

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université BLIDA 1



Faculté des sciences de la Nature et la Vie

Département d'Agro-alimentaire

Mémoire fin d'étude

Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et la Vie

Thème

Etude du potentiel technologique du seigle :
Aptitude à la panification

Présenté par :

HAMIMID FETHIA BOUCHRA

BEN KHDIDJA SABRINA

Devant le jury :

| | | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Dr BELLEMANE Samira MCB | Université BLIDA 1 | Présidente |
| Dr HADJADJ Naima MCB | Université BLIDA 1 | Examinatrice |
| Dr ABDELLAOUI Zakia MCB | Université BLIDA 1 | Promotrice |

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné courage, santé, souffle et Patience pour accomplir ce travail.

Un merci très spécial à nos chers parents pour leur amour, aide, soutien et encouragements que Dieu les garde en bonne santé.

Nous adressons nos sincères remerciements pour notre encadreur

Mme **ABDELAOUI ZAKIA**

Nous remercions aussi les jurys de notre travail Mme **BENLLEMANE SAMIRA**

Présidente, et Mme **HADJADJ NAIMA** examinatrice

Nos vifs remerciements également pour Mme KADRI KAWTHER la chef de service laboratoire de l'entreprise **AMMOUR** de nous avoir acceptés au sein de son établissement. Nous adressons aussi nos sincères remerciements à **MASSIF ABDELHAMID** qui nous a accompagnés au tout long de notre travail.

Nous remercions aussi Mme **HANADI HALAOUA** et Mr **MOKTAR RABAH** et toute l'équipe d'entreprise **AMMOUR**

Un grand remerciement pour Mme **MANISSA** La chef service à ITGC, et aussi Mr

DAHMOUNE SALIM le boulangerie à ITGC.

Nous tenons à exprimer aussi toute notre gratitude au Mr **RAMDAN SID ALI**

Nous ne manquerons pas de remercier tous les amie **BOUDEN ELALIA** , **AMMICHE YASMINE**, **SIBACHIR KHAWLA**, **MAAMRI ASMAA**, **BOUABDALLAHA SMAA**.

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du département d'agro-alimentaire

Et que toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire trouve ici l'expression de notre profonde sympathie

Dédicace

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

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

tout d'abord :

A mes très chers parents **Salah** et **Abla** qui ont sacrifié leur noble existence pour

bâtir la mienne et ont contribué à ma réussite, et ceux qui méritent toute mon

affection, mon respect et ma reconnaissance

" Que dieu les protège"

A mes très chères frères: **Yacine, Anis, Chakib**

Et à tous les membres de ma famille

A mon binôme: **Sabrina Ben Khadidja**, pour son soutien moral, sa patience et sa

compréhension tout au long de ce projet et à toute sa famille.

A tous mes amies que J'ai connues jusqu'à maintenant.

A toute la promotion agroalimentaire et contrôle de qualité **2019-2020**.

A tous ceux que j'aime et je respect.

BOUCHRA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

Tout d'abord pour mes chers parents le soutien et les sacrifices consentis pour mon
éducation

A toute la famille en reconnaissance de leurs encouragements

A mon binôme **Hamimid Fethia Bochra**, et sa famille.

A tous mes amis « **Noussaiba, Ikram, Nacira, Hadjer, Kawther, Karima** » pour leur
sympathie leur humeur et leur solidarité envers moi

A mes frères « **Aymen, Abd Elnour** », mes sœur « **Nihad, Meriam** ».

A la plus chère personne mon fiancé « **Hassan** » qui m'a encouragé et soutenue tout au
long de mon parcours

A tous ceux qui occupent une place dans mon cœur

SABRINA

Résumé

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence le potentiel technologique d'une farine intégrale de seigle local différent taux incorporation (10%,20%,30%,40% et 50%). Des analyses physico-chimiques de la farine integrale de seigle, ainsi que de la caractéristique alvéographique et physico-chimique de la farine panifiable avant et après l'incorporation ont été effectuées.

Les résultats ont montré une augmentation de taux cendre et taux d'affleurement dans les farines et une diminution du taux de gluten humide 24,25% (farine témoin) à 11% (farine de 50% seigle complet) et gluten sec 8,8% (farine témoin) à 4,5% (farine de 50% seigle complet)

Les résultats ont montré également qu'une incorporation de farine intégrale de seigle entraîne une diminution de la force boulangère (W) de 181(farine témoin) à 105(farine de 30% seigle complet ($\times 10^{-4}$), de gonflement 13(farine témoin) à 9,03 (farine de 30% seigle complet) et une augmentation du rapport de configuration (ténacité/ l'extensibilité) de 3,59(farine témoin) à 14,1(farine de 30% seigle complet).

Les tests de panification ont été réalisés sur les différentes farines incorporées de seigle selon deux protocoles à deux types de fermentation, avec levure instantanée et levain accéléré. Les résultats ont révélé que le pain de bonne qualité (texture, souplesse, aspect extérieure, augmentation du volume de pain et de l'Alvéolage de la mie après cuisson) et comparable au pain témoin 100% de blé tendre, est obtenu par l'incorporation de 20% de farine intégrale de seigle (fermentation sur levure) avec une valeur boulangerie(244,8/300) et de 10% de farine intégrale (sur levain accéléré) avec une valeur boulangerie (255,875/300).

Mots clés: farine intégrale de seigle, caractéristique alvéographique, levure, levain accéléré, valeur boulangère.

Abstract

The aim of this work is to highlight the technological potential of a local wholemeal rye flour with different incorporation rates (10%, 20%, 30%, 40% and 50%). Physico-chemical analyses of the wholemeal rye flour, as well as the alveographic and physico-chemical characteristics of the bakery flour before and after incorporation were carried out.

The results showed an increase in the ash and outcrop rate in the flours and a decrease in the wet gluten rate from 24.25% (control flour) to 11% (50% whole grain rye flour) and dry gluten rate from 8.8% (control flour) to 4.5% (50% whole grain rye flour).

The results also showed that incorporation of wholemeal rye flour resulted in a decrease in baking strength (W) from 181 (control flour) to 105 (30% wholemeal rye flour ($\times 10^{-4}$), swelling 13 (control flour) to 9.03 (30% wholemeal rye flour) and an increase in the configuration ratio (toughness stretchiness) from 3.59 (control flour) to 14.1 (30% wholemeal rye flour).

Bread-making tests were carried out on the different rye flours incorporated according to two protocols with two types of fermentation with instant yeast and accelerated sourdough. The results revealed that bread of good quality (texture, suppleness, external appearance, increase in bread volume and crumb Alveolage after baking) and comparable to the 100% soft wheat control bread, was obtained by incorporating 20% wholemeal rye flour (yeast fermentation) with a bakery value (244.8/300) and 10% wholemeal flour (on accelerated sourdough) with a bakery value (255.875/300).

Key words: wholemeal rye flour, alveographic characteristic, yeast, accelerated sourdough, baking value.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على الإمكانيات التكنولوجية لدقيق الجاودار المحلي بمعدلات دمج مختلفة (10% ، 20% ، 30% ، 40% و 50%). أجريت التحليلات الفيزيائية والكيميائية لدقيق الجاودار الكامل ، وكذلك الخصائص الفيزيائية والفيزيائية لدقيق المخبز قبل وبعد التأسيس.

أظهرت النتائج زيادة في معدل الرماد والنفث في الدقيق وانخفاض في معدل الغلوتين الرطب من 24.25% (دقيق الشاهد) إلى 11% (50% طحين حبوب كامل) ومعدل جلوتين جاف من 8.8% (دقيق الشاهد) إلى 4.5% (50% طحين حبوب كامل). أظهرت النتائج أيضًا أن دمج دقيق الجاودار الكامل أدى إلى انخفاض في مقاومة الخبز (W) من 181 (دقيق الشاهد) إلى 105 (30% دقيق الجاودار الكامل (x10-4) ، وانتفاخ 13 (دقيق الشاهد) إلى 9.03 (30%). زيادة في نسبة التكوين (صلابة الشد) من 3.59 (طحين الشاهد) إلى 14.1 (30% دقيق الجاودار الكامل).

تم إجراء اختبارات صنع الخبز على أنواع مختلفة من دقيق الجاودار مدمجة وفقًا لبروتوكولين مع نوعين من التخمر باستخدام الخميرة الفورية والعجين المخمر السريع. أوضحت النتائج أن الخبز ذو الجودة العالية (الملمس ، اللبونة ، المظهر الخارجي ، زيادة حجم الخبز والفتات بعد الخبز) ومقارنة بخبز الشاهد بالقمح الطري 100% ، تم الحصول عليه بدمج دقيق الجاودار الكامل بنسبة 20% (تخمير الخميرة) بقيمة مخبز (300 / 244.8) و 10% دقيق كامل (على العجين المخمر السريع) بقيمة مخبز (300 / 255.875).

الكلمات المفتاحية: دقيق الجاودار الكامل ، الصفات الالفيوغرافية ، الخميرة ، العجين المخمر المعجل ، قيمة الخبز.

Liste d'abréviation

- AFNOR:** Association Française de Normalisation.
- ANOVA :** Analyse de la variance.
- BIPEA:** Bureau Interprofessionnel des Etudes Analytiques.
- CH :** capacité d'hydratation.
- C.N.E.R.N.A:** Centre Nationale d'Etude et de Recherche en Nutrition et Alimentation.
- C°:** degré Celsius.
- FAO:** Food and Agriculture Organisation.
- FBT:** Farine de blé tendre.
- FSC:** Farine de seigle complet.
- g:** gramme.
- G:** Gonflement.
- GH :** Gluten humide.
- GS :** Gluten sec.
- H cl:** Acide chlorhydrique.
- ISO:** International Standard Organisation.
- ITGC:** Institut Technique de Grande culture d'El-Harrach.
- J.C:** Jésus- Christ.
- L:** extensibilité.
- m:** La masse.
- MS :** matière sèche.
- MPa :** mégapascal.
- NA :** Norme Algérienne.
- Na cl:** sel alimentaire.
- NE:** Norme Européenne.
- P :** ténacité.
- PHL :** poids à l'héctolitre.
- pH:** potentiel hydrogène.
- P/L :** rapport de configuration ténacité/ extensibilité.
- PMG :** poids de mille grains.
- Ps:** Poid spécifique.
- QF:** Quotient Fermentaire.
- q/ha:** quintaux/ hectare.
- STZ:** Streptozotocine.

T: Taux d'incorporation.

tr/min: tourne par minute.

V_{sp}: volume spécifique.

W : la force boulangère.

μm : micromètre.

Table de matière

| | |
|---|----|
| Introduction | 1 |
| ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE | |
| Chapitre I : Le seigle | |
| I.1. Généralité | 3 |
| I.2. Histoires de seigle | 4 |
| I.3. La production de seigle | 5 |
| I.4. Utilisation de seigle | 5 |
| I.5. Culture du seigle | 6 |
| I.6. Morphologie et structure de seigle | 7 |
| I.6.1. L'enveloppe | 8 |
| I.6.2. L'endosperme | 8 |
| I.6.3. Le Germe | 8 |
| I.7. Avantages nutritionnels et diététiques des aliments à base de seigle | 8 |
| I.8. Composition chimique du grain de seigle et du blé | 9 |
| I.8.1 L'amidon | 10 |
| I.8.2 Les protéines | 10 |
| I.8.3 Les lipides | 11 |
| I.8.4 Les fibres alimentaires | 11 |
| I.8.5 Composés bioactifs | 11 |
| I.8.6 Minéraux, vitamines et facteurs antinutritionnels | 12 |
| I.9. Caractères botaniques | 12 |
| a) Appareil racinaire | 12 |
| b) Tige et feuilles | 12 |
| c) L'épi | 12 |
| I.10. Cycle de développement | 12 |
| I.11. Exigences | 13 |
| I.12. Variétés | 13 |
| a) Critères du choix | 13 |
| B) Variétés | 13 |
| I.13. Prédateurs, parasites et maladies | 14 |
| I.13.1. Les prédateurs | 14 |
| I.13.2. Les parasites | 14 |
| I.13.3. Les maladies cryptogamiques | 14 |

Chapitre II: Blé tendre

| | |
|---|----|
| II.1. Généralité sur le blé tendre | 16 |
| II.1.1. Définition... .. | 16 |
| II.1.2. Histologie du grain de blé tendre | 16 |
| II.1.3. Taxonomie | 17 |
| II.1.4. Composition chimique du grain... .. | 17 |
| II.1.4.1. L'eau... .. | 17 |
| II.1.4.2. Les glucides | 17 |
| II.1.4.3. Les protéines..... | 18 |
| II.1.4.4. Les lipides..... | 19 |
| II.1.4.5. Autres constituants..... | 19 |
| II.1.5. Les Conditions de culture | 20 |
| II.1.6. L'utilisation de blé..... | 21 |

Chapitre III : La panification

| | |
|--|----|
| III.1. Définition..... | 23 |
| III.1.1. panification | 23 |
| III.1.2. Le pain | 23 |
| III.1.3. Le pain au seigle..... | 23 |
| III.1.4. Pain de seigle | 23 |
| III.2. Historique de panification | 23 |
| III .3. Rôle des ingrédients | 24 |
| III.3.1. Farine | 24 |
| III.3.2. Eau | 24 |
| III.3.3. Sel..... | 25 |
| III.3.4. Levures | 25 |
| III.3.5. Améliorants..... | 26 |
| III.4. Etapes du procédé de panification | 27 |
| III.4.1. Pétrissage | 27 |
| III.4.2. Pointage | 29 |
| III.4.3. Division..... | 30 |
| III.4.4. Fermentation | 30 |
| III.4.4.1 Mécanismes de la fermentation | 30 |
| III.4.4.2 Phase gazeuse | 31 |
| III.4.5. Façonnage | 31 |
| III.4.6. Apprêt | 32 |
| III.4.7. Cuisson..... | 32 |

| | |
|-------------------------|----|
| III.4.8. Ressuage | 33 |
| III.4.9. Rassement..... | 33 |

Chapitre IV: Levure et levain

IV.1. Levure

| | |
|---|----|
| IV.1.1. Sa place dans le monde vivant..... | 34 |
| IV.1.2. Définition | 35 |
| IV.1.3 Morphologie | 35 |
| IV.1.4. Structure | 36 |
| IV.1.5. Deux modes de vie..... | 37 |
| IV.1.6. Les modes de reproduction | 38 |
| IV.1.7. Les besoins nutritifs | 40 |
| IV.1.8. Influence des paramètres environnementaux | 41 |
| IV.1.9. Les différentes formes commerciales | 42 |

IV.2. Levain

| | |
|--|----|
| IV.2.1. Introduction... .. | 42 |
| IV.2.2. Définition... .. | 42 |
| IV.2.3. Les micro-organismes du levain... .. | 42 |
| IV.2.4. Rôle de micro-organismes du levain..... | 43 |
| IV.2.5. Facteurs influençant l'activité des levain... .. | 44 |
| IV.2.6. Influences du levain sur le pain... .. | 45 |

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre V : Matériel et méthode

| | |
|---|----|
| V.1. Démarche expérimentale..... | 47 |
| V.1.1. Objectif du travail..... | 47 |
| V.1.2. Lieu de stage | 47 |
| V.1.3. Matériel végétal utilisé et préparation des échantillons..... | 47 |
| V.2. Analyses physico-chimique de grain de seigle..... | 48 |
| V.2.1. Détermination du poids spécifique « PS » ou masse à l'hectolitre « PHL » | 48 |
| V.2.2. Détermination du poids de mille grains de grain de seigle : (AFNOR NF V03-702 et ISO 720)..... | 50 |
| V.2.3 Détermination de la teneur en eau (NA 1132. 1990 ; ISO712 :1998)..... | 51 |

| | |
|---|----|
| V.3. Analyses physico-chimiques des farines..... | 53 |
| V.3.1. Détermination de la teneur en eau : selon le mode opératoire décrit en(V.2.3)... | 53 |
| V.3.2. Détermination du taux de cendres (NA. 733. 1991.E, ISO 2171)..... | 53 |
| V.3. 3. Détermination de la teneur de gluten humide (NA.735.1991. ISO-5531)..... | 55 |
| V.3. 4. Détermination du gluten sec (NA.11.26/1986)..... | 57 |
| V.3. 5. Le taux d’affleurement (NA.N° 02. 08.01.1992)..... | 59 |
| V.4. Analyses technologiques..... | 59 |
| V.4. 1. Test rhéologique par l’alvéographe (NA .1188/1990)..... | 59 |
| V.4. 2. Test de panification : (ISO 27971,2008)..... | 64 |
| V.4. 3. Mesure des volumes spécifiques des pains..... | 66 |
| V.4.4. Les deux types de fermentation..... | 67 |
| ❖ Fermentation avec levure instantanée..... | 67 |
| ❖ Fermentation avec levain accéléré..... | 67 |
| V.5. Analyse statistique..... | 68 |

Chapitre VI : Résultats et discussions

| | |
|--|----|
| VI.1. Analyses physicochimiques de grains de seigle..... | 69 |
| VI.1.1. Poids à l’hectolitre..... | 69 |
| VI.1.2. Poids de mille grains (PMG)...... | 69 |
| VI.1.3. La teneur en eau... .. | 69 |
| VI.2. Analyses physicochimiques des farines..... | 70 |
| VI.2.1. La teneur en eau..... | 70 |
| VI.2.2. Le taux d’affleurement..... | 71 |
| VI.2.3 Taux de cendre..... | 74 |
| VI.2.4.1 La teneur en gluten humide..... | 75 |
| VI.2.4.2 La teneur en gluten sec..... | 76 |
| VI.2.4.3 La capacité d'hydratation..... | 77 |
| VI.2.5. Caractéristiques alvéographiques..... | 77 |
| VI.2.5.1 Gonflement « G »..... | 78 |
| VI.2.5.2 La Force boulangère « W »..... | 79 |
| VI.2.5.3 La ténacité« P »..... | 79 |
| VI.2.5.4 Elasticité « L »..... | 79 |
| VI.2.5.5 Rapport de configuration (P/L)..... | 79 |
| VI.2.6. Test de panification..... | 83 |
| VI.2.6.1. Fermentation avec levure instantanée..... | 83 |
| VI.2.6.2. Fermentation avec levain accéléré..... | 85 |

| | |
|---|----|
| VI.2.6.3. Volumes spécifiques des pains | 86 |
|---|----|

| | |
|-------------------------|-----------|
| Conclusion | 88 |
|-------------------------|-----------|

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Composition chimique du grain de seigle (% MS)..... | 9 |
| Tableau 2: Classification botanique du blé tendre..... | 17 |
| Tableau 3: Les fractions protéiques du blé | 18 |
| Tableau4: Composition minérale du blé | 19 |
| Tableau 5: Exemples de produits de substitution utilisée en panification | 26 |
| Tableau 6: Levures pour différentes applications boulangères | 35 |
| Tableau 7: Les résultats d'analyse du taux de cendre | 74 |
| Tableau 8. Résultats des analyses rhéologiques | 78 |
| Tableau9: Valeurs caractéristiques moyennes des paramètres alvéographiques pour la panification..... | 80 |
| Tableau 10: Résultats du test BIPEA de panification avec la levure instantanée..... | 83 |
| Tableau 11: Appréciation de la panification avec le levain accéléré par le test BIPEA..... | 86 |
| Tableau 12: Les volumes spécifique des pains..... | 87 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : La microstructure du grain de seigle | 7 |
| Figure 2 : Histologie de la graine de blé tendre | 16 |
| Figure 3 : Micrographie de <i>S. cerevisiae</i> | 36 |
| Figure 4 : Structure de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 37 |
| Figure 5 : Représentation schématique du cycle cellulaire de <i>S. cerevisiae</i> | 39 |
| Figure 6 : Transition de la ploïdie au cours du cycle cellulaire de <i>S. cerevisiae</i> | 40 |
| Figure 7 : levain de panification observation en microscopie électronique à balayage | 43 |
| Figure 8 : Métabolisme carboné des micro-organismes du levain | 44 |
| Figure 9 : Représentation d'un alvéogramme..... | 63 |
| Figure 10 : La teneur en eau des farines seigle et de blé..... | 71 |
| Figure 11 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine témoin seigle | 72 |
| Figure 12 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine intégrale de seigle | 72 |
| Figure 13 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 10 de SC | 72 |
| Figure 14 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 20 de SC. | 72 |
| Figure 15 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 30 % de SC | 73 |
| Figure 16 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 40 % de SC | 73 |
| Figure 17 : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 50 % de SC..... | 73 |
| Figure 18 : Les teneurs en gluten humide des différentes farines | 75 |
| Figure 19 : Les teneurs en gluten Sec de différentes farines..... | 76 |
| Figure 20 : Les teneurs en de gluten humide de différentes farines..... | 77 |
| Figure 21 : Alvéogramme de la farine témoin (Sim) | 81 |
| Figure 22 : Alvéogramme de la farine 10% de seigle complet+ 90 %F.S..... | 81 |
| Figure 23 : Alvéogramme de la farine 20% de seigle complet +80%F.S | 82 |
| Figure 24 : Alvéogramme de la farine 30% de seigle complet +70%F.S | 82 |
| Figures25 : Les valeurs boulangères en fonction des taux d'incorporation en seigle | 84 |



Introduction

Introduction

Les produits céréaliers constituent la base de l'alimentation humaine dans la plupart des pays du monde, du fait qu'ils apportent la plus grande part des Protéines de la ration. Les céréales fournissent 57 % de protéines consommées contre 23 % apportées par les tubercules et les légumineuses ainsi que 20 % par les produits d'origine animale **(Godon, 1982)**.

Le blé occupe actuellement la première place dans la production mondiale des céréales (environ 40 %) et présente une importance nutritionnelle et économique considérable. **(Chardouh, 1999)**.

Les pays du Maghreb, notamment l'Algérie, importent ses besoins en céréales et constituent de ce fait, le premier importateur mondiale du blé. Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Ils fournissent plus de 60 % de l'apport calorique de la ration alimentaire nationale **(Talamalil, 2000)**.

En Algérie, le pain possède une importance socio-économique particulière et occupe une part importante de la ration alimentaire journalière. Il est le résultat de la mise en œuvre de farine, d'eau, de levure, de sels et de divers améliorants **(Malki et Malki, 2016)**. En plus de la quantité, le consommateur d'aujourd'hui est de plus en plus exigeant en termes de qualité du pain, ce qui nécessite un blé de bonne qualité technologique.

Le pain à base de blé tendre demeure celui qui est le plus consommé dans la majorité des régions en Algérie. La présence de la glutenine et la gliadine confère au blé sa propriété viscoélastique unique bien que d'autres céréales contiennent des groupes protéiques similaires au gluten, leur capacité de rétention gazeuse est limitée. Cependant, la consommation de pain de blé tendre présente un indice glycémique élevé ce qui accentué les risques de diabète de type 2 et de maladie cardio-vasculaire **(Malki et Malki, 2016)**.

Il est considéré économiquement avantageux de réduire ou même éliminé les importations de blé si la demande de produits de boulangerie est satisfaite par l'utilisation de matière première cultivée localement.

La culture de seigle est répandue sur tous les continents, le seigle est connu en Algérie depuis longtemps, il a disparu des systèmes de culture algériens pour plusieurs raisons. Sa réintroduction peut se faire graduellement pour remplacer le blé dans les qui lui sont défavorables. Il s'accommode de terre pauvre, de sol léger, il peut être cultivé dans les régions montagneuses. **(Mahdad et Goumidi, 2019)**

Introduction

Le seigle est resté jusqu'au XX^e siècle la céréale dominante dans la fabrication du pain. Sa farine brune et son caractère robuste voir rustique, qui cache de grands avantages nutritifs, ont provoqué sa chute lors de l'apparition de procédés modernes de meunerie qui ont permis la fabrication du pain blanc. Le pain de seigle qui doit être fait impérativement au levain est moins aéré et plus dense que le pain de blé.

Faire un bon pain de seigle est une chose difficile, mais lorsqu'il est bien fait, certains le préfèrent au pain de blé. (**Anonyme 1**). La qualité nutritionnelle du pain de seigle est supérieure au pain blanc issu du blé tendre. Il est plus riche en fibres, potassium, calcium, fer et fluor. Il ne contient pas les mêmes protéines que le blé, il est conseillé aux malades cœliaques (intolérance au gluten) et il est pauvre en graisses. Il est moins calorique : 242 Kcalories contre 285 pour le pain blanc. Le pain de seigle a un goût parfumé et se conserve plus longtemps frais jusqu'à 3 à 4 jours, ce qui réduit considérablement le gaspillage. De ce fait, mélanger la farine de blé panifiable avec la farine de seigle contribue non seulement à la sécurité alimentaires des Algériens mais aussi à préserver leur santé.

Les caractéristiques rhéologiques d'une pâte et les caractéristiques sensorielles de pain pourraient constituer un obstacle pour la valorisation d'autres céréales. Donc qu'elle est le taux d'incorporation optimale de la farine intégrale de seigle pour préserver la qualité de pain et sa valeur boulangère, et qu'elle est la meilleure méthode de fermentation à utiliser ?

Dans ce contexte, le but de notre recherche est l'étude de potentiel technologique de farine intégrale de seigle dans la préparation d'un produit à haute valeur ajoutée (le pain).

Ce travail se donne les sous objectifs suivants:

- Détermination des caractéristiques physicochimique et technologique des farines intégrale de seigle et la farine de blé tendre.
- Détermination de l'influence du taux d'incorporation de (10%,20%,30% 40% et 50% de seigle complet) sur le comportement rhéologique des pâtes mixtes blé-seigle
- Détermination de l'effet du taux de substitution sur la valeur boulangère du pain par comparaison avec le pain à base de 100% blé tendre
- Détermination d'effet de levain accéléré dans les pâtes mixtes blé-seigle.



