'élèvent. Pour ce qui est de notre résultat, nous avons enregistré une valeur des cendres dans la farine T150 égale à 1.14 % comme montre la figure 19. Ce résultat demeure conforme aux normes admises par **Calvel, (1980)**.

La non-conformité en taux de matières minérales est due à un mauvais nettoyage des blés, et à une extraction poussée (contamination par les parties périphériques).

La présence de couches externes dans les produits de mouture est d'autant plus marquée que les blés conditionnés sont peu humides, su bissant ainsi une mouture excessive, conduisant à la contamination des farines par les enveloppes (**Boyacioglu et d'Appolonia, 1994**).

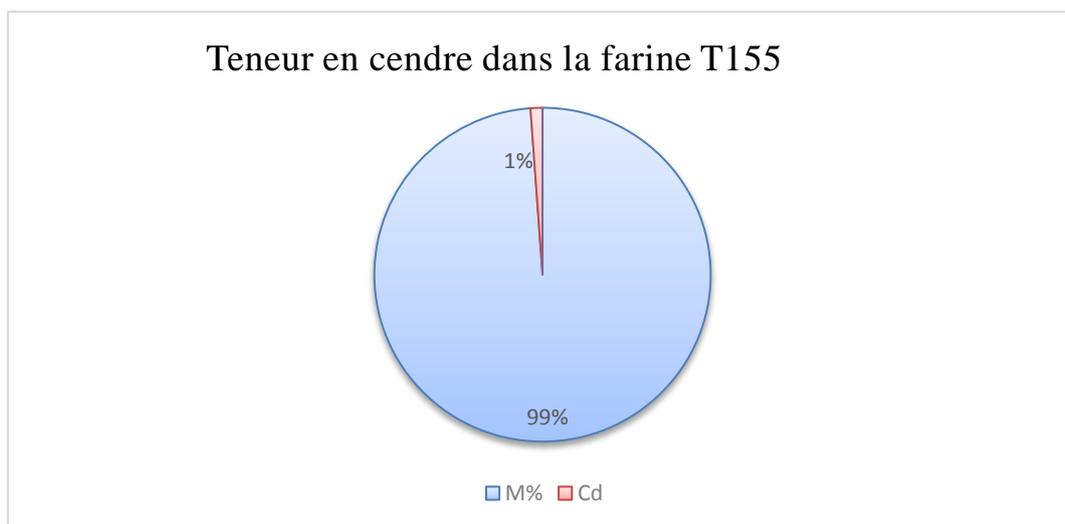


Figure 19 : Taux de cendres (%) de la farine de blé tendre (T155)

L'acidité titrable

L'acidité titrable renseigne sur l'état physique de la farine ainsi que le pH. Une valeur élevée de ce paramètre témoigne d'une mauvaise conservation des produits (**Feillet, 2000**). Dans notre étude, la farine de blé intégrale présente une acidité titrable de 0.068%. Ce résultat est conforme aux normes (inférieure ou égale à 0.07% d'H₂SO₄).

En effet, les produits à base de blé tendre ont des activités lipasiques moins fortes que les produits à base de blé dur, l'intensité de cette activité intervient d'une façon prépondérante lors de l'entreposage et les traitements technologiques (**Drapron et Godon, 1987**).

- **Dosage du gluten :**

L'analyse du gluten nous révèle la qualité des protéines insolubles dans l'eau notamment la fraction de gliadines et de glutenines que renferme la farine. L'analyse est effectuée selon la norme (NA-730-1990) qui est en concordance technique avec la norme (ISO-5531-1989). En effet, les résultats obtenus dans nos conditions expérimentales sont regroupés dans la figure 20.