Chapitre I :
le seigle

I.1. Généralités

Le seigle (*Secale céréale* L.) est une plante annuelle appartenant à la famille des placées (graminées), et cultivée comme céréale ou comme fourrage. Il fait partie des céréales à paille. Il est la plus rustique des céréales, souvent cultivé dans des conditions où d'autres céréales ne résistent pas (**small, 1999**).

C'est une céréale résistante adaptée aux terres pauvres et froides. Le genre *Secale* comprend de nombreuses espèces originaires d'Asie centrale. Historiquement, le seigle est une culture vivrière majeure dans les pays d'Europe orientale en raison de sa grande résistance à l'hiver et de ses besoins en eau inférieurs à ceux du blé (**Sapirstein et Bushuk, 2016**).

Cette céréale fut longtemps l'une des principales de celles qui furent utilisées pour l'alimentation humaine. Aujourd'hui encore elle sert à la confection de pain gris, particulièrement apprécié dans les pays du nord de l'Europe. Le pain de seigle, qui rassit moins vite que le pain de blé, était apprécié à une époque où chacun cuisait son pain pour plusieurs jours, voire plusieurs semaines.

Le seigle présente une résistance intrinsèque au froid et à l'hiver plus élevée que le blé; cette supériorité s'accroît encore en sols acides, sablonneux, peu profonds, où le blé résiste mal à des hivers un peu rigoureux.

Ces qualités en avaient fait la céréale panifiable des régions montagneuses aux hivers rudes et celles des terres légères acides difficiles à amender; en dehors de ces régions où elle se maintient, la culture du seigle régresse régulièrement.

L'amendement des terres, l'amélioration des techniques culturales, la modification du goût des consommateurs consécutifs à l'élévation du niveau de vie ont contribué à substituer progressivement le blé au seigle. (**Prats et Clément; 1970**).

Le seigle provient sans doute d'Asie mineure et s'est répandu dans toute l'Europe en tant que contaminant du blé, auquel il ressemble. Il a été amené en Amérique du Nord par les immigrants européens. Il a également été importé à la fin du XIXe siècle et au XXe siècle par les organismes gouvernementaux à l'occasion de programmes visant à créer des cultivars adaptés aux conditions climatiques du Canada. Le grain de seigle est porté par un épi terminal de 10 à 15 cm de long. Les épillets disposés en alternance produisent deux grains. Les grains sont généralement bleu verdâtre, mais peuvent se présenter sous une

couleur allant du bronze clair au brun foncé, selon le cultivar. En Amérique du Nord, le seigle sert principalement à nourrir les animaux.

Dans les prairies semi-arides, une bonne partie de la culture est gardée en pâturage ou récoltée en vue de constituer des réserves de fourrage pour le bétail. Les produits de boulangerie à base de seigle entier comptent parmi les meilleures sources de fibres alimentaires pour les humains. (Mcleod, 2010).

I.2. Histoire du seigle

L'histoire du seigle (*Secale céréale* L.) et son origine restent aujourd'hui encore mystérieuse sur de nombreux aspects. Toutefois, l'ancêtre sauvage de cette plante serait originaire de l'est et du centre de la Turquie. Les premières traces du seigle cultivé ont été retrouvées dans plusieurs sites néolithiques de Turquie. L'ancêtre du seigle est *Secalemontanum* Guss une espèce vivace morphologiquement très variables, il préfère les climats froids. Sa culture remonte à 2 - 3000 ans avant J.C.

Le seigle est une espèce annuelle, diploïde $2n = 14$ ayant un port ressemblant à celui du blé (Prats et Grandcourt, 1971). Selon Soltner, 2005 c'est la seule céréale fortement allogame, les variétés sont donc des populations, fixées pour les principaux caractères.

Le seigle appartient à la classe des monocotylédones de la tribu des Triticées, et au sous tribu des triticinées. La famille des Poacées, le genre *Secale* et l'espèce la plus cultivée est *Secalecereale* L. (Frederiksen et Petersen, 1998).

Le seigle est le nom commun donné aux espèces du genre *Secale*, membres de la famille des graminées (Gramineae), et à la céréale produite par ces espèces. Le seigle occupe le deuxième rang derrière le blé parmi les grains qui entrent dans la fabrication du pain. Ce sont d'ailleurs les seules céréales qu'on peut utiliser pour faire du pain à pâte levée.

Le seigle est un Céréale importante sur le plan économique. Elle se classe le huitième parmi les principales cultures céréalières du monde.

Le seigle d'hiver, semé au début de l'automne, est beaucoup plus répandu que le seigle d'été.

I.3. La production du seigle

Les principaux producteurs de seigle sont l'Union européenne, la Russie, le Belarus et l'Ukraine, qui produisent respectivement 53, 25, 9 et 5 % de la production mondiale. Le Canada produit environ 2% de la production mondiale de grain de seigle, alors que les États-Unis en produisent approximativement 1%. Environ 50 % de la production canadienne de seigle est exportée, principalement sous forme de grain et de produits à base de seigle, ces derniers en quantités très négligeables.

I.4. Utilisation du seigle

On utilise en moyenne 30% du seigle pour le marché des aliments du bétail, 7,5% pour l'industrie du brassage et du maltage, 5% pour la fabrication du pain et de produits alimentaires pour le petit déjeuner et 5% pour les semences :

- **Alimentation humaine** : le seigle (*Secale céréale*) contient des prolamines (l'agliadine) et doit en conséquence être exclu du régime sans gluten. La farine de seigle est recherchée pour sa valeur diététique, car Le son du seigle représente l'enveloppe externe qui est une partie importante des grains du seigle, du fait de son intérêt nutritionnel et thérapeutique. L'étude portée sur la composition chimique montre que le son est une source riche en fibres avec un taux estimé à 39%. Ce travail porte sur la recherche de l'effet hypoglycémiant, hypolipidémiant et l'évaluation du pouvoir antioxydant après avoir administré un régime expérimental à base de son de seigle aux rats normaux et d'autres rendus diabétiques par la streptozotocine (STZ) pendant un mois d'expérimentation. Cet effet est également analysé chez les rats normaux et diabétiques soumis à un régime témoin. D'autres paramètres le poids corporel, le poids de fèces et la teneur en protéines totales, ont été évalués. Les résultats ont montré un effet hypoglycémiant net. De même on a noté l'influence du son de seigle (riche en fibres) sur la diminution de la concentration du cholestérol et des triglycérides. L'évaluation du statut antioxydant a montré des teneurs élevées des vitamines E et C et de l'ORAC chez nos lots expérimentaux et une diminution des marqueurs de la peroxydation lipidique et protéique. Le méteil est un mélange de blé et de seigle. (**Soualem Mami, 2015**)
- Le seigle est principalement transformé en farine raffinée ou en farine complète pour la fabrication de divers aliments comme le pain noir, le pain de seigle, le pain croustillant et le pain à pâte acidulée.

- ✓ Le «pain complet» de seigle, confectionné à base d'un pourcentage élevé de farine de seigle, c'est le pain préféré en Europe de l'Est. La farine de seigle utilisée a une forte teneur en cendres (0,8 à 1,6%).
- ✓ Le pain croustillant (Knaeckebrot) est également fabriqué à partir de la farine de seigle entier, éventuellement additionnée de farine de blé, avec ou sans levain.
- ✓ Le Pumpernickel produit typiquement allemand est également produit à partir de 100 % de farine de seigle.
- Le seigle entre dans la fabrication de divers types de biscuits et de craquelins, il est aussi utilisé en tant que céréale du petit-déjeuner ou en tant que barre de muesli.
- Le seigle est aussi consommé sous forme de grains entiers bouillis, il est également utilisé dans la fabrication des boissons comme la bière de seigle et certains whiskies et vodkas.
- **Alimentation animale** : L'utilisation principale du seigle est l'alimentation animale, représentant environ 50% de la production mondiale (**Sapirstein et Bushuk, 2016**). Le seigle est équivalent au blé et peut être fauché avant maturité pour être utilisé entier.
- **Autres utilisation** : La paille est utilisée traditionnellement dans le nord pour couvrir les toits, rempailler les chaises, fabriquer des paillasons. ect.

I.5. Culture du seigle

La culture du seigle est répandue sur tous les continents. Les grands producteurs sont la Russie, la Pologne et l'Allemagne avec plus de 2 millions d'hectares. Le seigle est connu en Algérie depuis longtemps. Néanmoins, comme d'autres espèces telles que le triticale, le cotonnier, le sorgho, le tournesol, la betterave sucrière, il a disparu des systèmes de cultures algériens pour plusieurs raisons. Sa réintroduction peut se faire graduellement pour remplacer le blé dans les zones qui lui sont défavorables, il ne s'agit pas de remplacer le blé par le seigle partout. Le seigle sera une culture complémentaire du blé. Il s'accommode de terres pauvres, de sols légers, il peut être cultivé dans les régions montagneuses. Il est moins exigeant en eau, en éléments minéraux et plus résistant à la verse et aux différentes maladies que le blé. C'est une plante qui valorise mieux le milieu et vu ses exigences pédoclimatiques, elle peut concourir à réduire la pratique de la jachère qui occupe encore environ 3 millions d'hectares. Dans des conditions défavorables au blé, le seigle peut produire jusqu'à 60 q/ha avec une quantité de paille plus importante à cause de sa taille qui peut atteindre 1,8 à 2 m. Il peut être cultivé en association avec le blé (le méteil) et récolté ensemble. Le seigle, comme le triticale, présente une grande gamme de

variétés ; de la plus précoce à la plus tardive, ce qui représente un autre atout pour sa mise en place, car il offre une latitude importante pour ses dates de semis (de septembre à mars). (Mohand; 2015).

Autres avantages écologiques, il ne faut pas oublier que ces deux espèces offrent plusieurs débouchés, farines pour pains, biscuiterie, pains d'épices, aliments de bétail, fabrication d'alcools, et maintiendront la diversité biologique. Etant rustiques, elles requièrent moins d'engrais et de pesticides. (Mohand, 2015).

Le seigle est la plus résistante des cultures céréalières. Il constitue une culture importante dans les régions sujettes au stress provoqué par la basse température et la sécheresse, comme dans les zones semi-arides des prairies canadiennes où la culture du seigle sert à stabiliser l'érosion du sol sur les sols minéraux légers. Le seigle est plus tolérant que d'autres cultures céréalières aux sols acides qui contiennent de hautes concentrations d'aluminium soluble. (McLeod, 2010).

I.6. Morphologie et structure de grain de seigle

Le grain de seigle est plus léger et plus long et élancé que le grain de blé. Il pèse environ 20 mg, et de 4.5 à 10 mm de long, quant à sa largeur, elle varie entre 1.5 et à 3.5mm (Bushuk, 2001). Le grain de seigle comprend les parties suivantes (Figure1)

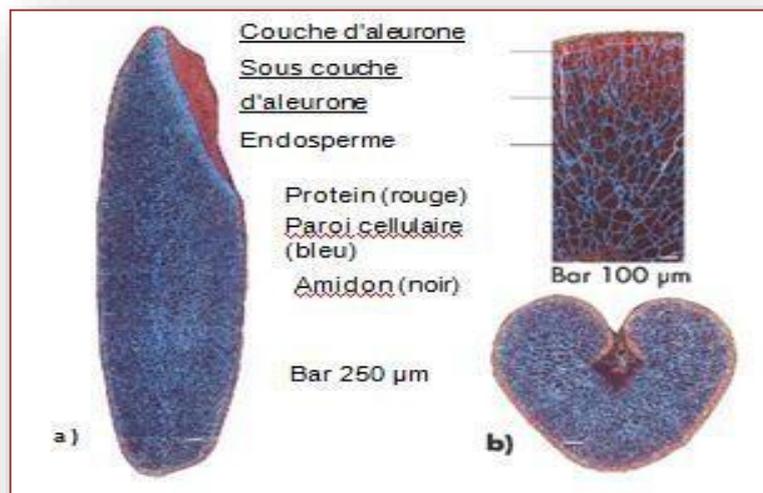


Figure (1) : La microstructure du grain de seigle. (Nyman et al. 1984, Åmanet al. 1997).

I.6.1. L'enveloppe:

Les enveloppes représentent 10 à 15 % du grain .Le tégument du fruit (péricarpe), comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.

- Le tégument de la graine, comprend le tégument séminal (testa) et la bande hyaline.
- La couche à aleurone qui se caractérise par sa teneur élevée en protéines.

Cette carapace externe du grain, riche en éléments nutritionnels, n'est que faiblement incorporée aux farines blanches : elle forme le « son ».

I.6.2. L'endosperme:

L'endosperme (80 à 85% du grain) se présente sous forme de cellules contenant des granules d'amidon autour desquels apparaissent des matrices protéiques. C'est la fraction qui sera réduite en farine.

I.6.3. Le Germe:

Le germe représente 2 à 3% du grain, comprend l'embryon et constitue une source très importante de protéines, de vitamines et de lipide (Aman, 1997, Bushuk, 2001, Jeantet et al, 2007).

I.7. Avantages nutritionnels et diététiques des aliments à base de seigle :

L'utilisation de farine de grains entiers en alimentation est recommandée pour toutes les céréales, y compris le seigle, en raison de leur richesse en fibres, vitamines, minéraux et composés phytochimiques bioactifs (Liu, 2007; Nyströmet al., 2008). La teneur élevée en fibres des aliments à base de seigle constitue un avantage nutritionnel par rapport au blé. En effet, le seigle contient souvent deux fois plus de pentosanes que le blé (Sapirstein et Bushuk, 2016). Grâce à l'avantage nutritionnel de ces substances bioactives les pains de seigle présentent un faible indice glycémique. Les effets positifs des fibres du seigle sont nombreux : elles diminuent le taux de cholestérol en réduisant l'absorption des matières grasses (il se marie donc parfaitement avec les sauces des plats algériens) et en aidant à la réabsorption de l'acide biliaire, dérivé du cholestérol dans le foie. L'acide biliaire joue un rôle important dans la digestion et l'absorption des graisses. En clair, elles facilitent notre transit. Le pain noir est aussi riche en amidon, en protéines végétales, en vitamines de la famille B et E, en calcium, magnésium et en phosphore.

Généralement consommé en grain entier, le seigle est une bonne source de fibres diététiques, de composés phénoliques, de vitamines, d'oligoéléments et de minéraux.

Les résultats de recherches confirment l'importance du seigle dans une alimentation saine, et son potentiel pour développer des produits originaux (**Soualem Mami, 2015**)

En Finlande, le seigle contribue d'environ 40% dans les besoins journalier en fibres. La consommation des produits à base de seigle réduit les risques du cancer de prostate, de colon et de sein, diminuent les problèmes d'obésité et les maladies cardio-vasculaires (**Korpela, et al., 1992 ; Landström, et al., 1998**).

Les recherches indiquent aussi que le pain de seigle a des effets physiologiques bénéfiques comparé au pain blanc de blé. Le pain de seigle améliore la sécrétion d'insuline et réduit les risques de diabète de type 2 (**Soualem Mami, 2015**)

I.8. Composition chimique du grain de seigle

La composition du grain de seigle est proche à celle du blé (tableau 1). Comparativement au blé, le seigle contient moins d'amidon et de protéines brutes mais plus de fibres alimentaires, la teneur en fibre du grain de seigle est la plus élevée parmi toutes les céréales.

Les fibres de seigle sont composées d'arabinoxylane, de β -glucane, cellulose, fructane, et lignine (**Åmanet al, 2010**), et sont localisés principalement dans les couches extérieures du grain, surtout dans les enveloppes.

Tableau 1: Composition chimique du grain de seigle (% MS).

| Composants | Seigle |
|-----------------------------------|---------------|
| Cendres | 2 |
| Matière grasse | 2-3 |
| Protéines | 10-15 |
| Amidon | 55-65 |
| Fibres alimentaires | 19-22 |
| Arabinoxylanes | 8-10 |
| β-Glucane | 2-3 |
| Cellulose | 1-3 |
| Lignine | 1-2 |
| Fructane | 4-6 |

(**Nyman et al, 1984**)

I.8.1 L'amidon

Principal constituant de l'albumen des grains de céréales, ce polysaccharide de réserve est un mélange de deux polymères de D- glucopyranose :

- l'un de structure linéaire, avec des liaisons de type α - (1,4) : l'amylose.
- l'autre de structure branchée, avec de liaisons α - (1,4) et 5 à 6 % de liaisons α - (1,6) à l'origine des ramifications : l'amylopectine.

La proportion d'amylose est de l'ordre de 25- 30 % et celle d'amylopectine de 70- 75 % dans les géotypes « normaux » des céréales. (**Hemeryet *al.*, 2009**).

La teneur en amylose varie de 20 à 30% dans le grain de seigle est comparable à celle du blé (**Berry *et al.*, 1971**). Les propriétés de l'amidon du seigle sont influencées à la fois par le géotype et les conditions de culture. Dans une étude menée sur 19 variétés de seigle cultivées pendant trois saisons, il a été rapporté que les propriétés de l'amidon et la teneur en fibres du seigle étaient davantage influencées par les conditions de croissance et l'année de récolte que par le géotype. (**Hansen *et al.*, 2004**).

I.8.2 Les protéines

La teneur en protéines du grain de seigle est similaire à celle du blé, bien que dans les deux cas, il existe des variations considérables (par exemple 8-15%) dépendant principalement des conditions de culture. Il a été rapporté que les variations de la teneur en protéines du grain étaient davantage influencées par le géotype que par les conditions de croissance (**Hansen *et al.*, 2004**). Le travail de la pâte de seigle est plus difficile que celui la pâte de blé en raison de son caractère collant. Le pain de seigle qui en résulte est moins volumineux, avec une structure de mie plus grossière, mais la saveur particulière du seigle le rend particulièrement attrayant pour de nombreux consommateurs. La farine de seigle est souvent mélangée à la farine de blé lors de la panification, limitant ainsi les insuffisances du seigle en matière de machinabilité de la pâte, tout en conservant les avantages uniques du goût et l'arôme du seigle (**Seibel et Weipert, 2001**).

Les protéines de gluten monomères du seigle sont appelées sécalines (équivalent aux gliadines de blé) et les protéines de gluten polymères sont appelés glutéline (équivalent aux gluténines de blé). (**Alonso-Blanco *et al.*, 1993; Tatham et Shewry, 1995; Shewry et Bechtel, 2001**).

Le gluten de seigle est toxique pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque (**Wieser et Koehler, 2008 ; Anderson et Wieser, 2006**).

I.8.3 Les lipides

La teneur en lipides du grain de seigle varie entre 2 et 3%. Ce sont surtout les lipides de réserve localisés dans la couche à aleurone et dans le germe. Environ 50 % des lipides du seigle sont composés d'acide linoléique (**Kouidri, 1996**).

I.8.4 Les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires du seigle sont composées d'arabinoxylane, de cellulose, de β -glucane, de fructanes et de lignine. La teneur en fibres et la solubilité de l'arabinoxylane sont plus élevées chez le seigle par rapport au blé. L'arabinoxylane est la fibre la plus abondante dans le seigle (6-12% du poids du grain sec) (**Glitsøet al., 1999**). L'arabinoxylane et le β -glucane soluble sont responsables des propriétés visqueuses des fibres alimentaires solubles chez le seigle ce qui contribue aux propriétés fonctionnelles du seigle.

Les fibres alimentaires solubles et les fructanes constituent les substrats les plus facilement fermentables par la micro biote du gros intestin, ce qui peut avoir une influence bénéfique sur la santé intestinale (**Dahl et al., 2017**). La fraction insoluble de fibres alimentaires dans le seigle influe sur la durée du transit fécal et intestinal, ce qui peut à son tour réduire les risques et les symptômes de la constipation (**EFSA, 2011**) et peut contribuer à la diminution du risque de cancer colorectal (**WCRF et AICR, 2017**).

I.8.5 Composés bioactifs

Dans les céréales, la majorité des composés phytochimiques se trouvent dans le son, et en particulier dans les cellules d'aleurone (**Bach Knudsen et al., 2017**). Les acides phénoliques, les lignanes, les benzoxazinoïdes et les alkylrésorcinols sont des composés bioactifs présents dans le seigle (**Koistinen et Hanhineva, 2017**). La liste des substances phytochimiques présentes dans le seigle est en constante augmentation et compte actuellement plus de 2000 espèces chimiques (**Goumidi et Mahdad, 2019**).

- Les benzoxazinoïdes font partie du tissu végétatif vert d'espèces de céréales comme le maïs, le blé et le seigle, leur structure, leur biosynthèse et leurs activités biologiques ont été étudiées (**Hashimoto et Shudo, 1996 ; Niemeyer 2009**). Cependant peu d'études sur la teneur de benzoxazinoïdes dans le seigle ont été rapportées. La teneur de benzoxazinoïdes dans le grain de seigle est environ 5 mg / 100 g.

- Les alkylrésorcinols sont des acides phénoliques (des molécules que les plantes produisent afin de se protéger contre les bactéries et les champignons) présents en grande quantité dans la couche externe du blé et du seigle, ils sont des antioxydants et ont des activités anticancéreuses (**Ross et Kamal-Eldin,2003**).
- Les acides phénoliques extraits du son de seigle agissent de façon synergique pour contribuer aux effets antioxydants du seigle.

I.8.6 Minéraux, vitamines et facteurs antinutritionnels

Les cellules d'aleurone entourant l'endosperme du grain de seigle sont riches en acide phytique, présent dans des granules de phytine sous forme de sels de potassium et de magnésium. Son activité anti-nutritionnelle est basée sur sa capacité de former des sels très insolubles avec d'importants éléments minéraux, en particulier le calcium, le fer, le zinc et le magnésium. La phytase hydrolyse le phytate pour former de l'inositol et phosphate, libérant ainsi le cation complexé. D'autre part, les tissus extérieurs du grain de seigle constituent une riche source de vitamines et de minéraux. (**Shewry et Bechtel, 2001**).

I.9. Caractère botaniques

a) Appareil racinaire

Il est comparable à celui du blé, un peu plus chevelu et développé, ce qui lui permet comme à l'avoine de tirer parti de terres médiocres.

b) Tige et feuilles

La tige est très longue (60 à 200cm), et très souple, solide, ce qui explique l'emploi de la paille de seigle encore verte pour la confection de liens de gerbes, des paillons pour envelopper les plantes chez les pépiniéristes. Les feuilles sont très étroites et pointues.

c) L'épi

Comme chez l'orge, les épillets n'ont pas de pédoncule et se recouvrent très étroitement les uns les autres, étant tous attaché directement sur le rachis, un seul par dent de celui-ci. Les glumes sont allongées et aiguës à leur sommet, les glumelles ciliée sur le dos se prolongeant par une longue arête; il y a deux fleurs par épillet.

I.10. Cycle de développement

Le cycle du seigle est comparable à celui du blé, mais plus court, c'est à dire que, en situation équivalente, la moisson du seigle a lieu avant celle du blé. La résistance du

seigle au froid est très supérieur à celle du blé, ce qui permet de supporter les durs hivers de la montagne. (**Prats et Clément,1970**).

I.11. Exigences

Elles sont mal connues dans notre pays. Ce qui résulte du fait que l'on cultive le seigle là où le blé et les céréales secondaires de printemps viennent mal, sans se préoccuper de soigner la croissance du seigle ; ceci permet d'affirmer que ces exigences sont limitées, tant du point de vue richesse du sol que du point de vue climatique.

On admet que le seigle demande à recevoir (**Prats et Clément, 1970**) :

- 20à40 unités d'azote
- 70à 80 unités d'acide phosphorique
- 70à80 unités de potasse.

I.12. Variétés

a) Critères du choix

La productivité et la résistance à la verse sont les deux critères de choix les plus importants.

La valeur de panification constitue un important critère dans les pays où le seigle est largement utilisé dans l'alimentation humaine, en Suède en particulier où les problèmes de qualité font l'objet d'études précises.

Des seigles à grains clairs ont été sélectionnés en Allemagne et aux USA, mais le maintien de ces variétés avec une pureté satisfaisante est difficile.

b) Variétés

Outre les seigles de pays peu productifs et dont la culture ne saurait être que déconseillée, nous disposons de (**Prats et Clément, 1970**) : Petkus normal: convenant bien aux terres très légères.

- Petkus à paille courte: préférable en terres plus riches, compte tenu de l'amélioration des techniques.
- Zelder se montre un peu plus productif que Petkus court , de même résistance à la verse bien qu'un peu plus haut.

- Dominant est une nouveauté, également plus productif que Petkus court, mais de résistance à la verse un peu moindre.
- Everest et Tétraseigle sont des variétés polyploïdes d'hiver de productivité comparable à Petkus court, de résistance à la verse un peu supérieure quoiqu'ils soient plus grands. Les caractéristiques agronomiques de ces variétés sont très proches, semble-t-il.
- Samro-Petkus est une variété diploïde de printemps, son rendement est comparable à celui de Petkus court, sa résistance à la verse un peu supérieure, sa hauteur moins grande.
- Pzipo est une variété polypoïde de printemps, son rendement est comparable à celui de Petkus court, sa taille identique, mais sa résistance à la verse un peu supérieure.

Le cycle végétatif des variétés de printemps est comparable à celui de l'orge. Le seigle est intéressant en particulier par sa résistance au froid ; il reste à déterminer si au printemps il est plus intéressant de cultiver du seigle plutôt qu'une céréale secondaire.

I.13. Prédateurs, parasites et maladies

I.13.1. Les prédateurs

Ils peuvent avoir une action très nette sur le seigle pendant la période hivernale, en particulier les rongeurs, qui restent actifs en montagne sous la couche protectrice de neige, peuvent faire des ravages considérables qu'on ne découvre que trop tard, à la fonte des neiges.

I.13.2. Les parasites

Ils sont relativement peu à craindre, car le seigle reprend son activité avant l'entrée en jeu des vers blancs et taupins, rares dans les terres de montagne et profondément enterrés jusqu'à fin mars ailleurs.

I.13.3. Les maladies cryptogamiques

- Le fusarium nivale peut occasionner de graves dégâts sur le seigle à la suite d'une couverture prolongée de la culture par la neige.
- Les septorioses (*Septoriatritici*) s'attaque parfois au seigle, dans les mêmes conditions qu'au blé. *Septorianodorum* peut également s'attaquer au seigle.
- L'oïdium des graminées peut attaquer occasionnellement le seigle.