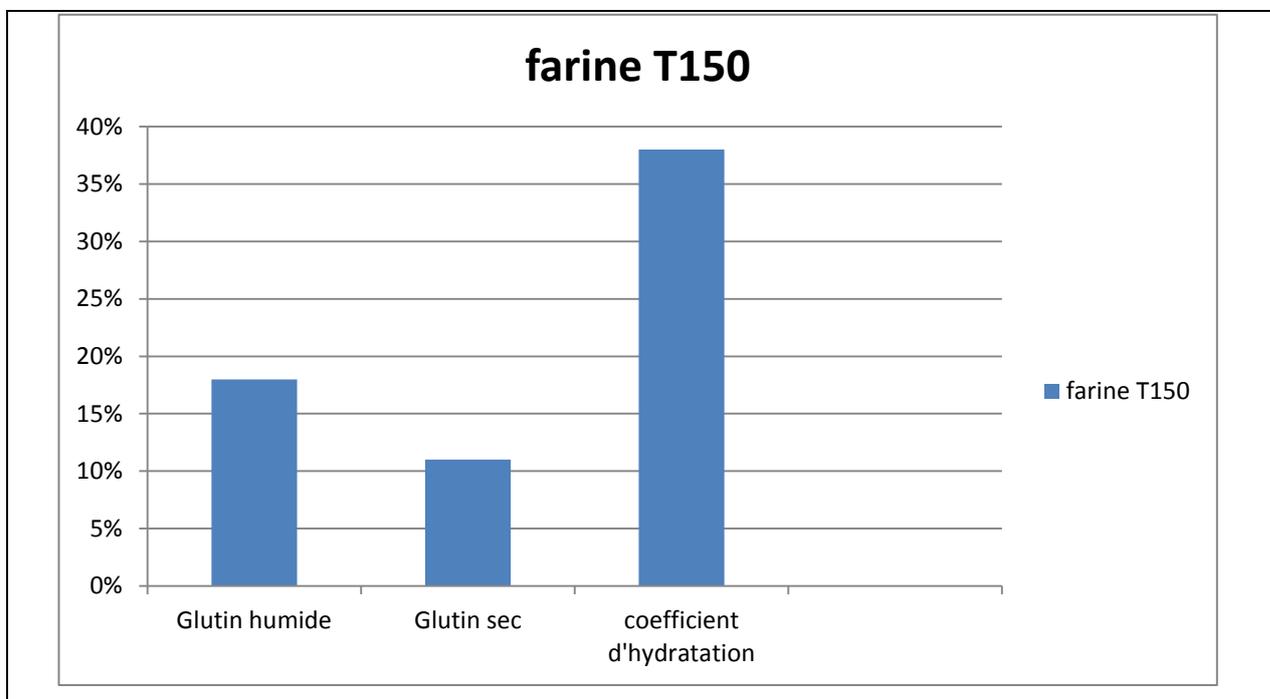


Figure 20 : histogramme représentant les résultats du taux de gluten de la T150

Nous remarquons que la teneur en gluten humide (GH%) 18% est supérieure à celle du gluten sec (GS%) 11%, ce qui explique le coefficient d'hydratation (CH%) qui est à 38%

Au vu de ces résultats, on peut considérer que la T150 est pauvre en gluten.

La capacité d'hydratation du gluten intervient dans l'absorption d'eau au cours du pétrissage en boulangerie **(Clavel, 1984)**.

Le gluten de la farine utilisé dans cette étude est de couleur beige. Par évaluation manuelle, il a été estimé qu'il est ferme, tenace et élastique. Pour ces caractéristiques il est de bonne qualité **(Herrero et Etienne, 2009)**.

2. Résultats des caractéristiques du levain naturel

Le levain se produit lentement et progressivement, nécessitant un processus rigoureux de formation de colonies de levures jusqu'à ce que l'on appelle la maturation qui se produit lorsque le levain est stable et a un arôme agréable et légèrement aigre, de sorte qu'il est possible d'obtenir les bénéfices attendus : apport de saveur et d'arôme, texture différenciée, digestibilité et durabilité **(Canella-Rawls, 2003)**.

Durant la préparation du levain liquide, il a été constaté que 4 jours ont été nécessaires pour amorcer la fermentation des bactéries et levures naturellement et principalement présentes dans la farine au fur et à mesure qu'il a été procédé au rafraichissement du levain. Cette opération consiste à ajouter tous les jours (12H du matin) 50g de farine et 50g d'eau. Le but du rafraichissement étant de nourrir les levures et bactéries lactiques responsables de la fermentation du levain en leur procurant une source de glucides (amidon) en présence d'eau. (Brochoire et al., 1996)

Cette étude nous a permis de suivre la manifestation du levain (tableau 10) dès le premier jour de la préparation au onzième jour.

Le premier jour a été consacré à la préparation du levain et ce dernier a été mis en repos pendant 24h à une température de 25°C figure 4.

Tableau 10 : manifestation du levain pendant 10 jours

Jours	Manifestation du levain liquide
2^{ème} Jour (premier rafraichis)	La texture commence à changer (figure 22), on voit les premières bulles et l'odeur est différente.
3^{ème} Jour (deuxième rafraichis)	L'odeur est légèrement aigre, c'est le signe que la fermentation a bien commencé (figure 23). 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.
4^{ème} Jour : (troisième rafraichis)	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.
5^{ème} Jour (quatrième rafraichis)	l'odeur devient de plus en plus acide, on remarque une multiplication des bulles fines (figure 25)
Du 6^{ème} au 11^{ème} jour (cinquième au onzième rafraichis)	Le levain présente un même comportement du 6 ^{ème} au 10 ^{ème} jour les bulles deviennent plus grandes, il présente une forte acidité (figure 26).



Figure 21 : levain à J1 (1er jour)



Figure 22 : levain, deuxième jour

Jour 3 : Lors de cette première phase le potentiel redox de la farine diminue favorisant une très faible croissance des Entéro-bactériaceae, des levures et des bactéries lactiques. (Lhomme, 2014)



Figure 23: levain jour liquide jour 3



Figure 24: levain liquide jour 4

À ce stade, les bactéries lactiques produisent des acides lactiques et acétiques qui diminuent le pH du levain. Cette acidification inhibe la croissance des entérobactériacées et favorise celle des levures. (Lhomme, 2014)



Figure 25 : levain liquide 5^{ème} jour

Après 10 jours de rafraichis il est estimé qu'un levain est microbiologiquement stable (Lhomme, 2014)

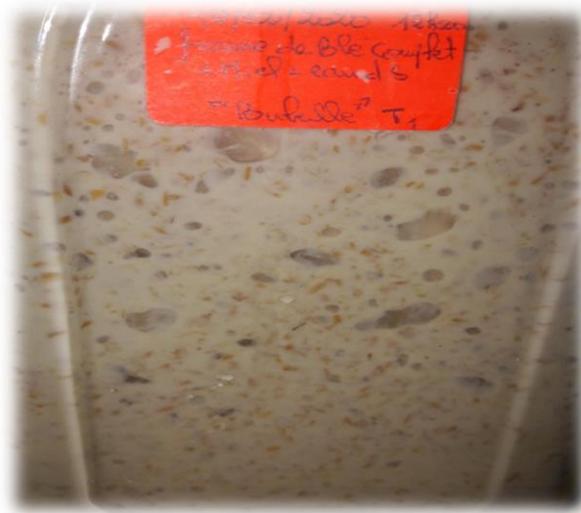


Figure 26: levain liquide 10^{ème} jour

D'après **Camargo, (2016)** quand le levain atteint la maturité, il acquiert un aspect gonflé, une texture aérée et spongieuse indiquant qu'elle est pleinement activée, donc prête à être utilisée dans la fabrication de pains (il s'agit du levain tout point). En tant que colonie d'êtres vivants, le levain nécessite un soin strict pour rester actif, selon les conditions de l'environnement dans lequel il sera stocké, et peut rester pendant un temps indéfini s'il est nourri selon la routine de conservation appropriée.