- Les attaques du piétin sont exceptionnelles sur le seigle.
- Les rouilles : la rouille jaune et la rouille noire (*Puccinia graminissecalis*) peuvent s'attaquer au seigle.
- Le Marsonia ou *Rhynchosporiumsecalis* se développe au cours des printemps humides et frais, mais cesse de croître dès qu'il fait chaud. Les dégâts sont peu importants.
- L'ergot du seigle (*Claviceps purpurea*) est la maladie la plus connue et la plus dangereuse du seigle. Elle est parfois provoquée artificiellement par l'homme dans des champs isolés dans une clairière de forêts, pour produire des ergots très recherchés en pharmacologie. On peut récolter jusqu'à 280 kg d'ergot pour un hectare (**Parts et Clément, 1970**).



Chapitre II : Le blé tendre

II.1. Généralités sur le blé tendre

II.1.1. Définition

Le blé est une plante annuelle aux racines fibreuses à tiges hautes et généralement creuses, portant des nœuds d'où partent des feuilles, des sommets de la tige portent une grappe des fleurs qui se transforme en grains (**Delachaux, 1983**). Le grain de blé mesure de 4.8 mm à 9.5 mm de long, 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 (**Paul, 1984**).

II.1.2. Histologie du grain de blé tendre

Le grain de blé est de forme ovoïde plus ou moins allongée, son examen révèle:

- Une face dorsale plus ou moins bombée.
- Une face ventrale, comportant un sillon profond.
- à sa partie supérieure, de courts poils forment la brosse.
- à sa partie inférieure, le germe est visible sur la face dorsale.

La couleur des blés varie du roux au blanc, en rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture, et le climat (**Calvel, 1984**). Un grain de blé est formé de trois régions (**Debiton, 2010**) :

- Les enveloppes.
- L'endosperme ou albumen.
- Le germe.

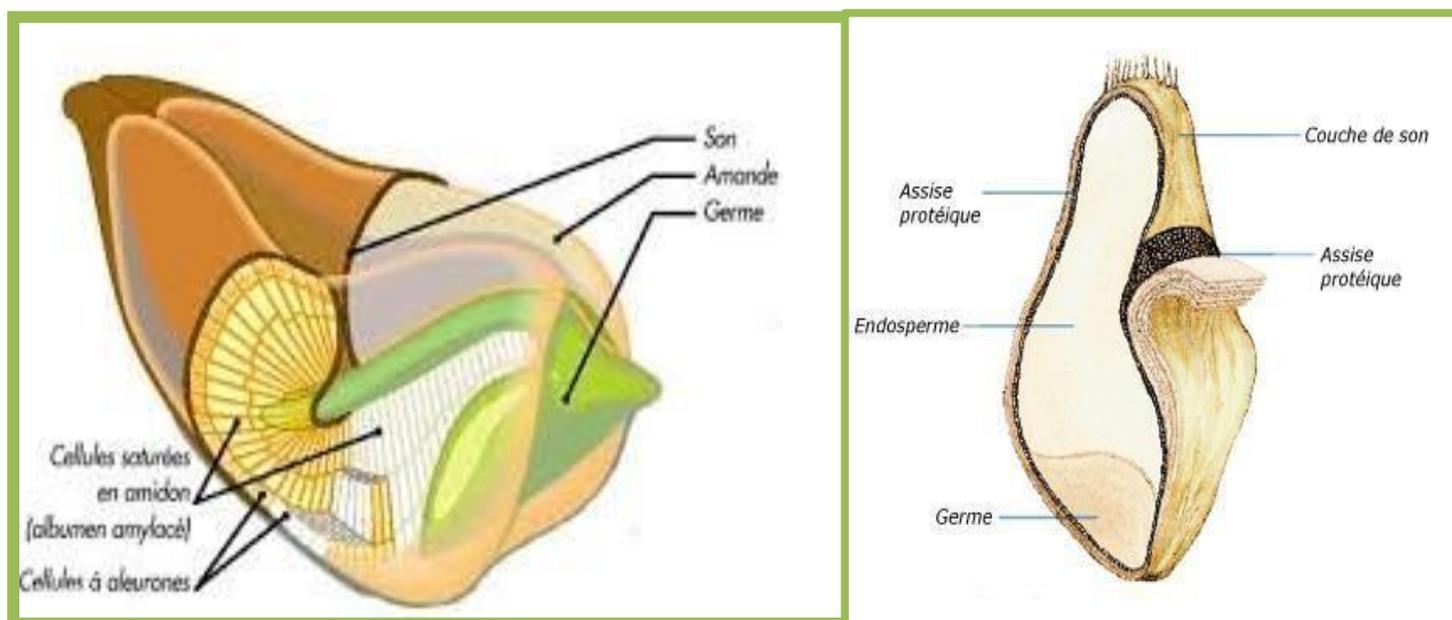


Figure 2: Histologie de la graine de blé tendre (**Messid et Radja, 2016**).

II.1.3. Taxonomie

Le blé tendre est une monocotylédone qui appartient au genre tritium de la famille graminée appelé (*Triticumaestivum*). La classification botanique du blé tendre est présentée dans le tableau 2:

Tableau 2 : Classification botanique du blé tendre.

| Famille | Graminée |
|---------------------|-----------------|
| Sous-famille | Festoiement |
| Tribu | Trichineuse |
| Sous-tribu | Trichineuse |
| Genre | Triticum |
| Non commun (espèce) | Tritiumaestivum |

(Paul, 1984).

II.1.4. Composition chimique du grain de blé tendre

Le grain de blé mur contient de nombreuses substances telles que : les glucides, les lipides, sels minéraux, les vitamines, les enzymes et d'autres substances susceptibles de jouer un rôle dans l'alimentation humaine (Cheriet, 2000). La composition chimique des différentes parties d'un grain de blé, dépend d'un certain nombre de facteurs tels que : le climat, la variété de blé la nature du sol, les amendements et les technique culturales (Selselet, 1991).

II.1.4.1. L'eau

L'eau est un constituant instable et son taux susceptible de varier dans le temps, par suite des échanges avec l'atmosphère, ou entre les particules constituant le produit (I.T .C.F, 1995).

Un taux d'humidité inférieur à 14 % prolonge la durée de conservation sans risque d'altération par les micro-organismes (Bouleghe ; Ouabed, 2002).

II.1.4.2. Les Glucides

Les glucides son pondéralement, les constituant majeurs du grain de blé. Ils représentent environ 80% de la matière sèche totale répartie en polysaccharides (Amidon 65 à 75 %). (Godon; et Guinet, 1994).

L'amidon constitue 70 % du grain, il se présente sous forme de poudre blanche, il est composé de deux molécules ; l'amylobacter A1 et l'amylose A2 dont le rapport (A1/A2) est d'environ 41. L'amidon est hydrolysé par les enzymes (α et β amylase). Le α -amylase est un endos amylase qui se lie à la région interne des chaînes d'amidon de

longueurs différentes. La β amylase (c'est la plus importante des diastases du grain) et la glu-amylose sont des exo amyloses qui hydrolysent successivement ou alternativement les liaisons glucidiques en bout de chaîne d'amidon pour libérer respectivement le glucose et le maltose. (**Bouleghie; Ouabed, 2002**).

Les glucides jouent un rôle :

- Ils constituent une très grande source d'aliments hydrocarbonés ainsi comme aliments de base pour la levure au cours de la fermentation.
- Ils interviennent dans les caramélisations (formation des couleurs, odeurs et la saveur des produits cuits), formation des mélanoides et acides aminés+ glucide en donnant la croûte de pain. (**Godon; et Guinet , 1994**).

Ils se lient, non seulement aux protéines ; mais aussi à des lipides (Glycoliques) et les grandes molécules ainsi créées sont fixatrices d'eau. Les pentoses solubles et insolubles, n'ont pas exactement les mêmes effets, les premiers ont un effet positif en panification et les autres ont un effet inverse (**Bouleghie ; Ouabed, 2002**).

II.1.4.3. Les protéines

Le blé a généralement une teneur en protéines de l'ordre de 11 à 14 %, une partie de ces protéines se présente sous forme de gluten (**FAO, 1990**). Les albumines et les globulines sont des protéines cytoplasmiques souvent regroupées (**Sauvant, 1979**).

Il existe 4 groupes protéiques chez le blé se distinguant par leur solubilité dans divers milieux d'extraction sous l'appellation des protéines solubles et insolubles. Les gliadines et gluténines sont des protéines de réserve ce sont les fractions les plus importants quantitativement (**Tableau 3**) et qualitativement du point de vue technologique.

Tableau 3 : Les fractions protéiques du blé.

| Fraction protéiques | Solvants | Composition en % |
|---------------------|--|------------------|
| Albumines | Eau | 9 |
| Globulines | Na Cl 0.5 M | 8 |
| Gliadines | Ethanol à 70 % | 43 |
| Gluténines | Insoluble dans les solvants précédents | 40 |

(**Sauvant, 1979**).

II.1.4.4. Les lipides

Les lipides représentent 3 % du poids sec du grain du blé (**D'acosta, 1986**), leur teneur et leur composition varient de façon notable. Le germe est la partie du blé qui contient plus de lipides (**Godon; et Guinet, 1994**).

II.1.4.5. Autres constituants

Le grain de blé renferme également les constituants suivants :

- Les enzymes telles que : les α et β amylase, des protéases ainsi que des lipases, des lymphoblastes et des éléments minéraux divers (**Chardouh, 1999**). Cependant, environ 95 % de sels minéraux des céréales sont à la base du phosphore et du potassium (**Tableau 4**).
- Les vitamines de groupe B (B1 et B 2) et l'acide nicotinique (**Chardouh, 1999**).

Tableau (4).Composition minérale du blé.

| Matière minérale | g/100 g de M.S |
|------------------|----------------|
| Potassium | 0.45 |
| Phosphore | 0.43 |
| Magnésium | 0.18 |
| Calcium | 0.04 |

(**Chardouh, 1999**).

II.1.5. Les conditions de culture

Le blé est une plante qui se développe bien dans une terre argileuse. La topographie du terrain doit être dégagée et légèrement onduleuse afin de fournir un drainage adéquat et faciliter l'utilisation de machines agricoles. La préparation du sol est importante, dont la terre doit être nettoyée des mauvaises herbes, labourée afin de l'ameublir, de l'aérer et d'enfouir les éléments de surface et enfin enrichie au moyen d'engrais.

Pour l'emblavage, le choix des semis à planter ainsi que la date à laquelle ils seront mis en terre revêtent une grande importance. Les recherches scientifiques sur le génome du blé, entre autres, ont permis la mise au point de variétés adaptées au besoin du marché en fonction de leur utilisation future et résistantes à certains virus. Pour le blé d'hiver par exemple, semer trop tôt risquerait d'entraîner un levage précoce du blé qui pourrait conduire à l'interruption de sa croissance du fait des gelées. Pour

un bon développement du blé, la température est un facteur important. Elle doit être comprise entre - 6°C et +20°C.

L'idéal étant un temps chaud avant la croissance et des conditions d'ensoleillement au cours des étapes ultimes. Les précipitations peuvent varier entre 300 millimètres et 1000 millimètres par an, répartis de manière à fournir beaucoup d'eau à la plante durant sa période de croissance et de fines pluies vers la fin de manière à faire gonfler les grains (**Debiton,2010**).

II.1.6. L'utilisation du blé tendre

La majorité des utilisations du blé tendre concerne l'alimentation humaine et animale.

Dans l'alimentation humaine, le blé dur est destiné à la biscuiterie, la fabrication de semoule, ou de pâtes. Le blé tendre quant à lui est utilisé principalement en meunerie pour obtenir de la farine nécessaire à la production de pain, de viennoiseries ou de pâtisseries.

Outre ces utilisations classiques du blé, de nouvelles utilisations à l'échelle industrielle apparaissent depuis quelques années telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon.

Les principaux débouchés sont les sacs plastiques, les plastiques agricoles, les emballages et certains produits d'hygiène. Ces bioplastiques ont l'avantage par rapport à leurs homologues d'origine fossile d'être biodégradables et renouvelables.

L'amidonnerie, troisième secteur valorisant le blé en France, utilise l'amidon pour faire des épaississants alimentaires. Par l'intermédiaire de la chimie, l'amidon a de multiples usages. Par exemple dans l'industrie pharmaceutique, il est utilisé en tant que dragéfiant, liant ou encore principe actif tel que le sorbitol. Dans de moindres proportions, l'amidon transformé peut être employé dans la fabrication de papier, de carton mais aussi de détergents. L'amidon du blé tendre est également utilisé depuis plusieurs années comme matière première pour la fabrication de biocarburants (**Debiton, 2010**).

II.2. Processus de transformation de blé tendre

II.2.1. Réception de la matière première

La réception de la matière première est contrôlée quantitativement par un pont bascule camions. Les blés sont déversés sur les grilles des trémies permettent de récupérer les grandes déchets (cailloux, débris de bois, pigeon morts...etc.) des

transporteurs à chaînes précipitent le blé vers un élévateur à godets le transporte verticalement ; qui l'amènent vers le séparateur des céréales.

II.2.2. Le nettoyage

On entend par nettoyage proprement dite, le passage du blé sur des équipements appropriés, permettant de débarrasser les blés de tous les déchets laissés passés par l'opération de prés nettoyage. Chaque équipement est conçu pour répondre à une tâche précise. La séparation prévoit les caractéristiques de bases suivantes (**Mauzé, Scotti, 1968**) :

- La taille ou la dimension des particules.
- La forme des particules.
- La densité.
- Les propriétés aérodynamiques.
- Les propriétés dynamiques.
- La friction.

II.2.3. La mouture

Cette opération est prise en charge par des appareils à cylindres lisses ou cannelés.

II.2.3.1. Le broyage

Cette opération est réalisée par des appareils à cylindres cannelés, c'est-à-dire pourvus des petites arrêtes qui augmentent au fur et à mesure qu'on progresse dans les broyages dans un but de fragmenter le grain de blé progressivement sur la série des broyeurs.

II.2.3.2. Le convertissage et le claquage

C'est une opération qui consiste à réduire les produits provenant des plansichters ou des sasseurs. Les convertisseurs et les claqueurs sont généralement appareils à cylindres lisses.

II.2.4. Le blutage

Le blutage est la première séparation du son de la farine ou de la semoule ; il se pratique dans des appareils de tamisage appelés plansichters, constitués par des empilages successifs de tamis. Animés d'un mouvement uniforme de rotation. Chaque passage d'appareils à cylindres est suivi par le blutage du son produit.

II.2.5. Le sassage

Le sassage est une seconde opération de tamisage et de séparation des produits selon leur densité. Le sasseur doit séparer les particules de son et classer les semoules et les gruaux provenant des plansichters de façon à obtenir un produit propre à faible teneurs en cendres.

Les sasseurs sont en nombre de deux sasseurs pour la minoterie, pour la production de la farine supérieure.

II.2.6. Le curage de son

Cette opération est réalisée par des brosse à son (appelées aussi machines à nettoyer le son), dont le rôle est de séparer les particules de farine qui adhèrent encore aux parties d'enveloppe (son). De cette manière, on peut récupérer une farine foncée qui présente encore une qualité boulangère et extraire un son qui contient une faible teneur en farine. Les brosse sont en nombre de six pour la minoterie.

II.2.7. Détacheurs

On trouve deux types de détacheurs, à tambours et à percussion.

Lors de la mouture par des cylindres lisses des plaquettes de farines se forment. Ces plaquettes seront refusées sur les tamis à farine des plansichters et provoquent le cumul des plaquettes dans les passages de queue de mouture, tous en enrichissant les produits de queue de mouture au détriment du rendement, elles produisent une charge inutile de ces passages.

Les détachements ont comme fonction de désagréger ces plaquettes de farine sans que les particules de son ou de germes soient réduits. Ils sont en nombre de onze pour la minoterie.

II.2.8. Le blutage de sureté

Toute la farine produite passe par un petit plansichter de sureté qui permet :

- D'éliminer tous les particules métalliques peuvent être libérées des équipements au cours de la mouture.
- Récupérer certaines grosses particules de produit en cas d'usure des tamis à farine.
- Un contrôle (tamisage) final de la farine produite.

II.2.9. Collecte des farines

Les différents farines extraites des différents passages des plansichters sont ramassées dans deux vis de mélanges ; une pour la farine courante et l'autre pour la farine supérieure.



Chapitre III :
La panification

III.1. Définition

III.1.1. Panification

Ensemble des opérations consistant à transformer la farine en pain.

III.1.2. Le pain

Le mot pain est défini comme un aliment fait d'une pâte composée essentiellement de farine, d'eau, de sel et de levure de boulanger (ou de levain), pétrie et fermentée puis cuite au four. (Cavel, 1984).

III.1.3. Le pain au seigle

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

III.1.4. Pain de seigle

Il doit contenir au moins 65 % de farine de seigle

III.2. Historique de panification

Selon la légende, le pain est né en Égypte. Un morceau de pâte à galette oublié dans un endroit chaud, par une femme étourdie, naturellement, aurait fermenté au contact des microorganismes de l'atmosphère.

De véritables manufactures à pain vont se mettre en place. Les ouvriers effectuent un travail souvent très élaboré. Pour le peuple, la fabrication du pain représente une activité domestique réservée aux femmes. Elles pétrissent le pain avec les pieds en y incorporant un morceau de pâte conservé de la veille. Elles façonnent de petites miches auxquelles elles donnent une forme conique.

Au VIII^{ème} siècle avant Jésus-Christ, les fours en briques sont dotés d'une porte centrale qui facilite le chauffage et l'enfournement. Les boulangeries du pharaon sont de véritables usines, appliquant la division du travail. Elles produisent au moins une quinzaine de pains de formes différentes.

A Sparte, la base des menus était constituée par une bouillie d'orge. Vers 900 avant Jésus-Christ, les Grecs rapportent d'Égypte la panification. Au début ils fabriquent une pâte d'orge non fermentée, la maza, destinée aux pauvres. Le pain au levain, considéré comme une gourmandise est destinée aux personnages importants. Dès le V^{ème} siècle avant Jésus-Christ, Athènes compte de nombreuses boulangeries. L'essentiel du travail de pétrissage est fait par des esclaves. La fabrication domestique est réservée aux femmes.

Les Grecs inventeront de véritables fours préchauffés de l'intérieur et s'ouvrant de face. Ils inventèrent aussi les premières levures.

Ils réalisaient une pâte lors des vendanges, à base de moût de raisin et de houblon qu'ils stockaient pendant des mois dans des amphores. Il suffisait de prélever un morceau de ce levain séché pour obtenir une pâte fermentée. Le pain devient un mets très apprécié par les plus riches. Ils se délectent du pain blanc de farine de froment bien tamisée. Les pauvres achètent des pains d'orge ou de seigle. Au Ve siècle avant Jésus-Christ, les boulangers grecs produisent 72 variétés de pain et de gâteaux en diversifiant la composition et les formes. Dans de nombreuses cités, les boulangers ajoutent de l'hydromel, des figues, du vin. Les boulangers améliorent la technique de la cuisson en fabriquant de véritables fours hémisphériques construits en briques réfractaires avec des murs épais qui conservent la chaleur.

III .3. Rôle des ingrédients

III.3.1. Farine

La farine est l'ingrédient majeur de la pâte, elle est responsable de la structure finale du produit. Son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte à retenir le gaz permettant ainsi son expansion lors de la cuisson. La farine est un composé complexe comportant différents constituants (protéines, lipides, glucides...) qui jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte (**Ablett et al, 1986**).

III.3.2. Eau

L'eau est un ingrédient important pour la formation de la pâte. Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire aux constituants de la farine pour la réalisation des réactions chimiques. Au cours du pétrissage, la multiplication des contacts entre les granules d'amidon et l'eau induit la diffusion des molécules d'eau dans les particules de farine, qui se aux différents constituants et favorisent leurs interactions. Une pâte panifiable contient typiquement 0,6 à 0,8 gramme d'eau par gramme de farine sèche, dont approximativement la moitié est de l'eau « non congelable », utilisée par le réseau protéique (**Ablett et al, 1986**). La présence de l'eau est essentielle puisqu'elle intervient à trois niveaux dans le pétrissage:

- L'eau assure la dissolution des composés solubles et est donc essentielle pour assure l'homogénéité et la cohésion de la pâte. Le sel solubilisé dans l'eau crée, par exemple, des liaisons ioniques avec les protéines de la farine, essentielles pour le développement de la pâte (**Roussel et Chiron, 2002**).

- L'eau détermine en grande partie les propriétés rhéologiques de la pâte (cohésion, consistance, viscoélasticité...) : l'énergie nécessaire à la déformation de la pâte diminue exponentiellement avec l'augmentation de la teneur en eau du mélange elle joue le rôle de plastifiant : sa faible masse moléculaire favorise la mobilité des macromolécules (protéines...) par augmentation du volume libre et diminution de la viscosité.
- L'eau influence, enfin, indirectement la rétention gazeuse : une pâte à teneur en eau totale inférieure à 35 % n'est pas capable de retenir les bulles gazeuses introduites en cours de pétrissage. Cette capacité de rétention gazeuse augmente ensuite linéairement avec la teneur en eau de la pâte jusqu'à 44%, teneur en eau classique d'une pâte à pain (**Mac Ritchie, 1976**).

III.3.3. Sel

Le sel alimentaire (Na Cl) est présent dans la plupart des produits de boulangerie à raison de 2 % du poids de la farine en moyenne. Il est commercialisé sous forme de petits cristaux (dimension moyenne $\leq 800 \mu\text{m}$) d'un blanc pur, obtenus par recristallisation après évaporation sous vide à haute température. C'est un exhausteur de goût, et parallèlement on considère qu'il diminue les arrière-goûts (**Roussel et Chiron, 2002**). Le sel améliore la saveur du produit et ralentit l'activité de la levure par inhibition des activités enzymatiques. Il a aussi tendance à limiter la disponibilité de l'eau et donc améliore l'aptitude à la conservation. Comme indiqué précédemment, le sel solubilisé dans l'eau crée des liaisons ioniques avec les protéines de la farine en améliorant la capacité d'absorption d'eau. Le sel favorise également la coloration de la croûte, qui reste pâle en son absence.

III.3.4. Levures

La levure de boulangerie est un agent de fermentation de l'espèce « *Saccharomyces Cerevisiae* », qui appartient à la famille des champignons. Son rôle majeur est de transformer les sucres fermentescibles (glucose, fructose, saccharose et maltose) en dioxyde de carbone et en éthanol, induisant aussi la production de composés aromatiques (**Giannou et al, 2003**).

L'action de la levure dépend largement des conditions environnantes (température, pH, teneur en eau...). Par exemple, dans une plage de température entre 20 et 40 °C, une élévation de la température de la pâte d'un degré Celsius entraîne une augmentation de la vitesse de fermentation de 8 à 12% selon le type de levure.

III.3.5. Améliorants

Ils sont utilisés dans les produits issus de panification afin de corriger les défauts de certaines farines, rendre plus constantes la qualité de celles-ci ou encore faciliter certains types de panification. Ils peuvent être d'origine naturelle ou de synthèse. Toutefois, leur utilisation est réglementée en termes de dose et d'étiquetage. Ils sont classés selon leur rôle technologique: adjuvants (gluten, malt, levure désactivée, farine de fève), additifs (acide ascorbique) et auxiliaires technologiques (enzymes). Par exemple, un améliorant peut aider la pâte à lever (activation de la fermentation), assouplir la pâte, augmenter sa force, lui donner une meilleure couleur, ou lutter contre les problèmes bactériologiques. Les améliorants les plus utilisés sont classés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Exemples de produits de substitution utilisés en panification (Roussel et Chiron, 2002).

| Catégorie | Exemples | Rôle |
|---|--------------------------------|---|
| Produits d'oxydation et de réduction | Acide ascorbique | Augmente l'élasticité et diminue l'extensibilité de la pâte, améliore-la machinabilité et la tenue des pâtons |
| | Glucose oxydase | Augmente la consistance de la pâte et diminue le collant |
| | Levure désactivée (glutathion) | Augmente-le développement du gluten et l'extensibilité de la pâte |
| | Farine de fève et de soja | Action sur les réactions de coloration de la croûte et de la mie |
| Emulsifiants | Lécithines, E322 | Diminue de la porosité de la pâte |
| | Mono glycéride saturé, E471 | Augmente la régularité Alvéolaire |

| | | |
|--|---|---|
| | Esters didactyle-tartriques de mono glycérides, E47 | Augmente le volume des Pains |
| Produits enzymatiques D'hydrolyse | Farine de malt | Augmente l'activité fermentaire et la vitesse des réactions de coloration |
| | Hémicelluloses | Augmente le volume des pains et la coloration de la croûte |
| | Lipases | Augmente le volume des pains et la régularité alvéolaire |
| Conservateurs | Acide sorbique et sorbates | Augmente la durée de Conservation |
| | Acide acétique et acétates | Effet antimicrobien et Propriétés organoleptiques |
| Gluten de blé | Gliadine, glutenines | Augmente la rétention gazeuse, la fixation d'eau et diminue-le rassissement du pain |

III.4. Etapes du procédé de panification

III.4.1. 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.

D'après (Giannou et al, 2003), le pétrissage doit être rapide, homogène et à température contrôlée, on obtient ainsi une pâte avec des bulles de gaz dont le diamètre est

compris entre 1 et 10 mm. Le nombre et la taille des bulles de gaz ont un effet significatif sur les caractéristiques finales du produit.

Toutefois, un pétrissage long peut augmenter l'oxydation des groupements thiols (-SH) des protéines dépolymérisées (**Demiralp et al, 2000**). Il en résulte habituellement une pâte collante en raison des forces mécaniques appliquées à la pâte qui diminuent le poids moléculaire des protéines (**Autio et Laurikainen, 1997**).

L'étape de pétrissage assure trois fonctions intimement liées, essentielles pour l'obtention d'une pâte bien aérée :

- **Le mélange des différents ingrédients en une pâte homogène**

L'eau réalise les réactions enzymatiques permettant la transformation de l'amidon de la farine en sucres composés (maltose) et simples (glucose). Le pétrissage permet de répartir d'une manière homogène les constituants, favorisant ainsi leur contact, notamment celui de la farine avec l'eau, et donc leur hydratation. Le diagramme de pétrissage conventionnel en panification française (vitesse lente de 40 tr/min pendant 12 à 15 min) permet d'obtenir une masse macroscopiquement homogène à une échelle millimétrique (**Roussel et Chiron, 2002**).

- **Le développement du réseau glutineux**

L'eau intervient aussi dans l'agglutinement, l'assouplissement et l'allongement de certaines des protéines contenues dans la farine et insolubles dans l'eau. Il s'agit des gliadines et des gluténines qui forment une matière plus ou moins molle et élastique : le gluten. Suffisamment hydraté, le gluten donne à la pâte son imperméabilité et ses propriétés rhéologiques. Le mouvement des bras du pétrin permet simultanément l'homogénéisation et l'incorporation d'air dans la pâte sous forme de nuclei sphériques de petite taille (10 à 100µm) (**Junge et Hosenev, 1981**). Le pétrissage d'une pâte à pain sous vide (densité = 1,25) ou non (densité = 1,15) montre que la fraction gazeuse introduite occupe 8 % du volume total d'une pâte en fin de pétrissage à pression atmosphérique (**Baker et Mize, 1941**). L'indicateur du taux d'aération de la pâte est représenté par le volume relatif. Ce dernier est défini comme le rapport entre les volumes de pâte total et sans gaz. En fin de pétrissage, il serait de l'ordre de 1,1 (**Bloksma, 1990**).

- **Structuration du réseau protéique**

L'étirement du réseau de gluten constitué forme une fibre qui va se renforcer par incorporation et emprisonnement de bulles d'air.

Pendant le pétrissage, l'oxydation des acides aminés soufrés des protéines entraîne la création des ponts disulfures (liaisons covalentes) intra et intermoléculaires. Le premier modèle adopté par la communauté scientifique concernant l'organisation du réseau protéique considérait essentiellement des liaisons intermoléculaires qui entraînent la formation d'un réseau allant d'un bout à l'autre de la pâte. Un second modèle, plus vraisemblable, considère désormais que les ponts disulfures sont intramoléculaires et les chaînes de protéines dépliées (gonflées par absorption d'eau) s'alignent plus ou moins pour former des faisceaux. La tenue du réseau serait donc due à des liaisons non covalentes, telles que les liaisons hydrogènes, hydrophobes, ainsi qu'à des enchevêtrements entre les chaînes (**Ewart, 1977**).

Ces trois actions conjointes aboutissent en fin de pétrissage à un mélange cohésif aux propriétés viscoélastiques, c'est-à-dire possédant des propriétés visqueuses aux temps longs (écoulement) et élastiques aux temps courts (**Bloksma, 1990**). Les caractéristiques de base de la farine utilisée, le mode de panification préconisé, la quantité de pâte pétrie, ainsi que sa consistance souhaitée influent sur le mode et la durée de son pétrissage. On parle ainsi de pétrissages à vitesse lente, amélioré et intensifié.

Le pétrissage à vitesse lente permet de ne pas incorporer trop d'air dans la pâte, afin d'obtenir un réseau glutineux grossier et une pâte ayant peu de force. Les pains sont alors peu développés, avec une croûte plus épaisse et plus savoureuse. Elle est beaucoup utilisée pour le pain de seigle. Quant au pétrissage amélioré, elle permet d'apporter de la force à la pâte sans trop incorporer d'air. Elle est utilisée dans la majorité des boulangeries artisanales pour la fabrication du pain courant et de tradition française.

Contrairement au pétrissage à vitesse lente, le pétrissage intensifié permet d'incorporer beaucoup d'air afin d'obtenir un réseau glutineux très développé. Ce qui va entraîner un blanchiment de la pâte, une perte de goût, une mie aux alvéoles petites et très régulières, ainsi qu'une croûte fine.

Les pâtes issues de ces trois modes de pétrissage peuvent être fermes (hydratation <60%), bâtardes (hydratation de 60 à 64 %), douces (hydratation > 64 %) ou liquides (hydratation proche de 100 %).

III.4.2. 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. 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. Ainsi, le boulanger doit veiller à ce que la pâte ne prenne pas trop de force. Le deuxième rôle du pointage est de favoriser le développement des arômes du pain (**Langraf, 2002**).

III.4.3. Division

La pâte initiale doit alors être divisée en pâtons de masse déterminée en fonction du produit fini désiré (baguette, bâtard, pain...). Le boulanger peut effectuer cette opération manuellement. Il dispose aussi de machines : les diviseuses, qui sont de deux types, les diviseuses hydrauliques à couteaux et volumétriques à piston.

Le premier type est le plus répandu en France. Le second type est utilisé dès que le boulanger veut automatiser une partie de sa fabrication. Après la division, les pâtons sont remis en forme de petites boules de pâte. On dit qu'ils sont boulés et l'opération s'appelle la mise en boule. Cela peut être réalisé à la main ou en machine, dans des bouleuses. Les pâtons sont ensuite mis au repos pour la phase de détente. Celle-ci s'effectue en général dans une chambre de repos à balancelles (**Langraf, 2002**).

III.4.4. Fermentation

La fermentation panaire est une fermentation alcoolique anaérobie, engendrée par l'action des ferments sur les sucres présents dans la pâte.

III.4.4.1 Mécanismes de la fermentation

La fermentation, étape spécifique aux produits de panification, a pour rôle d'enrichir la pâte en dioxyde de carbone. Elle provoque une perte en matière totale (de l'ordre de 2 à 3%) par transformation des sucres en alcool et acides carboniques volatils.

Au cours du pétrissage, l'oxygène introduit permet à la levure boulangère d'établir un métabolisme respiratoire selon la réaction suivante :

Glucose (180g) + oxygène → gaz carbonique + eau + énergie (688 kcal à 27 °C)

Elle se déroule en deux phases, dans un milieu qui n'est pas strictement anaérobie:

-la levure fermente les glucides libres dans la farine (environ 1 %). Pendant ce temps la β -amylase attaque les granules d'amidon endommagés au cours de la mouture, et il se forme du maltose et des dextrines.

La levure peut alors se développer grâce aux oses libérés. Dans la fermentation proprement dite, du gaz carbonique, de l'alcool et des acides organiques sont produits.

L'action de la levure dépend largement des conditions environnantes (température, pH, teneur en eau...). Considérant, une plage de température située entre 20 et 40 °C, une

élévation de la température de la pâte de un degré Celsius entraînerait une augmentation de la vitesse de fermentation de 8 à 12 % selon le type de levure.

En panification française, une température de 22 à 24 °C est maintenue pour la fabrication des baguettes, tandis qu'une gamme de 30 à 35 °C est utilisée pour la fabrication du pain de mie en moule. La pression osmotique a une influence importante sur la fermentation et dépend essentiellement des concentrations en sucre et sel.

Elle peut atteindre en panification 3,5 à 10 MPa, expliquant ainsi le ralentissement de l'activité de la levure dont le métabolisme ne peut alors s'effectuer normalement. Ce dysfonctionnement est dû à une différence de concentration entre le milieu intra et extracellulaire, qui entraîne une diffusion de l'eau à l'extérieur de la cellule de levure et limite ainsi l'entrée des sucres fermentescibles (**Chargelegue et al, 1994**).

III.4.4.2 Phase gazeuse

Le gaz carbonique produit se dissout d'abord dans la matrice continue de la pâte. Dès que celle-ci arrive à saturation, il s'accumule sous forme gazeuse dans les nuclei et exerce une pression interne sur le réseau du gluten non perméable aux gaz. Au début de cette phase d'accumulation, l'espace disponible pour la fraction gazeuse est suffisant pour le maintien de la forme sphérique de l'ensemble des bulles gazeuses. Au-dessus d'un certain niveau d'accumulation, et sous l'effet de la force de compression induite par l'excès de pression à l'intérieur des cellules, la pâte entourant les bulles est étirée tangentiellement (parallèlement à la surface des bulles) dans les deux directions et compressée radialement (perpendiculairement à la surface des bulles). Une telle déformation est nommée «extension bi axiale». Les cellules gazeuses se déforment alors d'une manière prononcée et la pâte à cellules sphériques est transformée en une pâte à cellules plus ou moins polyédriques (**Van Vliet et al, 1992**).

III.4.5. Façonnage

Le façonnage, ou mise en forme des pâtons, peut avoir une influence non négligeable sur le goût, ou plutôt sur la mâche et la flaveur de la mie, et par extension, sur celle du pain (**Calvel, 1990**). Il se pratique manuellement ou à l'aide d'une machine. Il existe des façonneuses horizontales ou obliques. À l'intérieur, la pâte est laminée, enroulée, puis allongée. Dans le cas d'un façonnage manuel, chaque pâton est repris un par un par le boulanger. Selon le degré de fermentation et la consistance de la pâte, le serrage des pâtons est plus ou moins fort. Si une pâte manque de force, le serrage sera plus important. Le serrage consiste à expulser le maximum de gaz carbonique contenu dans la pâte, tout en

donnant une certaine cohésion au réseau glutineux. Dans cette étape, le boulanger travaille la pâte pour la dernière fois et il donne la forme définitive au pâton (**Langraf, 2002**).

III.4.6. Apprêt

L'apprêt la deuxième étape de fermentation. Il se situe entre la fin du façonnage et la mise au four. Il est primordial pour donner un bon volume au pain. Il permet essentiellement la levée du pâton, due à la poussée du gaz carbonique. Une partie de l'amidon est transformée en sucres simples, lesquels vont être transformés par les enzymes de la levure en alcool et en gaz carbonique. Le temps d'apprêt varie selon les méthodes de fabrication: plus le temps de pointage est long, plus le temps d'apprêt est court.

L'apprêt doit se dérouler dans de bonnes conditions de température et d'hygrométrie. Il est plus facile de maîtriser ces deux facteurs en réalisant l'apprêt dans des enceintes climatisées appelées chambres de pousse contrôlée (**Langraf, 2002**).

III.4.7. Cuisson

La cuisson est une étape complexe au cours de laquelle a lieu une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques concomitantes, telles que l'expansion du produit, la perte d'eau par évaporation, la formation d'une structure alvéolaire plus ou moins développée la dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, la formation d'une croûte et les réactions de coloration. La température de cuisson varie d'un four à un autre et selon le produit, elle se situe entre 180 et 250 °C durant 20 à 30 min. (**Meziani, 2012**).

La température du four influence considérablement la qualité du produit. Une température de four trop basse provoque une diminution du volume du pain sous l'effet de l'effondrement de certaines cellules de gaz. Cependant, si la température du four est trop élevée, la croûte se forme rapidement tandis que l'intérieur est encore cru, provoquant ainsi une bosse (effet cheminée) sous la pression interne. Lors de la cuisson de pains, des nutriments précieux peuvent subir des dommages, notamment la thiamine ainsi que la lysine qui donne avec les sucres réducteurs des complexes inutilisables par l'organisme humain (**Langraf, 2002**).

La cuisson des pains se déroule en trois étapes :

- De 25 à 50 °C :

La température au cœur de la pâte passe assez rapidement de 25 à 50 °C. Les ferments de la levure dégradent les sucres en gaz carbonique. Cette dilatation gazeuse provoque un développement rapide du pâton. Cette action se développe jusqu'à ce que la température

interne du pâton atteint 50 °C. Les ferments sont alors détruits, c'est la fin de la fermentation.

➤ De 50 à 80 °C :

La pâte continue à se développer sous l'effet de la chaleur, les alvéoles se forment. Autour de 70° C, l'amidon se gonfle d'eau, se gélifie et les protéines se figent (il y a coagulation du gluten). Le pain atteint son volume définitif.

➤ De 80 à 100 °C :

Pendant la cuisson, la température intérieure des pains ne dépasse pratiquement pas 100°C. En revanche, à la surface du pâton, la température peut atteindre jusqu'à 230 °C et dès 180°C ,se produisent des réactions de caramélisation et de brunissement non-enzymatique de Maillard qui caractérise la formation de la croûte. Les sucres simples situés à la surface du pâton réagissent entre eux et donnent, par caramélisation, d'une part des produits colorés de saveur légèrement amère et d'autre part une longue série de composés olfactifs variés (**Meziani, 2012**).

III.4.8. Ressuage

On entend par ressuage, la période pendant laquelle la température du pain après la sortie du four s'abaisse jusqu'à la température ambiante. Pendant cette phase, la différence importante de tension de vapeur entre l'intérieur du pain et l'atmosphère ambiante, provoquent une évaporation importante vers le milieu ambiant.

Selon le format, les pains peuvent perdre entre 1 et 4% de leur masse en eau. Pendant le ressuage, avec des conditions favorables à l'évaporation, la perte en eau pour la baguette est de 2 à 3 %. En plus de sa perte en eau, le pain perd aussi des composés aromatiques.

III.4.9. Rassisement

Cette évolution de la qualité correspond à une modification des propriétés de texture et aromatiques au cours du temps.

Pour les propriétés de texture de la croûte et de la mie, il s'agit

- De la perte de croustillant et de friabilité de la croûte (ramollissement, durcissement, dessèchement).
- De la perte moelleux de la mie au cours du temps (perte de souplesse, de fondant, de douceur au palais, modification des propriétés élastique) .On parle aussi de la perte de fraîcheur, de durcissement. A ces phénomènes, s'ajoute l'augmentation de l'émiettement.



Chapitre IV:
Levure et levain

IV.1. Levure

IV.1.1. Sa place dans le monde vivant

Depuis le XVIII^e siècle et les travaux de Linné, une classification a été universellement adoptée, fondée sur le concept d'évolution phylogénétique. Les noms scientifiques caractérisant les êtres vivants sont basés sur un système binomial de noms en Latin (ou grec latinisé) conventionnellement écrits en italique. Le premier nom commence par une majuscule et identifie le Genre le second par minuscule et identifie l'espèce. Par exemple: *Saccharomyces exiguus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, *Candida tropicalis*.

La distinction des levures, entre genres et espèces, est basée sur la différenciation de caractères morphologiques, génétiques, physiologiques, biochimiques etc.

La phylogénèse de la levure de boulangerie peut être résumée de la façon suivante:

- Règne végétale : Cellules avec paroi protectrice
- Eucaryote: Noyau différencié, avec membrane et chromosomes.
- Champignon (unicellulaire): Absence de chlorophylle.
- Classe des Ascomycètes: Présence de sacs renfermant des spores.
- Genre *Saccharomyces*: Levures vraies. Le nom réfère à son affinité pour le sucre.

Espèce *cerevisiae*. Le nom réfère à son rôle dans la fabrication de la bière (cervoise). L'espèce est subdivisée plus finement en variétés et souches. Les levures présentes dans la flore des céréales appartiennent différents genres: *Pichia*, *Candida*, *Saccharomyces*. Ce dernier est le plus représenté avec les espèces *cerevisiae* (80 %), *exiguus*, *minor*, *uvarum*, *ellipsoidus*. ect.

Le genre *Saccharomyces* est généralement utilisé en brasserie, en vinification et en boulangerie. *Saccharomyces cerevisiae* est universellement utilisée en panification, on peut identifier d'autres groupes de levures pour des applications boulangères très spécialisées (**tableau 6**). (Sandeason, 1985).

Tableau 6: Levures pour différentes applications boulangère

| Application | Genres | Espèces |
|----------------------|--|-----------------------------|
| Multi usage | Saccharomyces | cerevisiae |
| Pates très sucrées | Saccharomyces Saccharomyces | rosei rouxii |
| Renforcement flaveur | Saccharomyces Candida | delbrukii lusitaniae |
| Starters levains | Saccharomyces Tonulopsis Candida | exiguus holmi milleri |

(SANDEASON, 1985)

IV.1.2. Définition

Selon **Larpent et Gourgoud (1985)**, *Saccharomyces cerevisiae* vient du mot saccharose qui signifie «sucre», myces « champignon ». Tandis que *cerevisiae* fait référence à «cervoise», est un terme scientifique, qui est le nom qu'on donnait autrefois à la bière. Ainsi, c'est un terme utilisé pour désigner le petit champignon microscopique qui compose les différentes sortes de levures intervenant dans la fermentation. Donc, elle est littéralement connue comme levure du sucre. Les levures sont des eucaryotes faisant partie du groupe des champignons dont on les distingue par leurs caractères unicellulaires. Elles sont microscopiques et immobiles (**Guiraud et Galzy, 1998**).

IV.1.3 Morphologie

Une goutte d'une suspension de levure de boulangerie, observée au microscope optique, montre une multitude de cellules individualisées, de forme ovoïde, d'aspect translucide, non mobiles. Certaines d'entre elles présentent des bourgeons ou les cicatrices qu'ils ont laissées. Leur taille varie de 6 à 8 microns. Un cm³ de levure pressée à 30 % de matières sèches contient environ 10 milliards de cellules. (**Clément, 1992**).



Figure 3: Micrographie de *S. cerevisiae* (Tortora et Anagnostakos, 1987).

IV.1.4. Structure

Le microscope électronique (**figures 4**) révèle l'ultrastructure suivante, de l'extérieur vers l'intérieur:

- **La paroi cellulaire:** composée de glucanes et de mannanes associés à des protéines, elle constitue une protection physique externe. Elle est complètement perméable à l'eau, aux minéraux et aux petites molécules organiques. . (Larpen, 1991).
- **La membrane cytoplasmique:** constituée de glycolipides et de glycoprotéines, elle règle les échanges entre les milieux intra et extracellulaires. Elle est caractérisée par une perméabilité sélective (hémiperméabilité), c'est-à-dire une aptitude à laisser circuler l'eau et certains solutés, tout en retenant les grosses molécules.
- **Le cytoplasme:** une substance colloïdale dans laquelle se déroule une multitude de réactions biochimiques et qui contient des organites en suspension:
 - **Le noyau:** renferme les chromosomes (supports de l'information génétique), qui assurent la transmission des caractères héréditaires et gouvernent la synthèse des protéines.
 - **Les ribosomes:** sites de synthèse des protéines.
 - **le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi:** réseau de membranes intervenant dans la sécrétion des protéines.
 - **Les mitochondries:** centrales énergétiques de la cellule en présence d'oxygène.
 - **les vacuoles,** lieux de stockage de différentes substances de réserve. (Guinet et Godon, 1994).

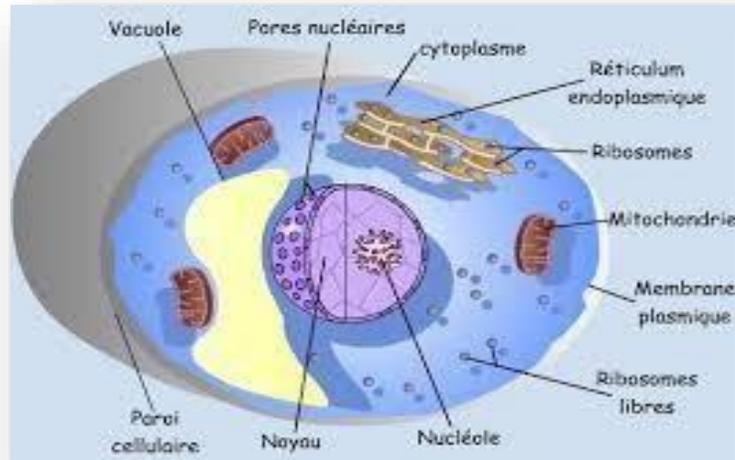


Figure 4: Structure de *Saccharomyces cerevisiae* (Thuriaux, 2004).

IV.1.5. Deux modes de vie

La levure présente la particularité de pouvoir s'adapter à différents milieux, et de survivre dans des conditions défavorables:

- En présence ou en absence d'oxygène (aérobiose ou anaérobiose), des métabolismes énergétiques différents géreront la vie de la cellule.
- Des carences en nutriments, une déshydratation, certains agents chimiques, induiront la formation de formes de résistance, les spores.

❖ En aérobiose

Lorsque la levure se trouve en présence d'air, elle produit à partir du sucre et de l'oxygène du gaz carbonique, de l'eau et une grande quantité d'énergie. C'est le processus métabolique de la respiration. Dans ces conditions l'oxydation du glucose est complète (Guinet et Godon 1994).



Il se forme donc **13** fois plus d'ATP que par métabolisme anaérobie. (Vladescu, 1994; Bellam et Fould, 1996; Ferreira et Fennesy, 1997)

Toute l'énergie biochimique potentielle contenue dans le glucose étant libérée, la levure peut seulement assurer son maintien en vie, mais aussi synthétiser de la matière organique. Donc elle va entrer en croissance et se multiplier.

❖ En anaérobiose

Lorsque la levure ne dispose pas d'oxygène, elle peut néanmoins utiliser des sucres pour produire l'énergie nécessaire à son maintien en vie. Ce processus métabolique a été défini par Pasteur comme étant celui de la fermentation. Les sucres sont transformés en gaz carbonique et en alcool (**Leyral et Vierlin, 2007; Lai, 2010**).

L'oxydation du glucose est incomplète on parle de fermentation ou de vie sans air (**Regnault, 1990**).

Glucose > Gaz carbonique + Alcool + Energie

Le métabolisme en anaérobiose porte le nom scientifique de glycolyse. Il s'agit de la dégradation des glucides en pyruvate, qui fait intervenir 30 à 65 % des protéines cellulaires que constituent les enzymes. Le glucose qui est un sucre à 6 atomes de carbone pénètre dans la cellule où il subit des phosphorylations consommatrices d'énergie avant d'être scindé en 2 molécules et à 3 atomes de carbone. Ces dernières entreront chacune dans une série de réactions aboutissant au pyruvate, qui en l'absence d'oxygène est transformé en acétaldéhyde puis en éthanol et sera ensuite excrété par la cellule. (**Guinet et Godon, 1994; Tchango et Tchango, 1996**).

IV.1.6. Les modes de reproduction

• Reproduction asexuée

Dans un milieu favorable, non limité en éléments nutritifs et suffisamment aéré, la levure va bourgeonner. Après une phase de croissance, une nouvelle cellule, contenant un noyau avec le même nombre de chromosomes (**forme haploïde $n = 16$ ou forme diploïde $2n = 16$ paires**), et portant les mêmes caractères héréditaires que ceux de la cellule mère, se détachera de celle-ci. Selon les conditions, cette opération prendra de 90 min à quelques heures. En raison de la cicatrice subsistant à la surface de la membrane on admet qu'une cellule mère ne peut donner naissance qu'à une vingtaine de cellules filles. Cette forme de reproduction est aussi appelée multiplication végétative. (**Herskowitz et al, 1988**).

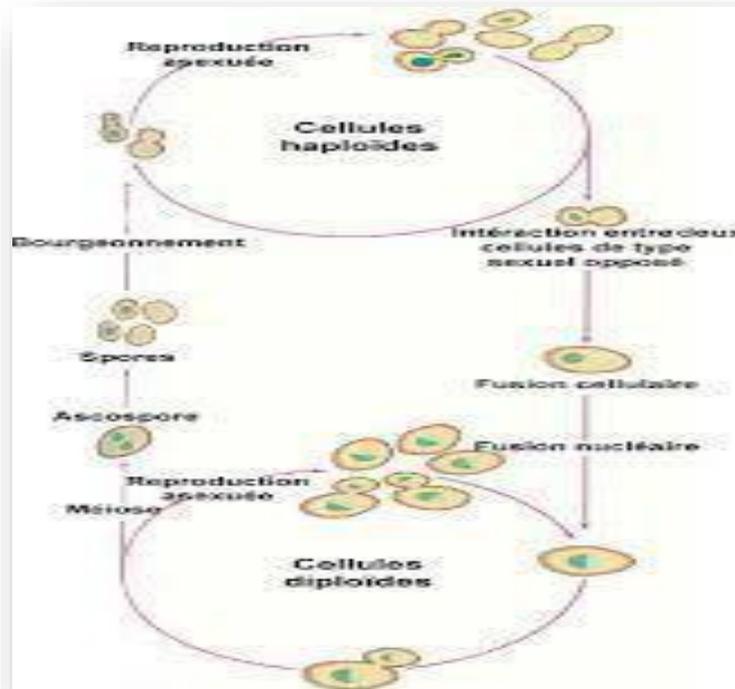


Figure 5: Représentation schématique du cycle cellulaire de *S. cerevisiae* (Madigan et al, 2000).

- **Reproduction sexuée**

Dans un milieu défavorable, la cellule de levure diploïde va sporuler, c'est-à-dire produire 4 cellules réunies dans un même sac (asque), qui resteront en vie ralentie. Ces spores ne possèdent qu'un chromosome de chacune des paires (**forme haploïde : $n = 16$**) Suite à deux divisions dont l'une, réductrice, sépare les deux lots de chromosomes.

Si les conditions de milieu redeviennent favorables, l'asque libère 4 spores qui peuvent croître et commencer un nouveau cycle de multiplication végétative sous la forme haploïde.

Les spores sont porteuses de signes sexuels distincts **a** et **α**. Des spores de signe **a** sont capables de se conjuguer avec des spores de signe **α**, pour produire des cellules diploïdes hybrides **a α**. Comme au cours de la méiose des fragments de chromosomes s'échangent entre eux, la fusion de cellules haploïdes **a** et **α** appartenant à des souches parentales différentes, permet d'obtenir de nombreuses recombinaisons génétiques. L'acquisition de nouveaux caractères pourra éventuellement permettre l'adaptation à d'autres milieux (**figure 6**) (Herskowitz et al, 1988).