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. (**Boisseleau, 2013**).

3. Résultats des analyses microbiologiques du levain

Il a été étudié l'aspect macroscopique de certains microorganismes en s'appuyant sur leurs caractéristiques morphologiques telles que l'aspect des colonies, leur forme et leur couleur.

- **La Flore mésophile totale**

Les GAMT sont considérés comme un bon indicateur de la qualité générale et de la stabilité des produits alimentaires ainsi que la qualité (propreté) des installations (**Guiraud, 1998**).

Les résultats obtenus de la flore totale retrouvée sur milieu PCA après 72h à 37°C ont révélé la formation de colonies blanchâtres, rondes et isolées qui est représentée dans la (figure 27).

Selon **Guiraud (1998)** le nombre acceptable de colonies est de (105 UFC/ml).



Figure 27: colonies des germes aérobies mésophile totaux

- **Levures et moisissures**

Les levures sont des microorganismes aérobies mésophiles qui, à 25°C et en milieu gélosé se développent à la surface du milieu en formant des colonies mates ou brillantes présentant un contour régulier et une surface plus ou moins convexe. Des levures se développant en profondeur, plutôt qu'à la surface d'un milieu, peuvent former des colonies rondes et lenticulaires. (**JORA, 2017**)

Les moisissures sont des microorganismes aérobies mésophiles filamenteux, qui à la surface d'un milieu gélosé développent des colonies étendues, plates, présentant des fructifications colorées et des formes de sporulation. (**JORA, 2017**)

Des moisissures se développant en profondeur, plutôt qu'à la surface d'un milieu, peuvent former des colonies rondes et lenticulaires.

- L'observation macroscopique sur milieu OGA montre des colonies blanchâtres, rondes, veloutées de taille grande (0,2 – 0,5mm de diamètre), ces critères correspondent aux levures ; aucune moisissure (figure 28).

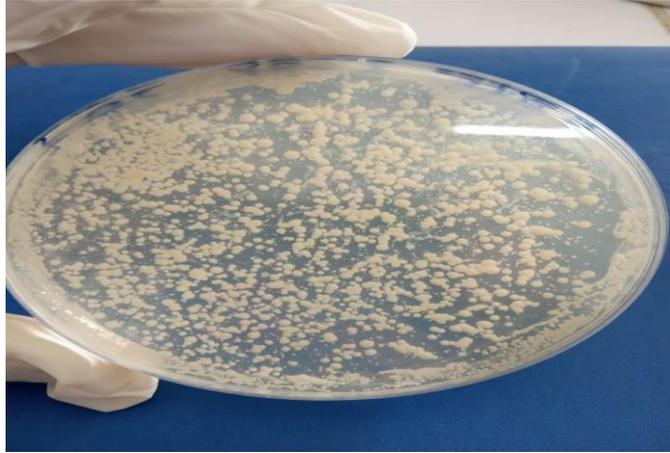


Figure 28 : colonies des levures.

- **Clostridium sulfito-réducteurs**

Les clostridiens sont capables de survivre dans l'environnement et de contaminer n'importe quel type d'aliment ou matériel si les conditions d'hygiène et de stérilisation ne sont pas respectées (**Lebres, 2002**).

Dans nos conditions expérimentales, nous n'avons enregistré aucune apparition de *Clostridium* sulfito-réducteurs ; ceci dénote la bonne qualité du levain préparé. Il est donc conforme à la norme du journal officiel de la république algérienne (**JORA, 2012**)

- L'absence de ces micro-organismes exclut la possibilité de contamination du levain par les matières premières. Le microbiote présent dans le levain est composé de levure et de bactéries lactiques. (**De Vuyst et al., 2014**).

4. Résultat de la panification au levain naturel

Le résultat obtenu durant la fabrication du pain au levain naturel a révélé que la pâte a présenté durant le pétrissage un aspect collant, élastique et peu extensible.

- ✓ Le pétrissage est l'étape jugée la plus importante par de nombreux auteurs (**Drapon et al., 1974; Institut national de la boulangerie pâtisserie, 2003**). Il favorise, par l'action de la lipoxygénase, les premiers éléments volatils responsables de l'arôme et du goût du pain.

Par ailleurs, lors du pointage jusqu'à l'apprêt, les pâtons ont présenté un aspect lisse et ferme.

- ✓ Le temps de pointage influence lui aussi de façon importante les qualités organoleptiques du pain. Le pointage est la première fermentation qui produit du maltose et du CO₂, en milieu anaérobie, grâce à l'action de la levure sur l'amidon. Plus il est long, plus le goût et l'arôme du pain peuvent s'exprimer. (**drapon ,1971**)

Le façonnage manuel joue un rôle positif sur le goût et la texture du pain par rapport au façonnage mécanique: il donne une mie souple et élastique avec des alvéoles plus grosses et plus régulières.

Enfin, une température de cuisson modérée contribue à bien former le goût de la croûte par la réaction de Maillard, mais aussi celui de la mie par une bonne estérification des alcools et acides formés lors de la fermentation et de la décomposition des acides aminés soufrés de la levure (**Drapon, 1971**).

4.1 Le Suivi de la fermentation durant la panification au levain naturel

Le premier intérêt des produits fermentés est leur durée de conservation : la fermentation permet d'augmenter la sécurité alimentaire à travers l'inhibition de pathogènes (**Adams et Nicolaidis 1997 ; Adams et Mitchell 2002**) ou la suppression de composés toxiques (**Hammes et Tichaczek 1994**). La croissance des microorganismes pathogènes est contrôlée via la production, au cours de la fermentation, d'inhibiteurs métaboliques tels que des acides, de l'alcool ou du dioxyde de carbone (**Caplice et Fitzgerald 1999**).