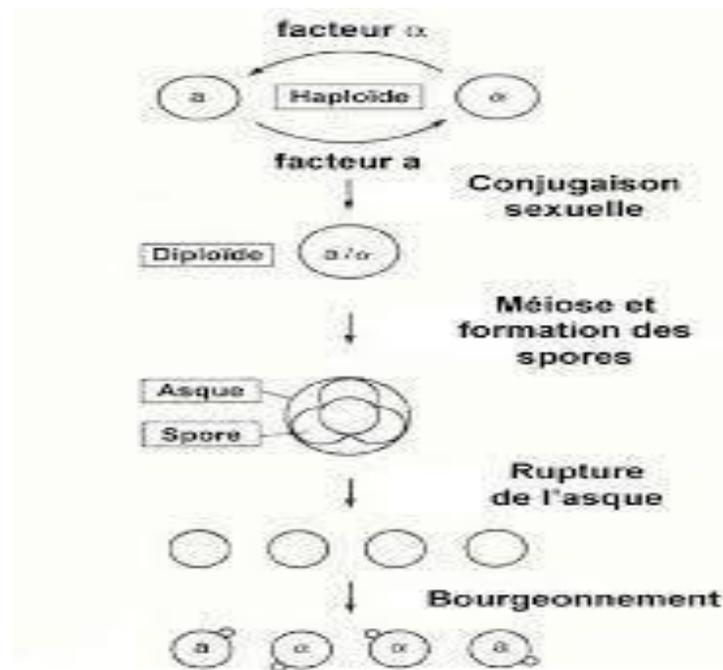


Figure 6: Transition de la ploïdie au cours du cycle cellulaire de *S. cerevisiae* (Herskowitz, 1988).

IV.1.7. Les besoins nutritifs

La levure *S. cerevisiae* est auxotrophe à certaines molécules qui sont nécessaires. Ces molécules sont considérées comme les principales sources énergétiques de la levure et classiquement apporté sous forme de glucose, de composés tels l'azote, le phosphore, le soufre, certains acides aminés, les vitamines et les oligoéléments qui sont indispensables à son développement pour produire de la biomasse. (Bourgeois et Leveau, 1991)

- Les sources de carbone

Dans la pâte ce sont les sucres simples préexistants de la farine (glucose, fructose, saccharose, et divers oligosides). Le maltose provenant de la dégradation de l'amidon par les α et β amylases.

-**Les sources d'azote** La levure peut utiliser des sources d'azote différentes tels que les acides aminés, les peptides. Mais l'azote sous forme d'ion ammonium est plus facilement assimilable. (Jones et coll, 1981; winter, 1988)

-Le soufre

Le soufre est assimilé généralement sous forme inorganique. IL est transformé dans la cellule sous forme d'un acide aminé qui est la méthionine.(Rose et Harrison,1971),

-Minéraux et oligo-éléments

Les levures ont besoin d'éléments nutritifs pour assurer un développement adéquat. Il s'agit de sels minéraux et d'oligoéléments nécessaires à de très faibles concentrations (Larpen Gourgoud et Sanglier, 1992)

Un apporte est réalisé sous forme d'acide phosphorique ou de son sel d'ammonium, Potassium, sodium, magnésium, soufre, fer, cuivre, zinc, sont également nécessaires. Les carences en certains de ces éléments à l'état de traces, comme le zinc, sont responsables de problèmes liés au pouvoir ferment.

-Vitamines

Les vitamines sont généralement des coenzymes ou des précurseurs d'enzyme Elles permettent une régulation du métabolisme de la levure (Botton et al, 1990)

Six vitamines du groupe B ont été identifiées comme facteurs de croissance de la levure : biotine, acide pantothénique, inositol, thiamine (B1), pyridoxine (B6), niacine (PP), a noter que ces exigences nutritionnelle permettent une classification des différentes souches.

IV.1.8. Influence des paramètres environnementaux

- **Influence du pH**

S. cerevisiae présente l'avantage de croître sur un milieu acide, pour lequel la bactéries ne se développent pas. Elle préfère un pH compris entre 4 et 4,5 (**plupart des Revuz, 1979**). le pH intracellulaire est varié, pour des pH extracellulaire, il varie de 3 à 7. Il est à noter que dans cette gamme, la vite peu effectuée. Pour des pH ausse spécifique de croissance maximale est delà de cet intervalle, on remarque un ralentissement de la croissance. Ainsi, pour un pH inférieur à 2,4 et supérieure à 8,6, la croissance est totalement inhibée. (Jones et coll, 1981)

- **Influence de température**

La température convenable pour la levure d'organismes mésophiles *S. cerevisiae* se situe entre 25°C et 35°C (Larpen et Gourgoud, 1985). Il s'agit L'augmentation de la température accroît la vitesse de la production de certains métabolites comme l'éthanol (Aldeiguiet et al.,

2004). Mais, elle augmente la sensibilité et l'effet néfaste des stress tels que les chocs osmotiques qui provoque une diminution de la viabilité, et de l'activité cellulaire (Maréchal et al, 1999; Beney et al, 2001).cette élévation de la température au-dessus de la température maximale de croissance entraine des mutations. (watson et al, 1987).

Comme, elle peut entrainer également des modifications au niveau de la synthèse des protéines.

IV.1.9. Les différentes formes commerciales

- La levure pressée.
- La levure sèche active.
- La levure sèche instantanée.

IV.2. Levain

IV.2.1. Introduction

Levain en boulangerie est employé indistinctement pour des produits divers code les professionnels et par les consommateurs. Traditionnellement, le Levain naturel est une pâte obtenue par fermentation de farine + eau + sel, sans ajout de levure de boulangerie et entretenue par rafraîchi. Il se distingue de différentes terminologies: Levain de pâte, Levain de levure, Levain mixte, dans los quelles il y a addition de levure de boulangerie à une étape ou une autre de la panification.

IV.2.2. Définition

Le levain est une pâte composée de farine de blé et/ou de seigle, d'eau potable, éventuellement additionnée de sel et soumise à une fermentation naturelle acidifiante, dont la fonction est d'assurer la levée de la pâte.(CNERNA,1987).

Le levain renferme une microflore acidifiante constituée essentiellement de bactéries lactiques et une microflore levurienne. Toutefois, l'addition de levures de panification (*Saccharomyces cerevisiae*) est admise lors de la pétrissée finale à la dose maximale de 0.2 % par rapport à la farine mise en œuvre à ce stade. (CNERNA, 1987).

IV.2.3. Les micro-organismes du levain

La flore microbienne est composée de levures et de bactéries lactiques (**figure 7**). Les bactéries sont de forme bacille (*Lactobacilles* ou *Leuconostoc*, *Pédiocoques*, *Lactocoques*). Cette association levure – bactérie lactique présente une grande stabilité puisque certains levains sont entretenus pendant plusieurs années avec une apparente conservation de leurs

propriétés pourtant, ce couple microbien réunit 2 populations différentes sur plusieurs points : structure cellulaire, taille, vitesse de croissance et métabolisme. (Spicher, 1983)

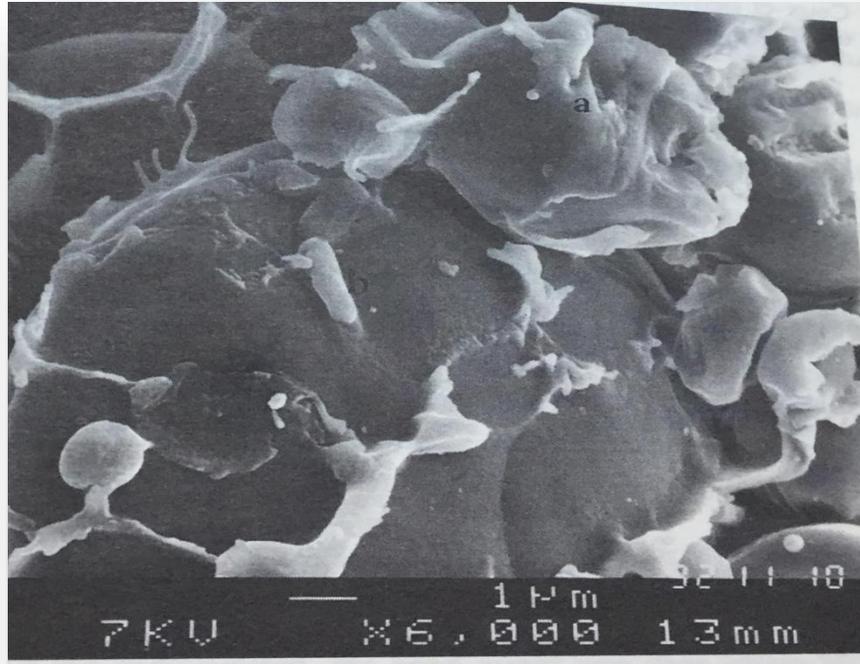
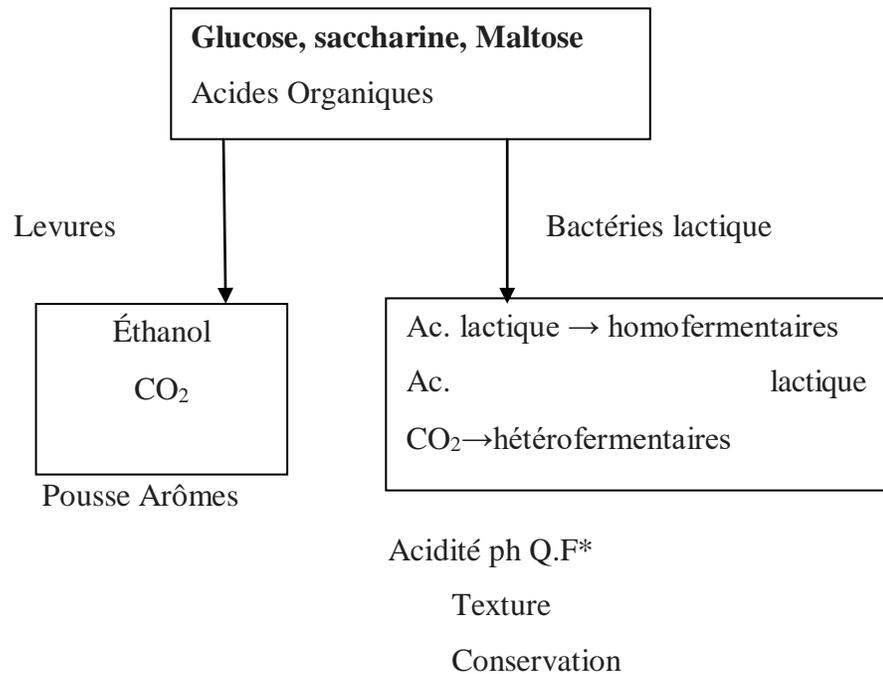


Figure 7: levain de panification observation en microscopie électronique à balayage.

IV.2.4. Rôle de micro-organismes du levain

Ces micro-organismes utilisent les mono et disaccharides préexistants (glucose, saccharose...), le maltose issu de l'activité amylasique de la pâte et aussi, pour les bactéries lactiques, des acides organiques présents dans la farine (Spicher, 1983). Le métabolisme levurien conduit à la production d'éthanol et de CO₂ responsable du développement de la pâte et également à des composés aromatiques ou des précurseurs d'arômes. Pour les bactéries lactiques, il convient de distinguer les espèces homofermentaires et les hétérofermentaires (figure 8).



***QF**: QUOTIENT FERMENTAIRE

Rapport molaire [AC. LACTIQUE] / [AC. ACÉTIQUE]

Figure 8: Métabolisme carboné des micro-organismes du levain

Ces micro-organismes produisent des acides organiques qui ont un rôle aromatique. L'acide lactique serait responsable surtout du goût du pain, L'acide acétique interviendrait au niveau de l'arôme en tant qu'exhausteur de goût. Ces métabolites confèrent également au produit une stabilité plus importante (retard au rassissement, inhibition d'éventuels contaminants). Les ferment lactiques ont un impact sur la texture, notamment lors de l'utilisation de farine d seigle, en activant, par la baisse du pH, les pentosanases. (Spicher, 1983; Collaret al, 1991).

IV.2.5. Facteurs influençant l'activité des levains

- **La température**

La chaleur accroît l'activité biologique, d'une manière générale, la plage de température de 20 à 35°C convenant à l'ensemble des microorganismes. Pour la boulangerie, la plage 20 – 27°C, qui semble plus favorable aux levures, est couramment adoptée. IL s'agit en outre de ne pas pénaliser les variations organoleptiques et rhéologiques de la pâte

- **Le sel**

Le sel a une action inhibitrice sur les levures et bactéries; son incorporation éventuelle dans les levains contribue donc à réduire la fermentation et parallèlement à limiter l'hydrolyse des pâtes. Sa présence ou son absence dans le levain doit évidemment être prise en compte dans la formulation des pâtes additionnée de ce levain.

- **L'acidité du milieu**

Une faible acidité (pH entre 4 et 4,5) est favorable à l'activité et des levures et des bactéries. Cette activité ralentit plus fortement pour des doses élevées d'acide acétique (pH < 4) que pour des doses élevées d'acide lactique. La farine blanche et l'absence de farine de seigle conduisent à des levains peu acides (prédominance de l'acidité lactique

- **L'oxygénation du milieu**

La multiplication des levures est fortement accélérée en milieu aérobie. Par conséquent, un pétrissage ou une agitation énergique ainsi que la fréquence des rafraîchis (= **réintroduction de farine et d'eau**) sont favorables à l'oxygénation du milieu donc à l'augmentation de la population levurienne, à condition toutefois que le temps de fermentation entre deux rafraîchis soit suffisant pour permettre le développement des microorganismes et éviter les problèmes de dilution des populations microbiennes. L'absence d'oxygénation du levain et sa conservation en milieu refroidi permettent de stabiliser la population levurien

- **La composition du milieu**

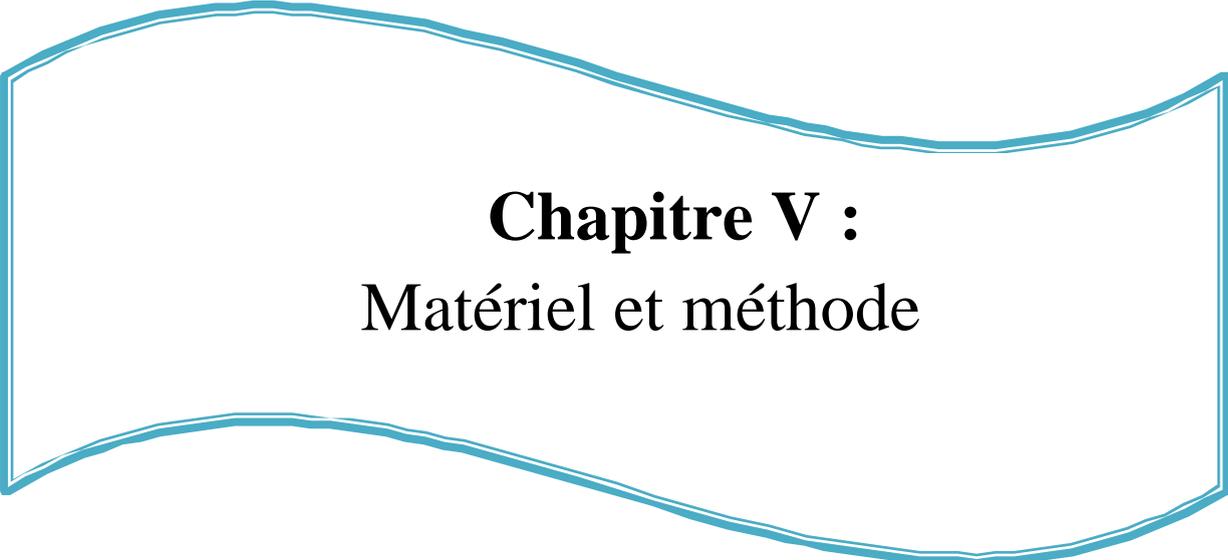
Dans les farines blanches (taux d'extraction faible), les sucres simples représentent 2 à 3% des glucides totaux (=amidon essentiellement) alors que dans les remoulages, ils représentent environ 10% des glucides totaux; ce qui explique la certaine lenteur du démarrage des levains sur farine blanche, contrairement aux farines complètes. Cet effet est accentué par la flore microbienne plus importante dans des farines complètes et d'autant plus qu'il y a de seigle dans la farine utilisée pour la préparation du levain. En effet le grain de seigle, dont la cohésion des enveloppes est plus faible que pour le blé, est plus chargé en germes que le grain de blé. (ENSMIC, 2007)

IV.2.6. Influences du levain sur le pain

Un pain au levain a un goût et une odeur caractéristiques. La mie est légèrement acide. La pousse de la pâteensemencée par un levain est plus faible et plus lente que celle d'une pâte à la levure (car il y a moins de levures, la flore étant constituée surtout de bactéries). La croûte

est plus épaisse; le pain se conserve mieux. Le mie est plus dense, plus élastique et plus irrégulier.

L'utilisation de levains dans la formulation du pain de seigle, amenant une acidification de la pâte (pH d'environ 4), permet de réduire la forte activité amylasique caractéristique des farines de seigle. La valeur nutritionnelle des pains au levain est meilleure; ils possèdent entre autre moins d'acide phytique, celui-ci ayant l'inconvénient de limiter l'absorption des minéraux: En effet, certains minéraux des graines de céréales (comme les cations Zn^{++} , Ca^{++} , Fe^{++} , Mg^{++} ou Cu^{++}), en se complexant avec l'acide phytique présents dans ces graines (dans les enveloppes et le germe), forment des phytates, non assimilables par l'organisme. Cet acide phytique peut néanmoins être hydrolysé grâce à la phytase, enzyme thermorésistante, dont l'activité est optimale à des pH acides (environ 5). L'acidification des pâtes par l'utilisation des levains ou l'allongement de la fermentation, permet de réduire la teneur en acide phytique des céréales et d'éliminer en grande partie l'effet décalcifiant attribué aux pains complets ou pains au son. (ENSMIC, 2007).



Chapitre V :
Matériel et méthode

V.1. Démarche expérimentale

V.1.1. Objectif du travail

Dans notre recherche, le but principal est la détermination de la valeur technologique de la farine de seigle intégrale et son potentiel technologique dans la préparation d'un produit à haute valeur ajoutée: le pain.

Pour atteindre cet objectif, ce travail se donne les sous objectifs suivants :

- Caractérisation physico-chimique et rhéologique des farines de seigle et comparaison avec la farine de blé.
- Détermination par des tests de panification de l'effet du taux de substitution sur les propriétés physiques du pain et comparaison par rapport à la farine témoin 100% blé tendre.

V.1.2. Lieu de stage

Les analyses de notre étude expérimentale ont été réalisées au niveau :

- du laboratoire physico-chimique d'Ammor à Mouzaia.
- du laboratoire physico-chimique et à la boulangerie de l'institut Technique de Grande Culture (ITGC) d'El-Harrach.

V.1.3. Matériel végétal utilisé et préparation des échantillons

1-Farine:

- SIM de blé tendre type panifiable conservée dans des conditions de température ambiante.
- **Seigle:** est une variété locale a été fournie par la station ITGC

La mouture d'une quantité de 7 kg de seigle a été réalisée au niveau d'un moulin semi- industriel situé dans la région de **Mouzaia**. Cette quantité à été broyée pour obtenir la farine intégrale de seigle et qui a été entreposée dans des sacs de papier kraft sous de basses températures conditions froides.

Les taux d'incorporations de seigle choisis sont :

T0= témoin, 100% farine de blé tendre.

T1=10% farine intégrale de seigle ,90% farine de blé tendre.

T2=20% farine intégrale de seigle ,80% farine de blé tendre.

T3=30% farine intégrale de seigle ,70% farine de blé tendre

T4=40% farine intégrale de seigle ,60% farine de blé tendre

T5=50% farine intégrale de seigle ,50% farine de blé tendre

V.2. Analyses physico-chimique de grain de seigle

V.2.1. Détermination du poids spécifique « PS » ou masse à l'hectolitre « PHL »

Nous avons appliqué la méthode normalisée NA 1613-90 portant sur le pèse grain de capacité **1L (litre)**.

❖ Définition

La masse à hectolitre correspond à la masse de seigle contenu dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel.

C'est une mesure ancienne qui date de l'époque où l'on mesurait la quantité des grains en volume appelée aussi « poids spécifique » ; elle présente un intérêt commercial.

❖ Principe

Ecoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient de 250ml et pesée.

Au laboratoire, la masse à hectolitre est la masse de grains contenus dans un volume de 1litre ou 250 ml. L'opération peut être réalisée sur « seigle propre », débarrassé des impuretés diverses (matières inertes...) ou « sur seigle sale », sans nettoyage préalable.

❖ Matériel

L'appareil comprend l'ensemble des pièces suivantes:

- Une Trémie cylindrique.

- Un Cylindre mesureur d'une capacité de 250 ml auquel s'adapte, à sa partie supérieure, la trémie cylindrique. La partie inférieure du cylindre mesureur est perforée pour permettre l'évacuation de l'air refoulé au cours du remplissage.
- Un couteau araseur pouvant coulisser dans une glissière située à la partie supérieure du cylindre mesureur.
- Une masse cylindrique.
- Un cylindre de remplissage pour contenir le volume de grains destinés à l'essai.
- Une Balance précise à 1 g.

❖ Mode opératoire

Deux déterminations ont été effectuées sur le même échantillon pour chaque essai.

➤ Remplissage de la trémie.

-Fixer le cylindre mesureur sur son socle. Celui-ci doit être posé sur un plan horizontal, stable, préservé de toute vibration. Vérifier le niveau par la position de la bulle.

-Obturer la partie supérieure du cylindre mesureur à l'aide du couteau araseur.

-Placer la masse cylindrique sur ce dernier.

-Poser la trémie sur le cylindre mesureur.

Après avoir homogénéisé les grains dont on veut déterminer la masse à l'hectolitre, on remplit le cylindre de remplissage, jusqu'à la limite indiquée (trait rouge), sans tasser.

-Transvaser d'une façon régulière et assez rapidement les grains du cylindre de remplissage à la trémie cylindrique.

-Retirer le couteau araseur : la masse cylindrique tombe au fond du cylindre mesureur ainsi que les grains dont la vitesse de chute sont régularisée par cette masse d'entraînement.

➤ Arasement et pesée de la masse.

-Replacer le couteau dans la glissière de façon à araser la colonne de grains.

Une fois la mesure arasée, enlever le grain en excès, la trémie cylindrique et le couteau araseur.

-Peser immédiatement, au gramme près, le grain contenu dans le cylindre mesureur dont la masse n'est pas prise en considération. En effet, le cylindre mesureur comprenant la masse cylindrique présente la même masse que le plateau de la balance.

➤ **Conditions générales**

Les chocs doivent être évités, avec un soin extrême. Le résultat obtenu du couteau araseur ne doit avoir lieu que lorsque l'opérateur est en bonne position pour effectuer l'arasement.

Si un choc quelconque se produit entre le retrait du couteau araseur et la fin de l'arasement, l'essai doit être annulé.

En aucun cas, les grains ayant servi pour une mesure ne doivent être utilisés pour une autre mesure. En effet, glissant mieux, les grains vont se tasser davantage et le résultat sera faussé.

➤ **Expression des résultats**

La masse à l'hectolitre peut être déterminée.

- Par référence au tableau de concordance fourni avec le pèse-grain
- Par calcul (dans le cas où la table en question n'est pas disponible) :

La masse à l'hectolitre, exprimée en Kilogramme par l'hectolitre, est égal à :

$$\text{PHL (kg/hl)} = \frac{m \times 100}{1000}$$

- **m** : étant la masse, gramme, du blé contenu dans le récipient mesureur de un litre

Résultats

Prendre comme résultat la moyenne arithmétique des 2 déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies.

V.2.2. Détermination du poids de mille grains de grain de seigle : (AFNOR NF V03-702 et ISO 720).

❖ **Appareillage**

- Balance de précision.
- Pince (pour saisir les grains).

❖ Mode opératoire

- Prélever au hasard une quantité de l'échantillon tel quel.
- Sélectionner les grains entiers
- Peser les grains entiers
- Compter les grains sélectionnés.

❖ Expression de résultat :

La masse de mille grains « M_H » est exprimée en gramme sur la matière tels quel, est égale a:

$$M_H(g) = \frac{M_0 \times 1000}{N}$$

- N : nombre des grains entiers sélectionnés de la quantité prélevée.
- M_0 : Masse de grains entiers en gramme

V.2.3.Détermination de la teneur en eau (NA 1132. 1990 ; ISO712 :1998)

La teneur en eau est la perte de masse exprimée en pourcentage subi par le produit.

❖ Principe :

Séchage à chaud des échantillons (farines) à une température 130 et 133°C, sous un courant d'air pulsé. L'air chargé d'humidité peut être évacué au travers des ouvertures du couvercle à la pression atmosphérique normale. Après broyage éventuel.

❖ Appareillage :

- Balance analytique
- Broyeur à grain
- Capsules métalliques ou coupelles numérotées avec couvercle.
- Pince métallique, spatule
- Etuve isotherme à chauffage électrique réglable à 130° + 3°C,
- Dessiccateur en porcelaine épaisse perforée.

❖ Nombre de déterminations :

Effectuer 3 déterminations sur le même échantillon pour laboratoire.

❖ Préparation des capsules

Avant utilisation, les capsules découvertes et leurs couvercles doivent :

- Sécher à l'étuve durant 15 minutes a 130 C°

- refroidir dans le dessiccateur jusqu'à la température de laboratoire durant (30 à 45minutes)

❖ Préparation de l'échantillon

➤ Produits ne nécessitant pas de broyage :

Les produits qui n'ont pas de particule de dimension supérieur à 1,7mm, dont moins de 101% (m/m) sont supérieurs à 1mmest plus de 50 % (m/m) inférieure a 0,5 mm, n'ont pas besoin d'être broyer avant la détermination.

➤ Produits nécessitant un broyage :

Régler le broyeur de manière a obtenir les caractéristiques granulométrique désirées puits broyer une petite quantité de l'échantillon pour laboratoire et rejeter.