La fermentation permet également la transformation de l'aliment pour le rendre plus digeste (**Caplice et Fitzgerald 1999**). La fermentation du blé dans le levain permet la transformation des sucres et augmente la digestibilité du pain. La fermentation au levain, naturellement riche en bactéries lactiques et en levures, permet de réduire davantage la quantité d'acide phytique contenue dans la pâte à pain qu'avec une fermentation uniquement à la levure (**Brune et al., 1992 ; Lopez et al., 2000 ; Lopez et al., 2001 ; Lopez et al., 2002**).

La mesure de gonflement des pâtons au cours de la panification est l'un des paramètres les plus pris en compte pour étudier le suivi de la fermentation il nous renseigne sur l'optimum de volume

que la pâte peut atteindre. Les résultats obtenus durant notre expérimentation sont résumés par la figure 29.

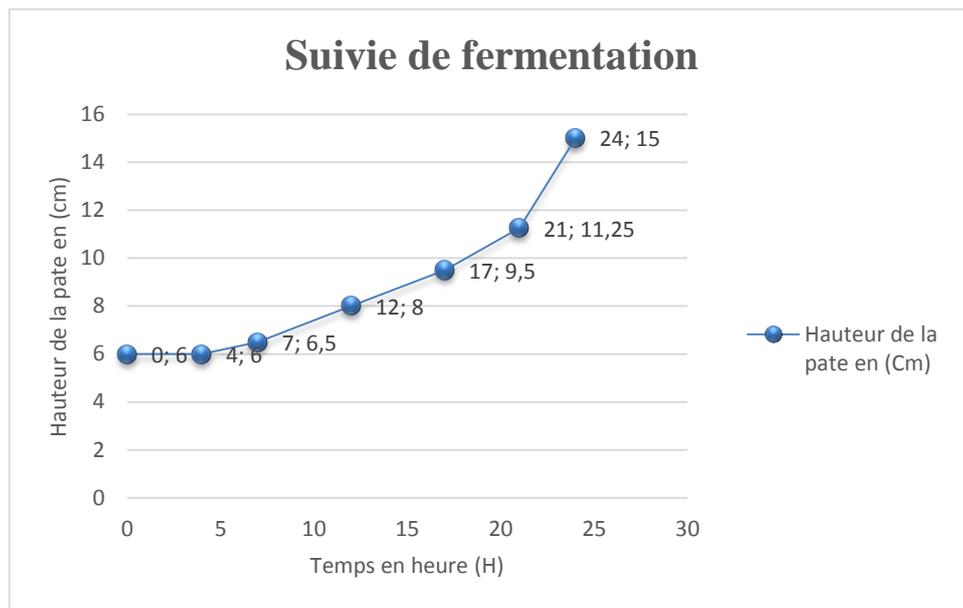


Figure 29 : suivie de fermentation au cours de la panification en fonction du développement de la pate

D'après la figure 29 on remarque que le gonflement de la pate est faible de 0 à 7 heures (phase 1), qui correspond a la phase d'adaptation des levures et bactéries lactiques à leur nouvel environnement et la mise en route des systèmes enzymatiques spécialisés dans la transformation des sucres en gaz carbonique, alcool et acides organiques. (Guiraud, 2003)

De 7 à 17 H, le gonflement de la pâte augmente considérablement. Et continue a augmenté d'une façon intense et rapide a partir de 21H pour arrivé a son climax a 24H (phase3)

À cet effet, le gonflement de la pâte débute sous l'action des levures et bactéries lactiques. A partir des glucides libres ou libérés par des amylases de la farine, les levures produisent du CO₂, l'éthanol et différents acides organique (Roussel *et al.*, 2005). Un autre élément est responsable de ce gonflement, le gluten de la farine. Les molécules du gluten assemblées forment un réseau élastique dans la pâte qui emprisonne les gaz produit par les levures et bactéries lactiques lors de la fermentation et de ce fait la pâte gonfle. (Roussel *et al.*, 2005).

4.2 Appréciations de la qualité des pains

Selon Corsetti & Settanni (2007), la saveur et l'arôme du pain sont les principaux déterminants de la qualité du pain pris en compte par les acheteurs de pain. Hansen et Schieberle, (2005) citent plusieurs facteurs influençant la saveur du pain au levain: les composés aromatiques provenant de la farine; composés aromatiques générés par le LAB et la levure et influencés par leurs interactions; les précurseurs d'arôme générés à la suite de l'activité enzymatique de la farine et des micro-

organismes; puis, enfin, production et pertes de composés d'arôme et d'arôme lors de la cuisson. L'acidification de la pâte par le LAB conduit à un pain avec une structure de mie améliorée et les propriétés sensorielles habituelles du pain au levain (**Spicher et al., 1981, Gobbetti et al., 1994**). En ce qui concerne l'arôme et la saveur, ils sont subtils, délicats, légèrement aigres et durables en bouche, conséquence de l'action des acides organiques et des stérols naturellement produits pendant la fermentation (**canella-rawls, 2003**).

La production de composés volatils dans le levain est liée à l'activité du LAB et de la levure. La teneur en matières volatiles dépend de plusieurs facteurs comme la température et la durée de la fermentation, le rendement de la pâte et la teneur en eau (**Gobbetti et al., 1995, Hansen et Schieberle, 2005**).

4.3 Analyses sensorielle

D'après **Marti, (2008)** 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)**, 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 (1980)**, caractérise le bon pain par son développement, par sa légèreté, par sa croûte bien lisse, adoucie qui adhère à la mie aux coups de lames jetés et réguliers ainsi que par sa saveur et son odeur agréable.

D'une façon générale et à partir des figures 30 on peut voir le résultat de la panification au levain.



Figure 30 : pain au levain

Le pain au levain a un goût acide caractéristique, particulièrement au niveau de la mie.

Comparativement à du pain fermenté à la levure commercialisée, l'utilisation du levain améliore les qualités sensorielles du produit final (**Hansen ; Schieberle, 2005 ; Gobbetti, 1998**) Il ressort du tableau 3, le résultat suivant :

- à première vue la couleur du pain était plus hétérogène et la surface était mate (figure 30). Au touché, nous remarquons que la croûte était dure ; les pains au levain rendait peut de miettes, et l'alvéolage de la mie était moins régulier. Cette caractéristique pourrait s'expliquer par le réarrangement du réseau glutenique en milieu rendu acide par les bactéries lactiques du levain. En ce qui concerne la couleur des mies des pains, elle est beige foncée à marron.
- L'appréciation de l'odeur a été qualifiée par le jury de dégustation naturelle à acide.
- Par ailleurs, il n'y a pas eu d'unanimité par rapport à l'appréciation du goût du pain au levain. Certains le trouvent très bon et d'autres le qualifie de moins bon.

Tableau 11 : Analyse sensorielle du pain au levain

Aspect		Odeur
Croûte : À première vue la croûte du pain est, lisse, mate, brune, de taille marquée, crevassée, craquelée et croustillante	Mie : Avec un alvéolage moins régulier, compacte, aérée, serrée, beige foncé à marron	Acide et naturelle
Consistance et texture		Saveur
Croûte : craquante, croustillante, épaisse	Mie : Collante et granuleuse	Agréable et acide

Conclusion

Cette présente étude nous a permis de réaliser un produit diététique ancestral qui est le levain liquide présentant d'innombrables vertus nutritionnelles. En effet, nous avons opté à son incorporation dans un pain diététique.

Dans une première étape, nous avons effectué des analyses sur la farine de blé complet et les résultats obtenus sont conformes aux normes en vigueur. Par la suite, nous avons procédé à la préparation du levain liquide chef. Ce dernier a nécessité plusieurs étapes pour le réussir ; et le résultat obtenu est satisfaisant. Le levain à partir de la farine de blé complet est possible mais son entretien nous a pris du temps parce que le processus de fabrication a nécessité plus d'une semaine.

Il est à signaler que les conditions de préparation du levain sont à respecter (température, humidité, et autres), sinon, des micro-organismes distincts peuvent se retrouver dans le levain et modifier par conséquent totalement les caractéristiques du pain.

Dans nos conditions expérimentales, des analyses effectuées sur le levain nous ont permis d'étudier son aspect microbiologique et qui a donné aussi un résultat probant.

D'un autre côté, nous avons essayé de faire une évaluation des caractères organoleptiques des pains aux levains expérimentaux aux prés d'un jury de dégustation. Ce dernier a émis des résultats différents en présentant dans l'ensemble une acceptabilité du pain au levain naturel.

La qualité du pain a été grandement influencée par un arôme très prononcé, une croûte assez dure et un goût acide très caractéristique et directement lié à l'acide lactique et/ou acétique produit essentiellement par la fermentation des bactéries lactiques.

Perspectives :

Il serait souhaitable d'approfondir cette étude en effectuant des investigations sur:

- Une recherche microbiologique détaillée de la flore bactérienne, notamment les bactéries lactiques et levuriennes qui prolifèrent et donnent un levain de qualité ;
- le dénombrement, Isolement et Identification des bactéries lactiques
- le type de fermentation (Test homo et hétéro-fermentaire)
- le Profil fermentaire des sucres.
- des caractéristiques technologiques pour la panification du pain au levain en mesurant :
 - Le gonflement des pâtons
 - Qualité des pains (poids, volume, alveolage, densité du pain ...)

Références

- **ABECASSIS, J. (2015).** La filière blé dur. Inra-Trafoon.
- **ALVARADO, G. (2014).** Facteurs déterminants du pouvoir de panification de l'amidon de Manioc modifié par fermentation et irradiation d'UV. Thèse de doctorat, Faculté des sciences Montpellier.250p
- **ARENDT, et al. (2007).** Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24: 165–174.
- **BATIFOULIER et al., (2005).** Effect of different bread making methods on thiamine, riboflavine and pyridoxine contents of wheat bread. *Journal of Cereal Science* 42, 101-108.
- **BIESIEKIERSKI, (2014).** No effects of gluten in patients with self-reported non-celiac gluten sensitivity after dietary reduction of fermentable, poorly absorbed, short-chain carbohydrates. *Gastroenterology*, 320-8.
- **BOISSELEAU, PIERRE (2013).** Quelles techniques pour bien réussir son levain. FRAB Midi-Pyrénées. 1-10.
- **BOUKARBOUA, A. et BOULKROUN, M. (2016).** Appréciation de la qualité technologique des farines commerciales par des tests indirects, mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine, 76P.
- **BOURGEOIS, M., LARPENT, P. (1996).** Microbiologie alimentaire tome 2 : aliments fermentés et fermentations alimentaires. Ed. Sciences et techniques agroalimentaires, éditions tec et doc / Lavoisier.
- **BROCHOIRE G. et al. (1996).** Levains et panification. *Les Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie*. 49, 2, 1-21.
- **BROECK, et al. (2016).** Wheat and gluten intolerance. An overview of the latest scientific insights and possible solutions for the bakery sector.
- **C. MARTI, P. COURCOUX, H. CHIRON ET S. ISSANCHOU. (2008).** Caractéristiques sensorielles clés pour l'acceptabilité d'un pain de type baguette française, *Revue Industries des Céréales* n°159.
- **Calvel, R. (1990).** Le Gout Du Pain. Jérôme Villette
- **CAMARGO, LUIZ A., (2016)** Pão Nosso: receitas caseiras com fermento natural, 1 ed. São Paulo: Senac, São Paulo: Panelinha.
- **CANELLA-RAWLS, S. (2003).** Pain : art et science, 4e éd. São Paulo: Senac,
- **CHAOUAL, (2017).** Arrêté interministériel du 2 Muharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires. *Journal officiel de la république algérienne*, 38, 2 juillet, Algérie. 22p.