Broyer, ensuite, rapidement une quantité de l'échantillon de manière à avoir une prise d'essai d'environ 5 g.

❖ Prise d'essai :

➤ Produits ne nécessitant pas de broyage :

Peser rapidement, à 1 mg près, une quantité de substance d'environ 5g dans la capsule tarée, couvercles compris à 1mg près.

➤ Produits nécessitant un broyage :

Verser la totalité de la mouture obtenue dans la capsule tarée comme en 6 .1.

❖ Déshydratation

- Introduire les capsules découvertes contenant la prise d'essai et son couvercles dans l'étuve et les y laisser séjournée pendant 2h (90min dans le cas des farines), temps compté à partir du moment où la température de l'étuve à nouveau comprise entre 130°C et133°C.
- Retirer les capsules de l'étuve, les couvrir et les placer directement dans le dessiccateur
- Peser les capsules

❖ Expression de résultats

$$\text{Teneur en eau \%} = \frac{M2-M1}{M1-M0} \times 100$$

- M_0 : est la masse de la capsule métallique vide (en grammes)
- M_1 : est la masse de la capsule métallique vide avec la masse de la prise d'essai (en grammes).
- M_2 : est la masse de la prise d'essai et la capsule (en grammes) après le séchage.

On prendra comme résultat la moyenne des 03 déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies.

V.3. Analyses physico-chimiques des farines

V.3.1. Détermination de la teneur en eau : selon le mode opératoire décrit en(V.2.3)

V.3.2.Détermination du taux de cendres (NA. 733. 1991.E, ISO 2171)

❖ Définition :

La détermination du taux de cendres, correspondant aux matières minérales principalement réparties dans l'enveloppe et le germe, permet de donner une indication sur le taux d'extraction d'une farine et sa pureté.

❖ Principe :

Incinération d'une prise d'essai, jusqu'à combustion complète de la matière organique, ensuite peser le résidu obtenu. Le résidu obtenu est floconneux après l'incinération à 500°C et vérifier après incinération à 900°C.

❖ Réactifs et Appareillage

- Ethanol solution à 95%
- Acide chlorhydrique, mélange à part égale d'HCL (fraction volumique 35%) et d'eau distillée.
- Broyeur
- Balance analytique précise avec une précision de 0.01mg
- Capsule d'incinération : quartz ou silice
- Four à moufle électrique réglé à $550 \pm 10^\circ \text{C}$.
- Dessiccateur a robinet garni de pentoxyde de déphosphore comme déshydratant.
- Pince en acier inoxydable.
- Etuve.

❖ Mode opératoire**➤ Préparation des capsules a incinération :**

Les capsules doivent être nettoyer par immersion complété pendant au moins 1h dans une solution aqueuse d'acide chlorhydrique puis rincer à l'eau courante et ensuite à l'eau distiller .

Après rinçage les placer dans une étuve durant le temps nécessaire au séchage (par exemple 90min a 130°C).immédiatement avant l'emploi, sortir les capsules de l'étuve et les laisser refroidir dans un dessiccateur puis les peser a 0 ,1 mg près .

➤ Préparation de prise d'essai

A partir de l'échantillon pour essai soigneusement homogénéiser peser rapidement à 0,1 mg près une prise d'essai comprise entre 4 ,9g et 5,1 dans le cas des produits à faible densité ,la prise d'essai peut être comprise entre $(2 \pm 0,1g)$ et $(3 \pm 0,1g)$.dans la capsule a incinération préparer et tarée répartir le produit ,sans le tasser ,en une coche uniforme .

➤ Pré incinération

placer la capsule et son contenu à l'entrée du four porté a la température d'incinération .a 550°C il est nécessaire d'ajouter de l'éthanol pour les enflammer ; il est permis d'introduire les nacelles dans le four froid et de laisser le four monter en température.

➤ Incinération

Attendre que le produit ait fini de bruler puis introduire les capsules à l'intérieur de four, fermer la porte du four. Poursuivre l'incinération jusqu'à la combustion complète du produit y compris des particules charbonneuse (4h minimum à 550°C).

Une fois l'incinération terminer, retirer les capsules du four, et la mettre à refroidir dans le dessiccateur (ne pas maintenir superposer les capsules).peser à 1mg près et rapidement en raison du caractère hygroscopique des cendres.

❖ Expression du résultat

Le taux de cendre, en fraction massique par rapport à la matière sèche exprimé en pourcentage, est donné par l'équation suivant :

$$\text{Teneur en cendre}\% = (m_2 - m_1) \times \frac{100}{m_0} \times \frac{100}{100 - W_m}$$

Où :

- **m₀** : masse de la prise d'essai (en gramme)
- **m₁** : masse de capsule d'incinération (en gramme)
- **m₂** : masse de résidu et capsule incinération (en gramme)
- **W_m** : teneur en eau, en pourcentage par masse de l'échantillon

-Prendre comme résultat la moyenne des 3 déterminations.

V.3. 3. Détermination de la teneur de gluten humide (NA.735.1991. ISO-5531)

❖ Objectif et domaine d'application

La présente norme spécifie une méthode de détermination du gluten humide dans les farines de blé. Cette méthode applicable aux différentes farines (farines commerciales et farines de mouture d'essai) ne convient cependant pas à la mouture intégrale du blé.

❖ Définition

Le gluten humide d'une farine de blé est la substance pasto-élastique composée principalement de gliadine et de glutenine. Il constitue l'armature de la pâte et lui communique ses propriétés rhéologiques.

❖ Principe

Préparation d'une pâte au moyen d'un échantillon de farine et d'une solution de chlorure de sodium. Isolement du gluten humide par lavage de cette pâte avec la solution de chlorure de sodium, puis essorage et pesée du produit obtenu.

❖ Réactifs

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique.

-eau distillée.

-Chlorure de sodium, solution à 20 g/l.

-Préparer une solution fraîche chaque jour et l'utiliser à une température comprise entre 18 et 20°C.

➤ Appareillage :

➤ Extraction manuelle :

Matériel courant de laboratoire et en particulier :

- Balance précise à 0,01 g.
- Mortier en porcelaine, verni à l'intérieur, ou capsule métallique émaillée, de diamètre 10 à 15 cm.
- Burette de 10 ml, graduée en 0,1 ml.
- Spatule, en corne, plastique ou acier inoxydable de longueur 18 à 20 cm.
- Tamis de forme circulaire (30 cm× 40 cm), recouvert de gaze à gruaux (g.g) No 54 (ouverture nominale 315 micromètres).
- Réservoir d'écoulement réglable pour la solution de chlorure de sodium.
- Presse à gluten ouessoreuse par centrifugation.
- Chronomètre (si possible).
- Plaque métallique ou plaque en verre thermorésistant de 5cm×5cm.

❖ **Mode opératoire**

-Nombre de détermination : On a effectué deux déterminations par essai

-Préparation de la pâte

-Peser 10 g de farine à 0,01 g près et les introduire dans le mortier ou la capsule métallique.

A l'aide de la burette, verser 5,5 ml de la solution de chlorure de sodium en agitant la farine avec la spatule puis, comprimer le mélange avec la spatule et former une boule de pâte en prenant soin d'éviter les pertes de farine. Les restes de pâtes adhérant au récipient et à la spatule doivent être rassemblés avec la boule de pâte.

Rouler cette boule de pâte entre les paumes de la main jusqu'à ce qu'elle n'y adhère plus.

➤ **Extraction**

- **Extraction manuelle**

Malaxer le pâton en le plaçant dans la paume de la main tout en versant dessus, goutte (mais assez rapidement) la solution de chlorure de sodium. Poursuivre cette préparation jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus laiteuse mais à peine trouble.

Arrêt le lavage à ce point que l'habitude de la manipulation précise nettement. Ce lavage doit se faire au-dessus du tamis recouvert de gaze destiné à retenir les fragments de gluten qui se trouveraient entraînés.

L'amidon est éliminé et le gluten se soude à lui-même.

Récupérer le gluten tombé sur le tamis et, pour rincer le gluten global, augmenter le débit de la solution de chlorure de sodium de manière à obtenir un filet continu, puis malaxer énergiquement le pâton.

La durée de l'extraction dépend de la teneur en gluten et elle est d'environ 8 mn.

➤ **Essorage**

Lorsque le rinçage est terminé, éliminer la plus grande partie de la solution de rinçage adhérent à la boule de gluten en prenant celle-ci entre les doigts et en lui faisant subir trois comprissions de courte durée.

- **Essorage manuelle**

Comprimer la boule de gluten entre les mains et les essuyer ensuite. Refaire cette opération plusieurs fois jusqu'à ce que le gluten commence à adhérer (environ une dizaine de fois).

❖ **Expression des résultats**

Le gluten humide, exprimé en pourcentage en masse du produit tel que, est égale à :

$$\text{GH \%} = \frac{m \times 100}{10}$$

Où

- **m** : est la masse, en gramme, de gluten humide.

Prendre comme résultats la moyenne de deux déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies, dans le cas contraire, refaire les déterminations.

V.3. 4. Détermination du gluten sec (NA.11.26/1986).

❖ **Principe**

Dessiccation et pesée d'une boule de gluten humide obtenu dans les conditions spécifiées dans la norme (NE.1.1.25-1985).

❖ **Appareillage**

- Spatule ou couteau.
- Plaque métallique ou plaque en verre de 5cm × 5cm
- Dessiccateur doté d'un agent d'hydratant efficace.
- Balance précise à 0,01g.

❖ **Mode opératoire**

- **Nombre déterminations** : effectuer au moins de détermination sur le même échantillon.
- **Détermination**

Sur la plaque métallique (ou plaque en verre) préalablement tarée à 0,01g près déposer le gluten humide essoré obtenu selon la méthode spécifiée dans la norme (NE.1.1.25/1985) et mis sous forme d'une boule puis peser à 0,01g près la plaque et le gluten humide.

Introduire ensuite la plaque et le gluten dans l'étuve réglée à $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Les y laisser pendant 2 h.

Après ce temps, retirer la plaque et pratiquer trois ou quatre incisions parallèles sur le gluten partiellement séché, à l'aide d'un scalpel ou d'une lame de couteau. Ensuite remettre la plaque dans l'étuve où elle restera encore environ trois heures, de manière que le temps total d'étuvage soit de cinq heures.

Retirer la plaque et le gluten sec obtenu et les laisser refroidir dans le dessiccateur, à température ambiante (environ 30 mn).

❖ **Expression des résultats**

Le gluten sec, exprimé en pourcentage en masse ou produit tel quel, est égal à :

$$\text{GS \%} = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100$$

La teneur en eau du gluten humide, exprimé en pourcentage en masse est égale à :

$$\text{La teneur en eau de GH \%} = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_0} \times 100$$

Où :

- **m** : est la masse en gramme de la prise d'essai effectuée sur le gluten humide (c'est-à-dire 10 g).
- **m₀** : est la masse en gramme de la plaque.
- **m₁** : est la masse en gramme de la plaque et du gluten sec.
- **m₂** : est la masse en gramme de la plaque et du gluten humide.

❖ Capacité d'hydratation du gluten

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

$$CH\% = \frac{\text{Teneur en gluten humide} - \text{Teneur en gluten sec}}{\text{Teneur en gluten humide}} \times 10$$

V.3. 5. Le taux d'affleurement (NA.N° 02. 08.01.1992)

❖ Définition

Le taux d'affleurement est la quantité de farine extraite ou refusée par un tamis dont la garniture à une ouverture de maille qui est choisie en fonction de la finesse et de la granulométrie désirées.

❖ Principe

La détermination du taux d'affleurement est réalisée à l'aide d'un plansichter doté d'un tamis dont la garniture à une ouverture de maille égale à 193 microns.

❖ Appareillage

Plansichter de laboratoire doté d'un tamis dont l'ouverture de ces mailles de 7 XX (193 µ).

❖ Mode opératoire

- Déverser 100 g de farines sur le tamis supérieur par la suite couvrir le tout après le lancement du moteur.
- Laisser tourner 10 minutes au terme de ce blutage, retirer la quantité extraite
- Récupérer dans le fond ramasseur et la peser pour évaluer en pourcentage.

V.4. Analyses technologiques

V.4. 1. Test rhéologique par l'alvéographe (NA .1188/1990)

❖ Objectif et domaine

La présente méthode pour objectif la détermination, au moyen de l'alvéographe de certaines caractéristiques rhéologiques des pâtes obtenues à partir de blé tendre (*Triticum aestivum*).

❖ Principe

- Préparation d'une pâte à teneur en eau constante, à partir de blé tendre salée dans les conditions de la méthode.
- Formation des éprouvettes de pâte sous forme de disques ; après un temps de repos déterminé et réglage de l'épaisseur de l'éprouvette, extension biaxiale par gonflement sous forme de bulle ; enregistrement graphique des variations de pression à l'intérieur de la bulle en fonction du temps.
- Appréciation des caractéristiques de la pâte d'après la surface et la forme des diagrammes obtenus.

❖ Réactifs

-Solution de chlorure de sodium

Dissoudre 25 g de chlorure de sodium pur, pour analyse, dans de l'eau distillée et compléter à 1 litre.

-Huile de d'arachide raffinée ou huile de vaseline (dite huile paraffine) à l'exclusion de toutes autres.

❖ Appareillage

- Alvéographe Chopin
- Burette à robinet, capacité 160 ml, graduée en 0,25 ml, ou burette à robinet graduée directement en pourcentage de la teneur en eau de 11,6 à 17,8 % (précision 0,1 %).
- Balance précise à 0,5 g près

❖ Mode opératoire

L'appareil doit être utilisé dans une pièce dont la température est compris entre 18 et 22°C et dont l'humidité relative est voisiner de 70%.

Vérifier avant chaque essai que les températures respectives du pétrin et de l'alvéographe sont de $24,0^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ et $25,0^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Dans le cas où la burette à robinet n'est pas disponible, déterminer à l'aide de tableau la quantité de solution de chlorure de sodium a utilisé pour préparer la pâte.

➤ Préparation de l'échantillon pour essai

Déterminer la teneur en eau de la farine selon la méthode pratique décrite dans la norme NA.1132/19990.

➤ **Pétrissage**

- Mettre dans le pétrin 250 g de farine pesés à 0,5 g près. Fixer le couvercle par les deux vis de serrage.
- Accoupler le fraiseur au réducteur de vitesse. Mettre en route le moteur et le chronomètre. Verser par le trou du couvercle, la quantité déterminée de solution de chlorure de sodium en 20 s environ.
- Laisser la pâte se former durant une minute (y compris les 20 s d'écoulement).

Au bout de cette minute, arrêter le moteur et enlever le couvercle. Réincorporer avec une spatule, la farine et la pâte qui adhèrent au couvercle ou dans les angles, de manière à respecter l'hydratation de la pâte. Effectuer cette opération en 1 minute et remettre le couvercle.

A la fin de la deuxième minute, remettre le moteur en marche. Laisser alors le pétrissage se poursuivre durant 6 minutes.

A la fin de la huitième minute, arrêter le pétrissage et procéder à l'extraction.

➤ **Préparation des éprouvettes**

- Inverser le sens de rotation du fraiseur. Dégager la fente d'extraction en relevant le registre de fermeture et placer quelques gouttes d'huiles sur la plaque réceptrice préalablement mise en place.
 - Eliminer les deux premiers centimètres de pâte.
 - Lorsque la bande de pâte extraite atteint le niveau des encoches de la plaque, découper la pâte d'une lame à l'endroit du guide.
 - Faire glisser le morceau de pâte sur la plaque de verre du système de laminage, préalablement huilée.
 - Répéter quatre fois l'opération pour obtenir au total cinq pâtons. Arrêter le moteur du pétrin.
- **Laminage** : laminier les cinq pâtons à l'aide du rouleau d'acier préalablement huilé, que l'on fait glisser sur ses rails douze fois de suite (trois aller-retour rapides suivis de trois allers retours lents).

D'un mouvement net, découper dans le pâton une éprouvette avec l'emporte-pièce. Eliminer la pâte excédentaire.

- Transporter l'emporte-pièce contenant l'éprouvette de pâte en inclinant celui-ci au-dessus de la plaque de repos destinés à la recevoir.
- Si la pâte adhère aux parois de l'emporte-pièce, la décoller par dessous. Si l'éprouvette est restée sur le verre, la soulever et glisser la plaque en dessous.
- Placer immédiatement chaque plaque dans l'enceinte isotherme (25° C) de l'alvéographe. Procéder dans l'ordre d'extraction, la première éprouvette étant placé dans le logement supérieur.

❖ Expression des résultats

Les résultats sont mesurés ou calculés à partir des cinq courbes. Toutefois si l'une d'entre elles s'écarte notablement des quatre autres, en particulier à la suite d'une rupture prématurée de la bulle, il n'en sera pas tenu compte dans l'expression des résultats

- **Surpression maximale P.**

La moyenne des ordonnées maximales mesurée en millimètres et multipliée par 1.1 et représente la valeur de la surpression maximale P, qui est en relation avec la résistance de la pâte à la déformation.

- **Abscisse moyenne à la rupture L.**

L'abscisse à la rupture de chaque courbe est mesurée en millimètres sur la ligne de zéro, à partir de l'origine des courbes jusqu'au point correspondant verticalement à la chute nette de pression due à la rupture de la bulle.

La moyenne des abscisses à la rupture des courbes représente la longueur L.

- **Indice de gonflement G.**

C'est la moyenne des indices de gonflement et correspondant aux abscisses de rupture. Cette valeur est la racine carrée du volume d'air, exprimé en millilitres nécessaire pour développer la bulle jusqu'à rupture (compte non tenu du volume d'air nécessaire au décollement de l'éprouvette).

- **Rapport P/L.**

Ce rapport est conventionnelle appelé rapport de configuration de la courbe.

- **Travail de déformation W**

Un diagramme moyen est établi à partir de la moyenne des ordonnées jusqu'à l'abscisse moyenne à la rupture L ; il remplace les courbes réelles dans la suite des calculs.

La surface du diagramme en centimètre carrés est mesurée au moyen de l'abaque planimétrique ou du planimètre. Le travail de déformation de la pâte nécessaire au gonflement de la bulle jusqu'à sa rupture, rapporté à 1 g de pâte, représenté par le symbole W, et évalué en 10^{-4} J se calcule de la façon suivante :

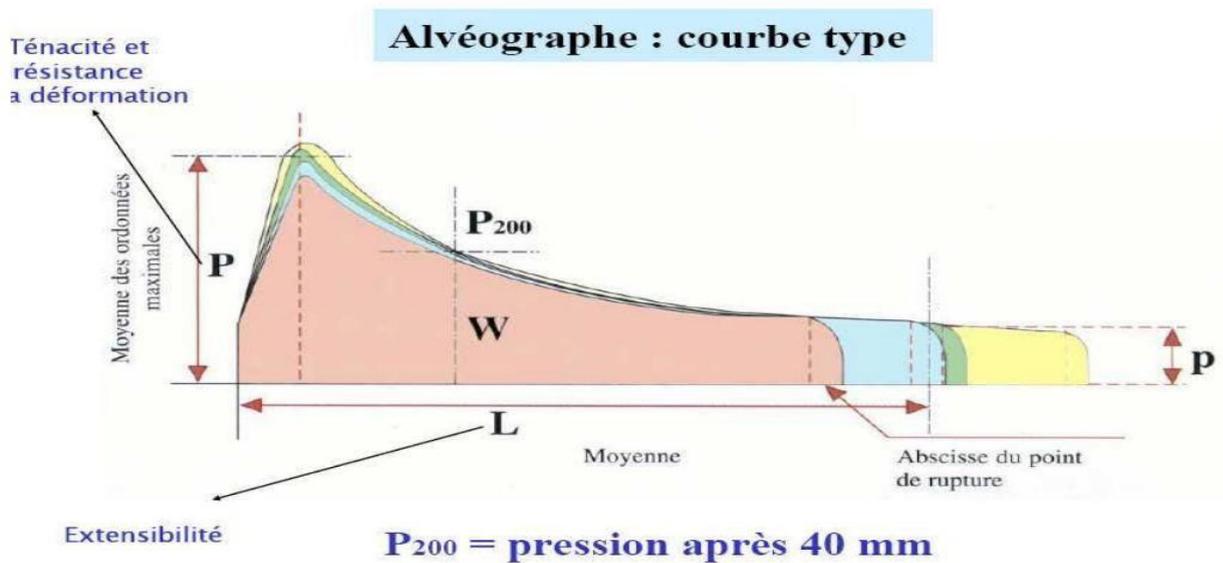


Figure 9 : Représentation d'un alvéographe (Roussel et Chirion, 2005)

- **Calcul de référence**

$$W = 1,32 \times \frac{V}{L} \times S$$

Où :

- **V** : est le volume d'air, en millilitres égal au carré de l'indice de gonflement G.
- **L** : est l'abscisse moyenne à la rupture, en millilitres.
- **S** : est la surface de la courbe en centimètres carrés.

V.4. 2. Test de panification : (ISO 27971,2008)

Le test de panification permet de :

- Déterminer la qualité boulangère des variétés de blé pures ou des mélanges,
- Rechercher une formulation optimisée (additifs, auxiliaires technologiques ou tout autre ingrédient) pour un processus de panification
- Contrôler l'aptitude d'une farine commerciale à être panifiée.

Les méthodes d'appréciation de la qualité des farines, qu'elles soient chimiques ou physiques, permettent d'approcher de près la valeur de celle-ci pour la panification. Toutefois, l'expérience montre que si le test est réalisé avec soin, il reste le moyen le plus fiable pour juger de la valeur boulangère des farines.

❖ Principe

L'essai de panification consiste à l'obtention d'une pâte par pétrissage intensifié d'un mélange formé de farine, eau, levure et sel sans autres ingrédients, suivi d'un pointage de 45 min, d'un façonnage manuel puis d'un long apprêt sur couche. L'incision des pâtons par plusieurs coups de lame est opérée, puis les pâtons sont mis au four pour une cuisson à 250°C pendant 25 min.

❖ Expression des résultats

La qualité boulangère est appréciée à chaque étape de fabrication du pain, du pétrissage jusqu'à l'observation du pain cuit et de la mie. On utilisant une grille de présentation des résultats de la méthode **AFNOR**.

❖ Matériel

- Pétrin
- Four
- Minuteur
- Lame à scarification
- Thermomètre, précision 0.5°C.
- Récipient rempli d'eau pour la buée dans le four
- Eprouvette de 2 l de capacité
- Balance, précision 1 g.

❖ Mode opératoire

- Déterminer au préalable la teneur en eau de la farine et calculer à l'aide

- du tableau de la norme la masse de farine nécessaire à l'essai.
- Déterminer la quantité d'eau nécessaire manuellement par l'opérateur au cours du pétrissage pour permettre la formation d'une pâte batarde.
 - Peser à 1 g près, la masse de la farine nécessaire pour à l'essai et la mettre dans la cuve du pétrin.
 - Verser la quantité d'eau nécessaire puis y ajouter la levure et mettre le pétrin en marche et déclencher simultanément le minuteur.
 - Incorporer le sel avant la fin du pétrissage, une fois terminé mettre la pâte dans une cuve pour la fermentation et vérifier au moyen du thermomètre la température de la pâte qui doit être de l'ordre de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, c'est le pointage.
 - Diviser la pâte à la main, à la fin du pointage, en 8 pâtons de 350 g qui sont pesés à 1g près, c'est le façonnage.
 - Introduire les pâtons dans une chambre pour permettre la fermentation et en fin d'apprêt.
 - Entailler les pâtons de trois coups de lame puis les enfourner aussitôt dans le four à $260 \pm 10^\circ\text{C}$ et saturé de vapeur d'eau.

Les différentes étapes unitaires du protocole sont ensuite évaluées par une grille de notation (**annexe 1**).

La notation par croix dans la grille permet de déterminer un profil qualité, correspondant à la dispersion des croix par rapport à la note 10 (caractère normal ou suffisant).

L'interprétation de cette grille est basée sur le principe suivant:

- Si la caractéristique jugée présente un défaut par excès, l'appréciation est notée dans la partie « excès » de la grille. Suivant l'intensité du défaut la case cochée sera :
 - 7 si la caractéristique est jugée un peu excessive,
 - 4 si la caractéristique est jugée excessive,
 - 1 si la caractéristique est jugée très excessif.
- Si la caractéristique jugée présente un défaut en insuffisance, l'appréciation est notée dans la partie « insuffisance » de la grille.

Suivant l'intensité de défaut les notes 7, 4, et 1 pourront être attribuées pour les caractères un peu suffisant, insuffisant et très insuffisant.

Ce système de notation des observations proposé par **P. Roussel, (1989)** dans le cadre BIPEA est calqué sur les intensités de défaut qui sont souvent employées en

boulangerie pour l'appréciation qualitative des pâtes et des pains. Il peut se rapprocher d'une base d'interprétation assez courante : 10 (bon), 7 (assez bon), 4 (médiocre), 1 (mauvais).

Si la grille permet de bien identifier les qualités et défauts aux différents stades de la fabrication, elle ne définit pas un niveau de qualité. La note globale où note de valeur boulangère sur 300 points est beaucoup plus facile à utiliser pour le classement, la sélection ou dans les contrats d'achat de blé.

Par un jeu de coefficients appliqués à chaque note individuelle de la grille, on détermine :

- une note de pâte exprimée sur 100 points.

Sont ainsi évaluées : la pâte au cours du pétrissage, au cours du façonnage, l'activité fermentative lors des deux temps de détente, et sa tenue à la mise au four.

- une note d'aspect extérieur de pain sur 100 points.

Cette note tient compte de la couleur du pain, de son épaisseur, du croustillant et du coup de lame.

- une note de mie sur 100 points.

Pour la mie, on teste sa texture, l'Alvéolage, son odeur et sa couleur

Le total sur 300 points exprime la valeur boulangère (**Roussel Chiron ,2002**)

V.4. 3. Mesure des volumes spécifiques des pains

❖ Principe :

Le volume spécifique des pains (cm^3/g) est mesuré indirectement par déplacement de grains solides sphériques de volume spécifique connu dans une éprouvette de volume connu.