- **CHRISTINEMONTEL, M., JOSEPH, C. (2005).** La fermentation au service des produits laitiers ,269 pages. Edition quae, P153.
- **CODA et al., (2012).** Selected lactic acid bacteria synthesize antioxidant peptides during sourdough fermentation of cereal flours. *Applied and Environmental Microbiology* 78, 1087-10967.
- **CODA, R. (2003).** Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread" 692-700.
- **CODA, R. et al. (2009)** "Selected Lactic Acid Bacteria Synthesize Antioxidant Peptides during Sourdough Fermentation of Cereal Flours"
- **CORSETTI, A. et SETTANNI, L. (2007).** Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Research International*, 40, 539-558.
- **DAMINIE, L. (2018).** Le pain au levain ou à la levure. [En ligne] <https://www.olivert.be/wp-content/uploads/2018/11/Pains-oliVert.pdf> consulté en mars 2020.
- **DE ANGELIS, M. et al., (2009).** La fermentation au levain comme outil de fabrication de pain de blé blanc à faible indice glycémique enrichi en fibres alimentaires, 601p
- **DE DEKEN, R. (1966)** L'effet crabtree : un système de régulation dans la levure. *J Gen Microbiol* 44, 149-156
- **DOGUIET, D. (2010).** Biocontrôle des moisissures du genre fusarium productrices de fumonisines par sélection de bactéries lactiques autochtones de maïs. Thèse de doctorat, université bordeaux 1, 185.
- **DOUMANDJI A., et al. (2003).** Technologie de transformation des blés et problème dus aux insectes en stock, Office des publication universitaire, 129P.
- **DRAPON R., (1971).** Le goût du pain. *Bulletin des anciens élèves de l'Ecole française de Meunerie* 244, 127-132.
- **DRAPON R., BEAUX Y., CORMIER M., GEFFROY J. & ADRIAN J., (1974).** Répercussion de l'action de la lipoxigénase en panification. Destruction des acides gras essentiels à l'état libre, des caroténoïdes et des tocophérols. Altération du goût du pain. *Ann. Technol. Agric.* 23 (3), 353-365.
- **EI KAADA, (2015).** Arrêté du 14 Chaâbane 1436 correspondant au 2 juin 2015 rendant obligatoire la méthode horizontale pour le dénombrement des levures et moisissures par comptage des colonies dans les produits, dont l'activité d'eau est supérieure à 0,95. *Journal officiel de la république algérienne*, 48.2 juin, Algérie, 5p.
- **ELORA, P. (2014).** Du levain au pain. Approche anthropologique de l'usage du levain dans la fabrication du pain. Rapport de stage de master 2. Fond de développement de recherche année 2013/2014. 85P.

- **ENSMIC. (1995).** Acide Phytique : devenir au cours de la panification : <http://www.food-info.net/fr/qa/qa-fp162.htm> . Consulté en 2020.
- **FEUILLET, P. (2000).** Le Grain de blé : composition et utilisation. Editions Quae, 2000 - 308 p.
- **FREDOT E., (2005).** Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététiques. Lavoisier. 2° édition : TEC et DOC, édition médicales et internationale, 397P.
- **GÉRARD, B. et al. (1996),** Levains et panification. Les Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie, 48, 11 p.
- **GOBBETTI, M. et al. (2001),** How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods, Food Microbiology.
- **GOBBETTI, M., CORSETTI, A. & ROSSI, J. (1995a).** Interaction between lactic acid bacteria and yeasts in sourdough using a rheofermentometer. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11, 625-630.
- **GOBETTI et al., (2014).** How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology* 37; 30-40.
- **GODON, B. (1982).** Valeur meunière et boulangère des blés tendres et de leurs farines.
- **GRANIER, HENRI. (2003).** Apprendre à faire son pain au levain naturel. Ouest-France. Edilarge S.A.
- **GUEDES, (2019)** Les méthodes de fermentation. [En ligne]. Technologie Professionnelle CAP Boulanger : Etablissement,2. Disponible sur : <http://techno.boulangerie.free.fr/04-Cours/06-TechniquesMaterielProfessionnel/03-FermentationPanaire/02-MethodesFermentations/01-MethodesFermentation-PDF.pdf> consulté (20/06/2020)
- **GUILLET F., BONNEFOY C., LEYRAL G., VERNE-BOURDAIS É., (2002).** Microbiologie et qualité dans les industries agroalimentaires. biosciences et techniques. 245.
- **GUIRAUD j. (2003).** Microbiologie alimentaire. Paris: DUNOD.
- **HANSEN, A. et SCHIEBERLE, P. (2005).** Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: Applied and fundamental aspects. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 85-94.
- **HOLLON et al. (2015).** “Effect of gliadin on permeability of intestinal biopsy explants from celiac disease patients and patients with non-celiac gluten sensitivity”. *Nutrients* 7(3) 1565-1577.
- **Institut national de la boulangerie pâtisserie, 2003.** Le goût du pain. Les Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie, supplément technique I.N.P.B. 83, 15 p.

- **ISABEL, (2019).** . Levain naturel maison, [En ligne] <https://www.feuilledechoux.fr/levain-naturel-faire-son-levain/> consulté le 23.02.19
- **JACOBS, D et al. (1998).** Whole-grain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in post-menopausal women: The Iowa women's health study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68: 248–257.
- **KAMELIA, H. ET OURDIA, H. (2017).** 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. 60P.
- **KATINA, K. ET AL. (2005).** Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, 16 104–112.
- **KAYSER, E. (2013).** Le Larousse des pains, Larousse, (ISBN 2035884454).
- **KOREM T. et al. (2017)** Bread Affects Clinical Parameters and Induces Gut Microbiome-Associated Personal Glycemic Responses. PubMed PMID : 28591632.
- **LANDRAF, F. (2002)** Produits et Procèdes de panification. Produit d'origine végétale. 16p.
- **LANGRAF, F. (2002).** Produits et procédés de panification. Édit. Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, Rouen, 7 p.
- **LAVOISIER, (1990)** Évaluation Sensorielle, Manuel méthodologique. 100p.
- **LESAFRE. (2015),** Le levain naturel, Les starters de levain [en ligne] <https://www.lesaffre.com/fr/le-levain-naturel/> (consulté en février 2020)
- **LEVEAU J.Y., BOUIX M., (1993).** Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel. Ed. Coll. Sciences et techniques agroalimentaires, Ed. doc Lavoisier.
- **LHOMME, E. (2014).** Caractérisation biomoléculaire des bactéries lactiques issues des levains de panification français. Thèse de Doctorat, laboratoire de microbiologie alimentaire et industrielle. 130P.
- **LIU, S et al. (2000).** A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. *American Journal of Public Health*, 90: 1409–1415.
- **LIUKKONEN, et al. (2003).** Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62: 117–122.
- **LOPEZ H. ET AL. (2012).** Prolonged fermentation of whole-wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium. . 1087–1096.doi: 10.1128/AEM.06837-11.

- **MAIOLI M¹, PES GM, SANNA M, CHERCHI S, DETTORI M, MANCA E, FARRIS GA (1995)**, "Sourdough-leavened bread improves postprandial glucose and insulin plasma levels in subjects with impaired glucose tolerance".1503-11.
- **MALKI, R. et MALKI, Y. (2016)**. Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel Eriad Tademaït. Mémoire de master en Contrôle de qualité et nutrition en agro-alimentaire. Université m'Hamed bouguara boumerdes, 87p.
- **MARIOTTI, M., et al. (2014)**. Barley flour exploitation in sourdough bread-making, a technological, nutritional and sensory evaluation. LWT-Food science and technology, 59, 973-980
- **MARRAKCHI, S. (2013)**. Technologie des céréales Chapitre 2. <https://docplayer.fr/29039810-Technologies-alimentaires-chapitre-ii-technologie-alimentaire-des-cereales.html>. Consulté en mai 2020.
- **MEROTH C.B., HAMMES W.P., HERTEL C., (2003)**. Identification and Population Dynamics of Yeasts in Microbiol. 69, 7453–7461.
- **MOORE ET AL. (2007)**. Effect of lactic acid bacteria on properties of gluten-free sourdoughs, batters, and quality and ultrastructure of gluten-free bread. Cereal Chemistry, 84: 357–364.
- **MOUFFOK, F. (2006)**. Microbiologie des laits et produits laitiers. Institut pasteur microbiologie des laits et produits laitiers.
- **MURRAY, A. (1999)**. The widening spectrum of celiac disease. The American Journal of Clinical Nutrition, 69: 354–365
- **NARIMANE, M. ET HAYET, R. (2016)**, Essai de panification avec un améliorant biologique « Farine de malt ». Mémoire fin d'étude, Université M'hamed Bougara Boumerdes. 110 P
- **PEIGHAMBARDOUST, F. (2010)**. Aeration of bread dough influenced by different way of processing. Journal of cereal science 51, 89-95.
- **PEREIRA, M et al. (2002)**. Effect of whole grains on insulin sensitivity in overweight hyperinsulinemic adults. American Journal of Clinical Nutrition, 75: 848–855.
- **POTUS ET AL., (1994)**. Les Enzymes In La Panification Française. Ed : Tec Et Doc Lavoisier, Paris.
- **POUTANEN K, FLANDER L, KATINA K (2005)**, "Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective". Science direct. Pages 104-112.

- **RAMSAYER, J. et SICARD, D. (2015).** Explorer et conserver la diversité de la flore des levains, un potentiel en boulangerie. *Innovations Agronomiques* 44, 45-54.
- **RIZZELLO et al., (2012).** Micronized by-products from debranned durum wheat and sourdough fermentation enhanced the nutritional, textural and sensory features of bread. *Food Research International*, 46, 304–313.
- **ROUSSEL, P. ET CHIRON, H. (2005).** Les pains français. Évaluation, qualité, production. Conflandey : maé-erti editeurs, 2005.
- **SAJOT, D. et al. (2008).** contribution à la mise en place de la démarche haccp pour la fabrication de pain blanc précuit surgelé. Thèse pour le doctorat vétérinaire. l'université paul-sabatier de Toulouse. 280p
- **SPICHER, G., RABE, E., SOMMER, R. & STEPHAN, H. (1981).** 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*, 173, 291-296.
- **STRAWBRIDGE, DICK E JAMES. (2015)** Feito em Casa - Pães e Fermentos. Tradução de Laura Schichvarger. São Paulo: Publifolha.
- **SURGET A. et BARRON C., (2005).** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*.
- **TERNES, W. et W. FREUND.,(1988).** Effects of different doughmaking techniques on thiamin content of bread. *Getreide Mehl und Brot*, 42: 293–297
- **THIELE, et al., (2004).** Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 1307–1314
- **TIFRAOUAT, A. et OUHAL, I. (2016),** Essai de panification avec incorporation de la farine de datte« Mech-Degla ». Mémoire fin d'étude, Université M'hamed Bougara Boumerdes. 136p
- **URIEN, C. (2013).** Diversité des communautés de levures dans des levains naturels issus de l'Agriculture Biologique. Présentation pour l'IIIe Séminaire DIM ASTREA sur la recherche en agriculture biologique en Île-de-France, 250P
- **URIEN, C. (2015).** 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. Thèse de doctorat, université paris-sud, France. 288P.