❖ Mode opératoire

- Prendre un récipient de volume plus grand que celui des pains et le remplir ras avec des grains solides sphériques de volume spécifique connu ($0.68\text{cm}^3/\text{g}$), de préférence de couleur noire pour assurer un maximum de contraste entre les pains, les mies et les grains sphériques.

-Déterminer le volume spécifique de ce récipient en pesant son contenu en grains dans une balance technique et en mesurant son volume.

-Pour la mesure en elle-même, on vide à moitié le récipient de son contenu en grains sphériques, on place notre pain et on verse dessus le reste du contenu en grains.

-Après arasement de la surface de la boîte de mesure, on récupère les grains sphériques débordants. Leur volume spécifique correspond à celui des pains.

❖ Expression des résultats

Le volume spécifique des pains est exprimé par :

$$V_{sp} = V \text{ (cm}^3\text{)}/M \text{ (g)}$$

Où :

V_{sp}: Volume spécifique (cm³/g).

V: Volume du pain (cm³).

M: Masse du pain (g).

V.4.4. Les deux types de fermentation :

❖ Fermentation avec levure instantanée

Dans notre étude, nous avons appliqué la formule de panification indiqués par (BIPEA) qui est la suivante:

- Farine: 1500g
- Sel: 30 g (2% de la farine)
- Levure: 30 g (2% de la farine).
- Le taux d'hydratation varie on fonction de farines. **(Le tableau en annexe)**

Avant toute préparation on a mesuré la température de:

- La fourni (température de milieu de travail).
- La farine
- L'eau.

❖ Fermentation avec levain accéléré

Pour la panification sur le levain accéléré on a suivi le protocole suivant:

• Préparation de levain accéléré :

- 1 kilogramme de farine
- 1 litre d'eau
- 10 gramme de levure instantanée. (le mélange doit être reposé 24 heures).

• Pour la préparation des pâtes:

- 1 kilogramme de farine
- 300 g levain accéléré
- 10 g levure
- 20g sel

- le taux d'hydratation varié on fonction de farine.

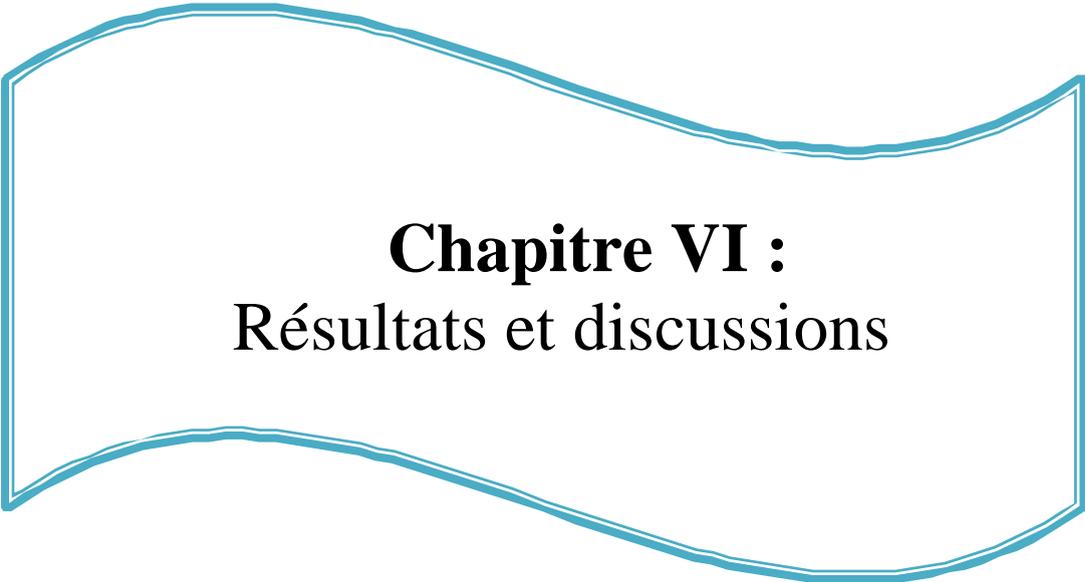
V.5. Analyse statistique :

L'analyse de la variance (**ANOVA**) des résultats obtenus ainsi que la matrice de corrélation sont effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA.

L'analyse de la variance permet de déterminer l'influence du facteur étudié sur les différents paramètres étudiés, suivant le niveau de significativité :

- **P < 0,001** la différence entre les traitements est très hautement significative (noté ***)
- **P < 0,01** la différence entre les traitements est hautement significative (noté **)
- **P < 0,05** la différence entre les traitements est significative (noté *)
- **P > 0,05** la différence entre les traitements est non significative (NS)

Si cette analyse révèle des différences significatives entre les traitements, une comparaison des moyennes est faite à l'aide du test de **NEWMAN** et **KEULS** ou de **BENFERONNI** qui permet de faire un classement des valeurs à un seuil de **5%**.



Chapitre VI :
Résultats et discussions

VI.1. Analyses physicochimiques de grains de seigle

VI.1.1. Poids à l'hectolitre

Selon **Kleijer et al, (2007)** le PHL est utilisé depuis des décennies comme critère de qualité et reste employé dans de nombreux pays pour déterminer le prix. Le PHL du seigle étudié est de **72, 45 kg/hl**.

VI.1.2. Poids de mille grains (PMG)

Le poids du grain est une caractéristique essentiellement variétale, mais elle dépend également des conditions de culture. C'est aussi un indicateur du rendement technologique dans les industries de première transformation. (**ITCF, 2001**).

Sur la base du poids de 1000 grains, les céréales se classent comme suit (**Godon et Williams, 1998**):

- De 80 à 60 g: gros grains.
- De 55 à 35 g: grains moyens.
- < 35 g: grains petits.

Notre échantillon possède un PMG de 21,60g. Ceci nous conduit à déduire que notre échantillon est composé de grains petits.

VI.1.3. La teneur en eau

Selon **Martin, (1998)**, la détermination de la teneur en eau des céréales est une opération capitale qui présente un triple intérêt:

- Intérêt technologique, pour la détermination et la conduite rationnelle de l'opération de récolte, de stockage ou de transformation industrielle.
- Intérêt analytique, pour rapporter le résultat des analyses de toute nature à base fixe (matière sèche ou teneur en eau standard).
- Intérêt commercial.

La teneur en eau des grains de seigle étudiés est de 12.33%. C'est une valeur qui permet une bonne conservation des grains de seigle. Elle est en effet inférieure à la valeur maximale admise à savoir 14, 5% selon (**Décret exécutif Algérien n°91-572**).

VI.2. Analyses physicochimiques des farines

VI.2.1. La teneur en eau

Selon le décret exécutif algérien n°91-572 du décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain, la teneur en eau d'une farine de panification doit être inférieure à 15,5%.

Les résultats de l'humidité des farines montrent une différence significative entre les valeurs de la teneur en eau des échantillons ($p=0,001 < 0,05$). Les valeurs varient de 11,87% à 13,46%.

La farine de seigle présente une teneur en eau inférieure à 14,5% qui est conforme à la valeur maximale recommandée selon le décret exécutif Algérien n°91-572.

La farine de blé tendre (Sim) présente une teneur en eau de (13,89% a) conforme à la norme algérienne.

La teneur en eau de différents échantillons sont présentés dans la figure (10).

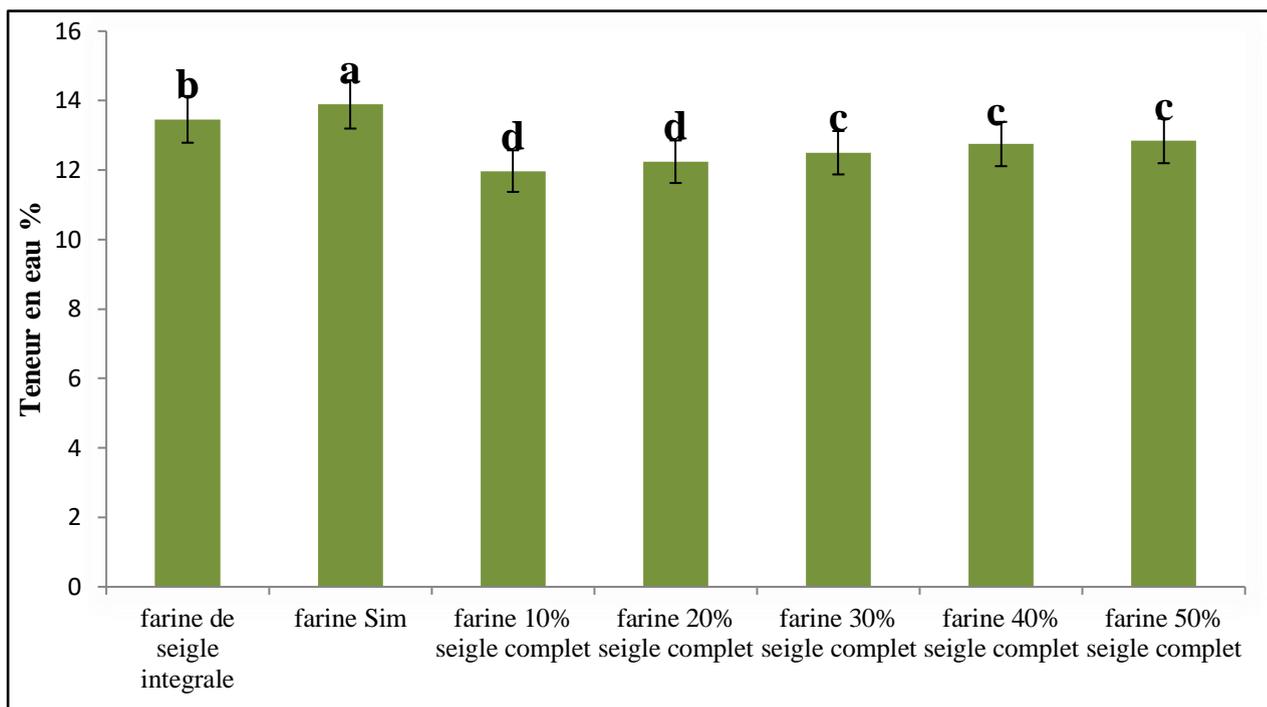


Figure (10) : La teneur en eau des farines seigle et de blé

VI.2.2. Le taux d'affleurement

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

Les résultats des analyses obtenus sont indiqués dans les figures suivantes :

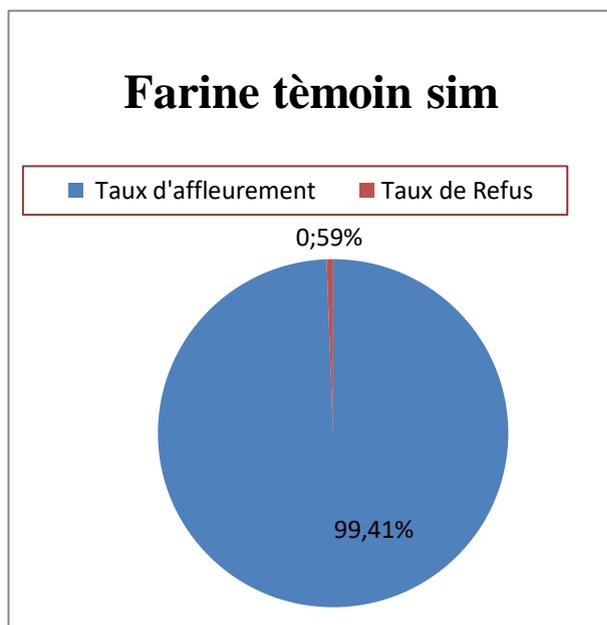


Figure (11) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine témoin Sim.

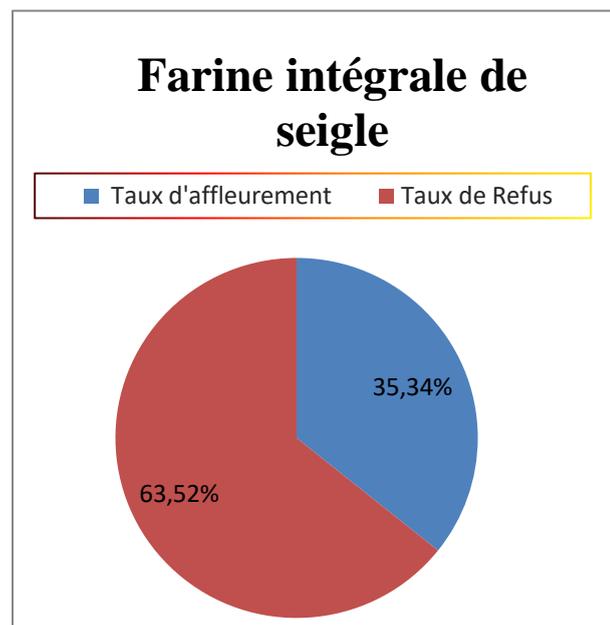


Figure (12) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine intégrale de seigle

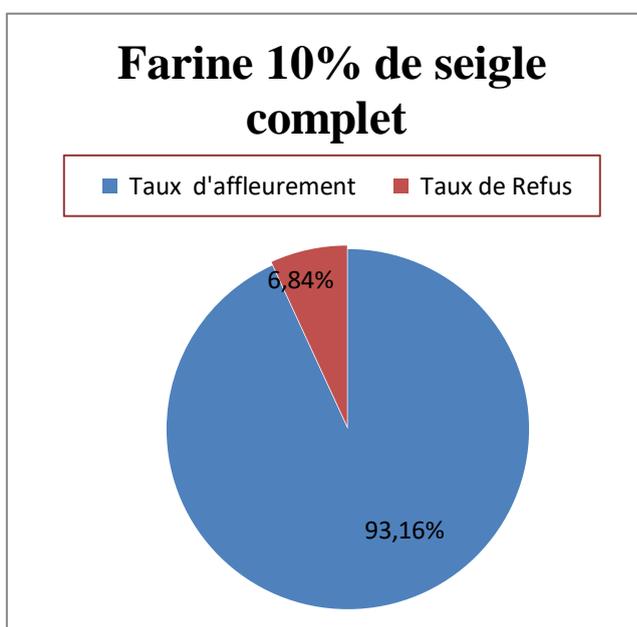


Figure (13) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 10% de SC.

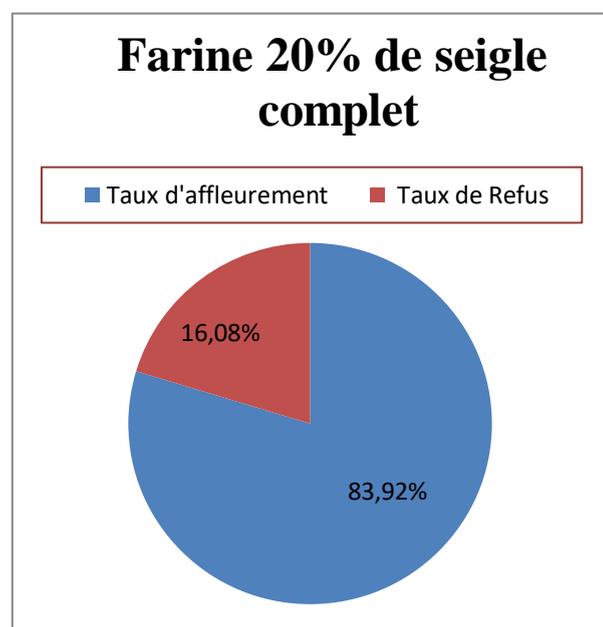


Figure (14) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 20 % de SC.

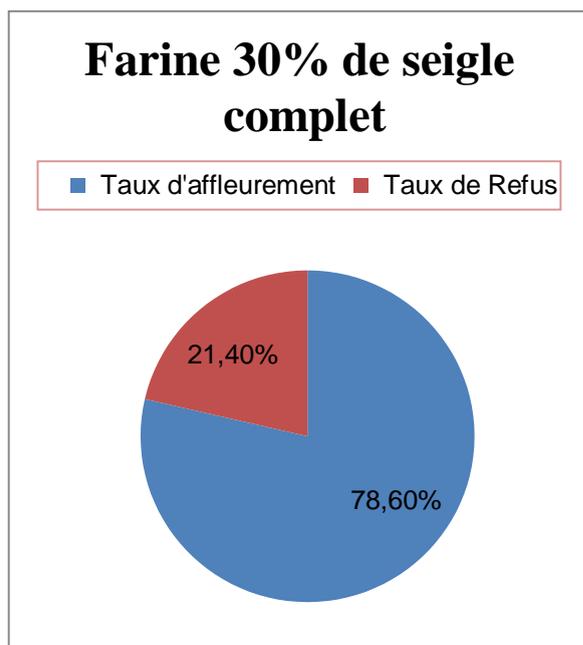


Figure (15) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 30 % de SC.

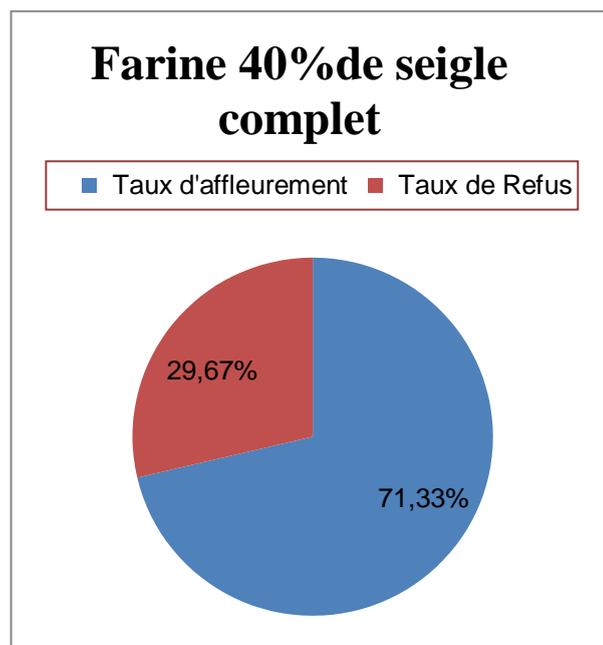


Figure (16) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 40 % de SC.

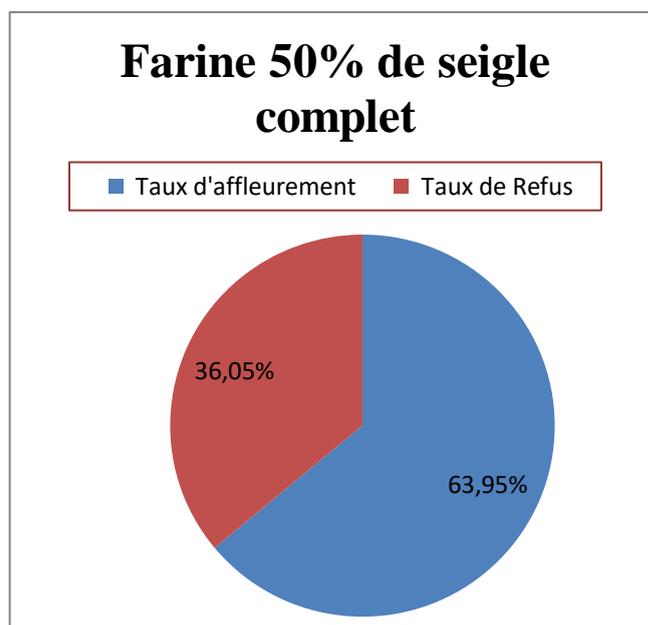


Figure (17) : Les résultats d'analyse du taux d'affleurement de farine de 50% de SC.

La granulation de la farine panifiable Sim (**temoin**) ainsi que la farine de 10% de seigle complète sont conformes à la norme (**AFNOR, 1982**) qui fixe pour une farine courante un taux de refus au tamis de maille 180 micromètre qui doit être inférieur à 10%.

La farine intégrale de seigle et les farines de 20%,30%, 40%et 50% de seigle complet ne sont pas conformes à la norme cela est dû à:

- ✓ La présence des particules de son de seigle dans la différente incorporation.
- ✓ Le réglage de l'écartement des cylindres.

VI.2.3 Taux de cendres

La mesure du taux de cendre a un intérêt essentiellement réglementaire et permet de classer les farines selon leur degré de pureté (**ITCF, 2001**).

D'après **Feuillet (2000)**, les meuniers utilisent la teneur en cendres afin de déterminer le taux d'extraction et de régler convenablement leur moulin.

D'après les résultats trouvés par (**ITCF, 2001**), les valeurs de la teneur en cendre de la farine de blé tendre varient de (0,49 à 2%) et celles de la farines de seigle de (0,79 à 2,5%). Les résultats des analyses obtenus sont indiqués dans le tableau (7).

Tableau (7) Les résultats d'analyse du taux de cendres.

| Farines | Taux de cendre % |
|--|------------------|
| Farine intégrale de seigle | 1,64± 0,02 |
| Farine temoin de Sim | 0,46±0,01 |
| Farine 10% seigle complet | 059± 0,01 |
| Farine 20% seigle complet | / |
| Farine 30% seigle complet | 1,04± 0,02 |
| Farine 40% seigle complet | /+ |
| Farine 50% seigle complet | / |
| + : test non réalisé à cause des conditions imposées par la pandémie du covid 19 | |

Les résultats indiqués dans le tableau 7, nous montrent qu'il existe une différence hautement significative entre les valeurs de la teneur en cendre des farines ($p=0,001 < 0,05$), le taux de cendre est de 1,64 % pour la farine intégrale de seigle. C'est le taux le plus élevé par rapport aux autres farines. Pour la farine de blé tendre le taux de cendre est de 0,46 %.

VI.2.4.1 La teneur en gluten humide

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

Selon Gresle, (2000). Le gluten humide conditionne la valeur technologique d'un blé.

L'analyse de la variance montre une différence significative ($p < 0,05$) de l'effet de l'incorporation de la farine de seigle sur le gluten humide. Le gluten diminue avec l'incorporation du seigle car la farine intégrale de seigle est une farine sans gluten.

Les résultats obtenus de différentes farines étudiées sont regroupés dans la figure 18.

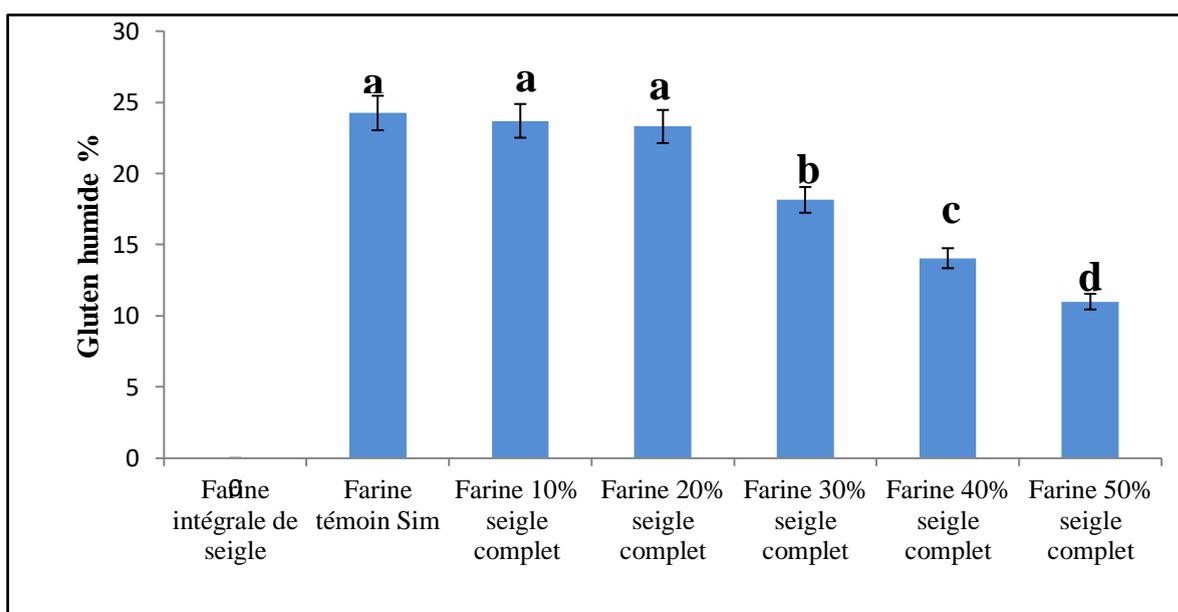


Figure 18 : Les teneurs en gluten humide des différentes farines.

La teneur en gluten humide des différentes farines varie de 11% à 24.25 %. D'après la figure 18 on remarque que le gluten humide de différentes farines présente une diminution après l'incorporation de la farine de seigle, cette diminution correspond aux taux qui varient de 24.25 % à 11% de gluten humide des farines étudiées. Cela est expliqué par le taux faible des protéines dans la farine de seigle.