- **VERA A. (2011).** Étude de l'écosystème levain de panification. Incidence de l'échelle de fermentation sur la composition physico-chimique et microbiologique des levains (Thèse de doctorat, Université Claude-Bernard Lyon 1, FRA).
- **VILLALUENGA, M. et al (2009).** Effect of flour extraction rate and baking process on vitamin B1 and B2 contents and antioxidant activity of ginger-based products. *European Food Research and Technology*, 230: 119–124.
- **VOGELMANN, A., HERTEL, C. (2011).** Impact of ecological factors on the stability of microbial associations in sourdough fermentation. *Food Microbiology*, 28, 583–589.
- **VRANCKEN, G. et al. (2010).** Yeast species composition differs between artisan bakery and spontaneous laboratory sourdoughs. *FEMS Yeast Research*, 10, 471–481.
- **Watts, B.M. Ylimaki, G.L. Jeffery, L.E. Elias, (2010)** Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ottawa, Ont., CRDI, 1991. X + 145 p. : ill.
- **WENNEMARK, B. et JÄGERSTAD, M. (1992).** Bread making and storage of various wheat fractions affect vitamin E. *Journal of Food Science*, 57: 1205–1209.
- **WIESER, H. et al. (2008).** Effects of different *Lactobacillus* and *Enterococcus* strains and chemical acidification regarding degradation of gluten proteins during sourdough fermentation. *European Food Research and Technology*, 226: 1495–1502.

Annexes

Annexe I : matériel utilisé pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques

✓ Verreries et petit matériel

Micropipettes, propipette, pissette, pince, Boîtes de pétri, Portoir, papier de filtres, béchers, fioles jaugées, pipettes graduées, burette graduée, Tubes à essais en verre, Flacons stériles, Éprouvettes graduées, Erlenmeyer, Entonnoir, Ballon, spatules, aluminium, Nacelles en porcelaine ou en quartz, Pince en acier inoxydable.

✓ Appareillage :

Bec bunsen, balance, four à moufle, étuves, four pasteur, bain Marie (Memmert), autoclave, réfrigérateur, pH mètre, centrifugeuse, dessiccateur, agitateur magnétique, plaque chauffante.



Figure 1 : nacelles

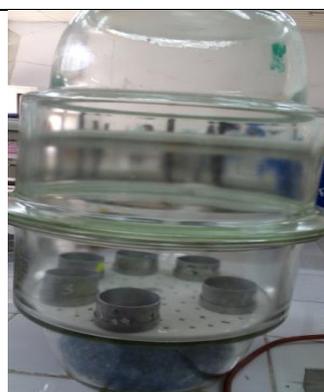


Figure 3 : dessiccateur



Figure 4 : balance analytique



Figure 5 : Étuve.



Figure 6 : four a moufle



Figure 7 : Bain Marie

✓ **Produits chimiques et réactifs :**

- 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.
- Ampoule d'alun de fer :
- Sulfite de sodium
- Phénolphtaléine

Annexe II : analyse de la farine

1. Détermination de la teneur en eau :



5g de farine dans une capsule séché et taré.



entrée des nacelles contenant la farine dans l'étuve



dessiccation des nacelles

2. Détermination des cendres



figure 4 : peser 2g de farine



figure 5 : incinération de la farine dans le four à moufle



Figure 6 : refroidissement des capsules dans le dessiccateur

3. Détermination de l'acidité grasse



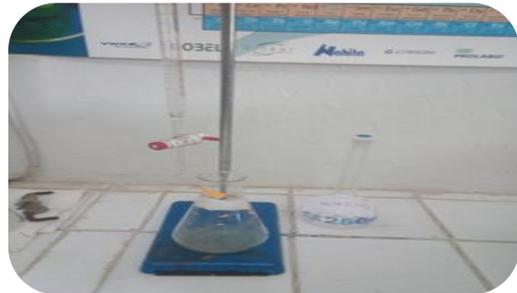
mélange de de farine
avec éthanol



Agitation mécanique



surnageant



titrage avec la solution NaOH
(0,05 N)

4. Gluten humide



la pesée de la farine



malaxage de la farine hydratée jusqu'à
ce que la pâte n'adhère plus

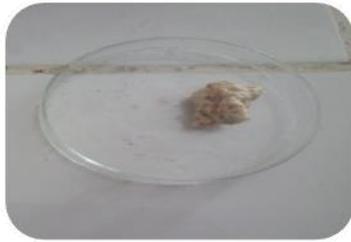


La pate est mise dans la paume des
mains et petrie jusqu'a ce qu'elle
forme une masse homogène après
lavage



le gluten humide

5. Gluten sec



1. gluten obtenu



2. la pâte sur une plaque chauffante



3. gluten sec

Annexe 2 : matériel utilisé pour la préparation du levain



Figure 8 : farine complète T50



Figure 9 : l'eau de source
marque ayris



Figure 10 : miel pure, marque
Slimi



Figure 11 : Spatule en bois



Figure 12 : Récipient en verre (pour la préparation)



Figure 13 : Bocal avec couvercle pour conserver notre levain



Figure 14 : Tulle, élastique, étiquète

Analyses microbiologiques

1. Résultat de la recherche de clostridium sulfito-réducteurs



1. Temoin



2. Solution 10^{-1}



2. Solution 10^{-2}



3. Solution 10^{-3}

Annexe 3 : Résultats d'analyse sensorielle du pain au levain de farine de blé tendre complet

Questions	Moyenne pain au levain
1	5
2	4
3	2
4	4
5	5
6	4
7	3
8	4
9	4
10	3
11	4
12	Pain cuit Acide Gout de croûte