VI.2.4.2 La teneur en gluten sec :

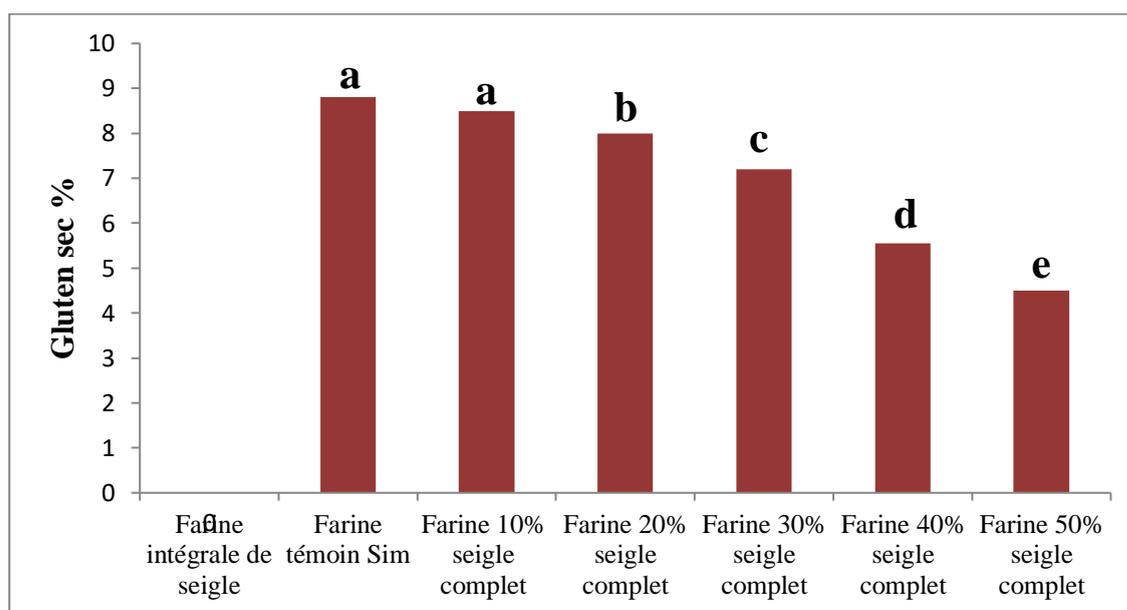


Figure 19 : Les teneurs en gluten Sec de différentes farines.

La figure 19 présente une diminution de taux de gluten sec lorsque le taux d'incorporation augmente, Les teneur en gluten sec varient entre 4.5% et 8.8%. Nos résultats rejoignent ceux de (Mahadad et Goumidi, 2019) qui ont trouvé que l'incorporation du seigle diminue le taux de gluten humide, gluten sec.

VI.2.4.3 La capacité d'hydratation :

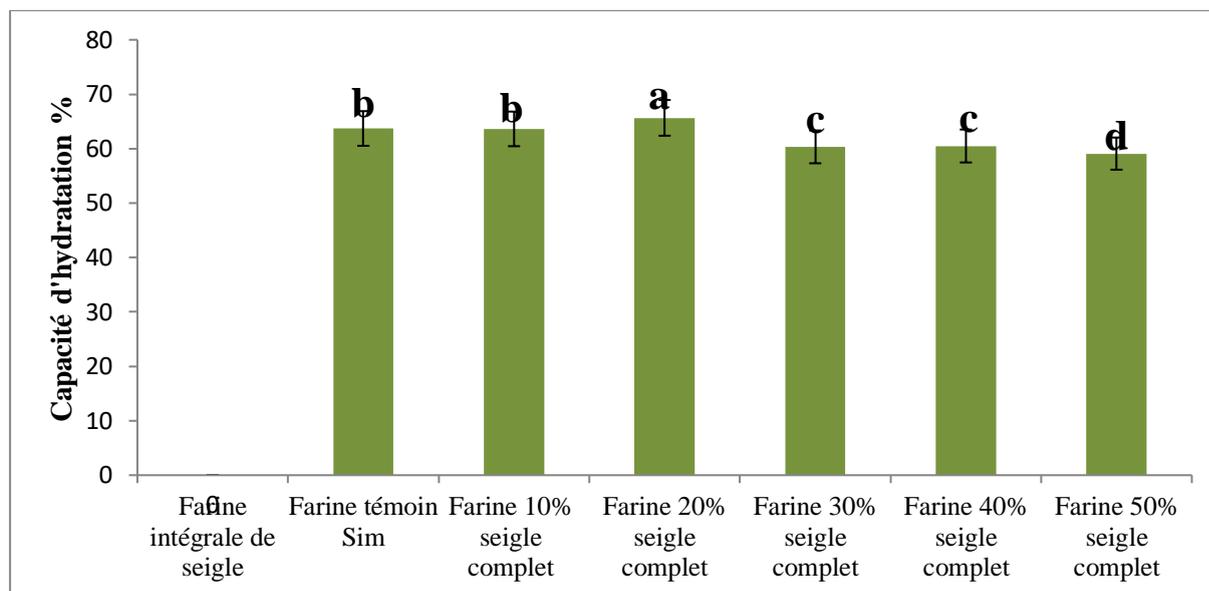


Figure20 : Les teneurs en de gluten humide de différentes farines.

La capacité d'hydratation des différentes farines varie de 59.0% à 65, 66%.

La capacité d'hydratation (CH) de différentes farines présente aussi une diminution après l'incorporation de la farine de seigle. Ce taux d'hydratation est comparable à celui de gluten d'une farine panifiable qui est d'environ 66 %.

Nos résultats corroborent avec ceux trouvés par **(Mahdad et Goumidi, 2019)** qui ont révélé que la capacité d'hydratation des farines dépend des taux d'incorporation de farine de seigle.

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

VI.2.5. Caractéristique alvéographiques

Ce test a pour objectif d'estimer les propriétés rhéologiques des pâtes lorsqu'elles sont soumises à de grandes déformations, telles qu'on observe lors des différentes manipulations mécaniques de la pâte au cours du pétrissage. **(Launary, 1997)**.

Les résultats de l'essai à l'alvéographe sont regroupés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Résultats des analyses rhéologiques

| paramètre farine | P (mm) | L (mm) | P/L | G (cm³) | W(10⁻⁴J) |
|-------------------------------------|---------------|---------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| Farine témoin Sim | 122 | 34 | 3,59 | 13 | 181 |
| Farine 10%seigle complet | 172 | 23 | 7,48 | 10,7 | 176 |
| Farine 20%seiglecomplet | 148 | 18 | 8,22 | 9,44 | 119 |
| Farine 30%seiglecomplet | 103 | 13 | 14,1 | 9,03 | 105 |
| Farine 40%seiglecomplet | /+ | / | / | / | / |
| Farine 50%seiglecomplet | / | / | / | / | / |

+ : test non réalisé à cause des conditions imposées par la pandémie du covid 19

VI.2.5.1 Gonflement « G »

L'indice de Gonflement « G » est un critère de la qualité des farines (Collas, 1991). IL renseigne sur l'extensibilité des pâtes et permet d'apprécier l'aptitude du réseau de gluten à retenir le gaz carbonique (Godon et Loisel, 1997).

Une forte extensibilité contribue à l'élaboration de pâtes collantes.

Les résultats consignés dans le tableau 8, permettent de constater que les valeurs de l'indice dégonflement de toutes les farines sont inférieures à celles préconisées par ROUSSEL (1980) qui rapporte qu'une farine panifiable doit avoir un indice de gonflement compris entre 20 et 24 cm³. En se référant aux résultats obtenus de l'analyse alvéographiques des farines, on constate que la farine témoin Sim présente un gonflement élevé par rapport aux farines incorporées de 10%, 20%, 30% de seigle complet.

VI.2.5.2 La Force boulangère « W »

La qualité boulangère est le paramètre le plus utilisé dans les transactions commerciales. IL caractérise la force d'une farine. (Calvel, 1981) a noté que si ce paramètre a de l'importance, sa signification reste limitée si l'on ne tient pas compte des autres caractéristiques alvéographiques.

(Berland et Rouse, 2005) classent en fonction du « W »:

- $W < 150$: force boulangère insuffisante.
- $150 < W < 180$: force boulangère moyenne.
- $180 < W < 220$: bonne force boulangère.
- $W > 220$: force boulangère élevée.

Les résultats des analyses alvéographiques pour les différentes farines (tableau 8) montrent que la farine témoin (Sim) possède une bonne force boulangère.

Cependant, la farine incorporée de 10% de seigle complet, possède une force boulangère moyenne.

Les résultats montrent également que le taux d'incorporation de la farine intégrale de seigle induit des modifications et diminution de la force boulangère.

VI.2.5.3 La ténacité « P »

Les farines analysées montrent des valeurs de « P » variables.

D'après Roussel, (2005) et le (tableau 9), on en déduit que les farines ont une ténacité élevé.

Lorsque le taux d'incorporation augmente, la ténacité de la pâte augmente (cas de 10% seigle complet et 20% de seigle complet).

VI.2.5.4 Elasticité « L »

Les valeurs de « L » diminuent de (34 à 13mm) avec l'augmentation des incorporations de seigle, ce qui traduit des mauvaises propriétés de levage de la pâte.

VI.2.5.5 Rapport de configuration (P/L)

Le rapport de configuration P/L traduit l'équilibre général de l'alvéogramme, c'est-à-dire l'équilibre entre ténacité et d'extensibilité des pâtes formées (Dubois, 1996).

En panification, le ratio « P/L » ne doit pas dépasser 2, avec un optimum qui se situe entre 0,4 et 0,8 (**Boggini et al., 1997**).

Les résultats du tableau 8, révèlent que le rapport « P/L » augmente en fonction de taux d'incorporation (3,59 à 14,1).

Les farines que nous avons étudiées présentent un « P/L » élevé (supérieur à 1) qui donne par la suite des pâtes trop tenaces, peu tolérantes au pétrissage et montreront une tendance à absorber beaucoup d'eau, ainsi qu'un faible gonflement. Ce qui confirme que le seigle absorbe plus rapidement l'eau lors du pétrissage.

Tableau 9: Valeurs caractéristiques moyennes des paramètres alvéographiques pour la panification.

| Appréciation | P (mm) | G (cm ³) | Ie | W (10-4j) |
|--------------|---------|----------------------|---------|-----------|
| Insuffisant | < 40 | < 20 | < 35 | < 150 |
| Moyen | 40 – 60 | 20 – 22 | 35 – 45 | 150 – 180 |
| Bon | 60 – 80 | 22 – 24 | 45 – 55 | 180 – 222 |
| Élevé | >80 | >24 | >55 | >222 |

(**Roussel et Chiron, 2005**)

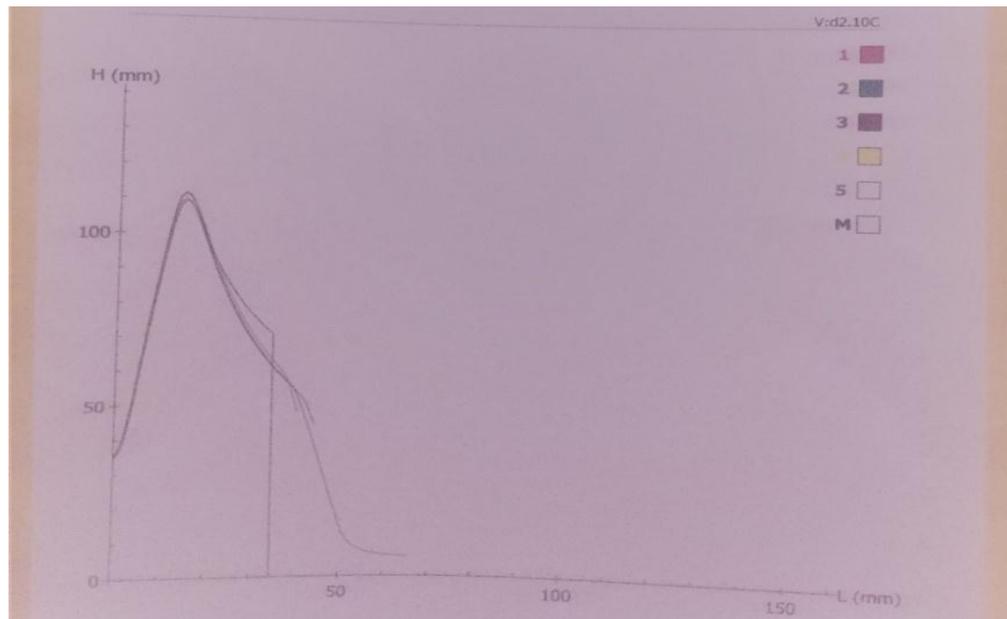


Figure 21: Alvéogramme de la farine témoin (Sim).

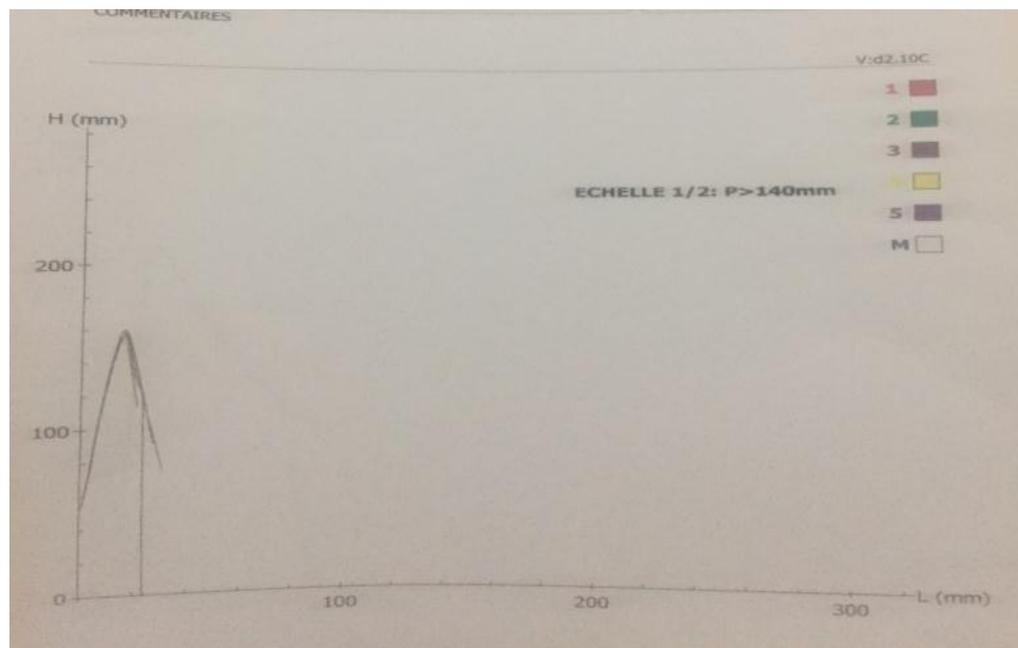


Figure 22: Alvéogramme de la farine 10% de seigle complet+ 90 %F.S.

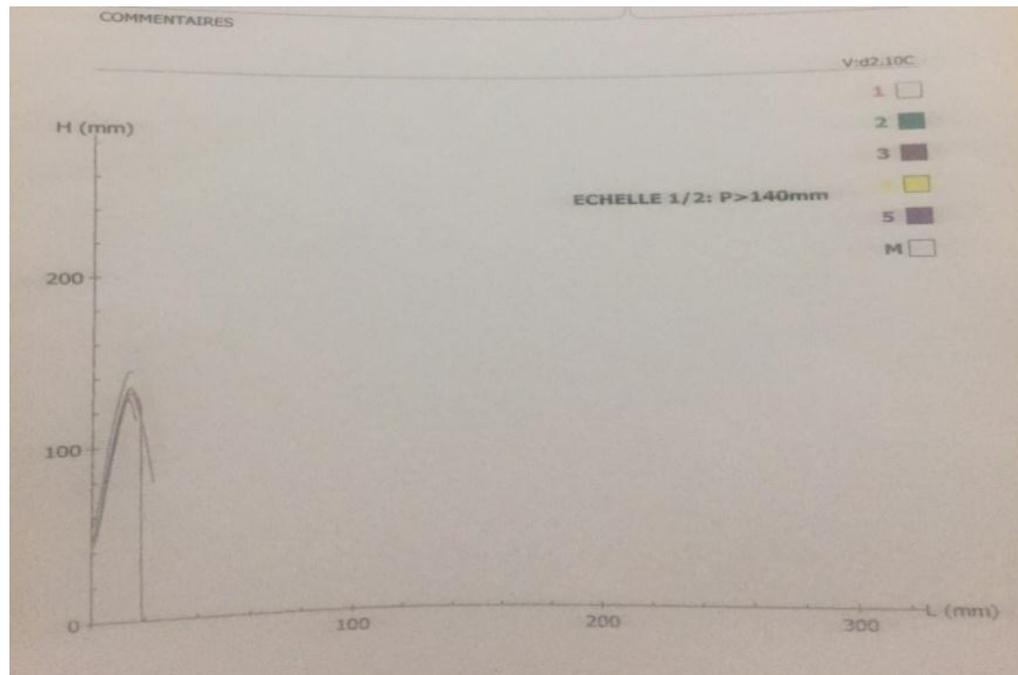


Figure 23:Alvéogramme de la farine 20% de seigle complet +80%F.S.

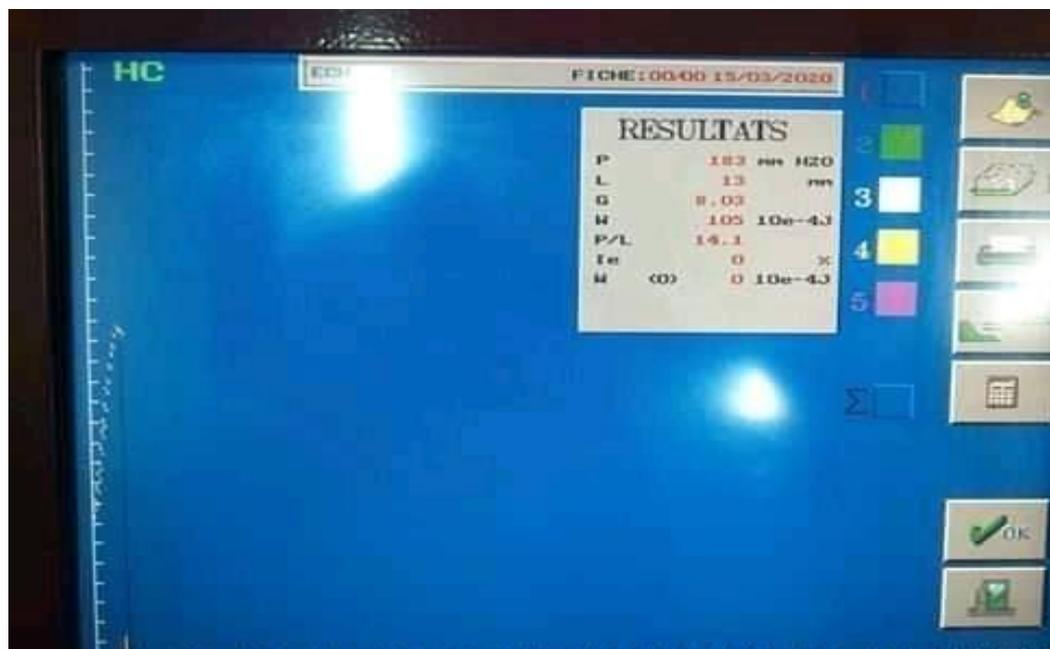


Figure 24:Alvéogramme de la farine 30% de seigle complet +70%F.S.

VI.2.6. Test de panification

Le test de panification est un test direct d'appréciation de la qualité des blés tendre, il permet de s'assurer d'une façon générale de la valeur boulangère d'un lot de blé ou d'une farine. Il permet toutefois d'apporter un jugement objectif sur la farine testée, la pâte et le produit fini.

Les grilles de présentation des résultats du test de panification sont

Rapportées dans l'annexe 1.

VI.2.6.1 Fermentation avec levure instantanée

Les résultats obtenus avec les différentes farines sont reportées dans le tableau 10.

Tableau 10: Résultats du test BIPEA de panification avec la levure instantané.

| Note | Note pâte /100 | Note pain /100 | Note Mie /100 | Valeur boulangère /300 |
|-------------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|
| Valeur | | | | |
| Pain (100%FBT. SIM) | 81,875 | 61 ,987 | 76 | 219,862 |
| Pain (10% FSC+ 90%FBT) | 68,75 | 88,375 | 61 | 218,125 |
| Pain (20% FSC+ 80%FBT) | 73 | 92,8 | 79 | 244,8 |
| Pain (30% FSC+70%FBT) | 50,125 | 73,03 | 94 | 217,155 |
| Pain (40%FSC+60%FBT) | 44,875 | 50,875 | 64 | 159,75 |
| Pain (50% FSC+50%FBT) | 38,75 | 46,75 | 43 | 128,5 |

Le pain de 20% de seigle complet a obtenu la meilleure valeur boulangère (244,8/300) et une plus forte activité fermentaire. Il est à signaler que le pain de 20% de seigle complet ne présente pas de défaut particulier.

Le pain témoin (100% de blé tendre) a marqué une valeur boulangère inférieure par rapport au pain de 20% de seigle complet (219,862/300). Il a également eu une activité fermentaire moins forte que la pâte à 20% de seigle complet et plus forte par rapport aux pâtes (10%,30%,40% et 50% de seigle complet).

Nos résultats ont montré que la meilleure valeur boulangère est donné par la farine incorporée de 20% de seigle complet (244,8), par contre (Mahdad et Goumidi, 2019) ont révélé qu'elle est obtenue avec la farine témoin soit 250,87.

Le pain de 10% de seigle complet a accusé une valeur boulangère inférieure à celle de pain de 20% de seigle complet et aussi au pain témoin (218,125/300).

Le pain de 30%,40% et 50% de seigle complet ont obtenus des valeurs boulangères respectives de (217,155/300), (159,75 /300) et (128,5/300).

On peut expliquer la diminution de valeur boulangère par l'augmentation du pourcentage de la farine intégrale de seigle qui a l'effet négative sur le volume de pain et aussi sur l'activité fermentaire à partir de taux d'incorporation 30% de seigle complet.

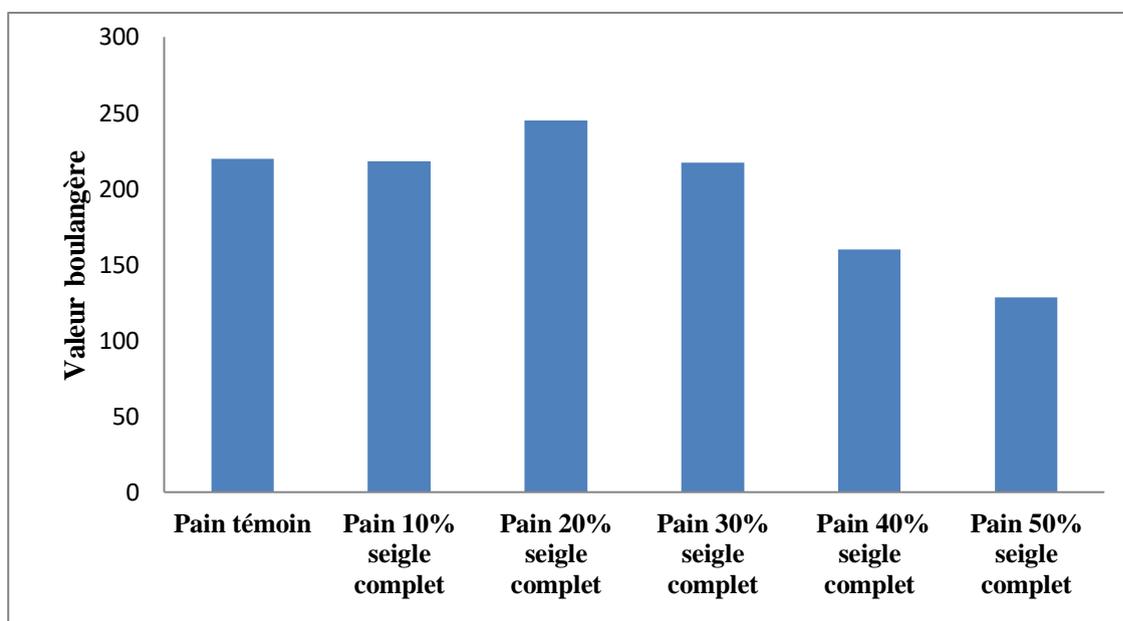


Figure 25 : Les valeurs boulangères en fonction des taux d'incorporation en seigle

Feuillet (2000) a classé la farine selon les valeurs boulangères comme suit :

- 120 < valeur boulangère < 160 : farine passable.
- 160 < valeur boulangère < 200: farine bonne pour la panification.
- 200 < valeur boulangère < 240: farine assez bonne pour la panification.

Nos farines incorporées (seigle complet- blé tendre) sont donc aptes à la panification à l'exception des farines de 40% et 50% de seigle complet.

En ce qui concerne la mie, l'évaluation de sa structure alvéolaire met en jeu un certain nombre de critères tels que la taille, la forme des alvéoles ainsi que l'épaisseur de leurs parois (**Kamman, 1970**).

L'observation effectuée sur la mie des pains ont montré que les alvéoles diminuent au fur à mesure de l'augmentation du pourcentage de la farine de seigle intégrale incorporée (**tableau 10**).

La note de l'aspect du pain (**tableau 10**) augmente de 61,987 à 92,8 après l'incorporation de la farine intégrale de seigle jusqu'au taux de 20%. Cela est dû à l'amélioration des critères : couleur, épaisseur et développement. Cela est peut-être dû à l'augmentation de l'activité alpha amylase qui s'améliore sous effet de l'incorporation de farine seigle.

La note de pain diminue jusqu'à 46,75 avec l'incorporation de 50% de farine de seigle intégrale. Cela est dû à la modification des critères de qualité induit par la diminution de gluten dans les farines incorporées à des taux élevés en seigle.

La section moins développée du pain peut être traduit par une farine de la force boulangère faible à moyenne (**Roussel, 2010**)

VI.2.6.2 Fermentation avec levain accéléré

Le pain de 10% de seigle complet sur levain accéléré a obtenu la meilleure note de panification (255,875/300) et une plus forte activité fermentaire.

Le pain témoin (100% de blé tendre) a marqué une valeur boulangère inférieure par rapport au pain de 10% de seigle complet (227,625/300) et une activité fermentaire moins forte que la pâte à 10% de seigle complet et plus forte par rapport aux pâtes à 20%, 30%, 40%, 50% de seigle complet.

Concernant l'aspect de la mie, le pain témoin est bien alvéolé par rapport au pain incorporé de 10%,20% et 30% de seigle complet sous une fermentation avec levain accéléré.

L'aspect du pain devient moins développé et des coups de lame irréguliers et moins développés à partir de 20% d'incorporation en seigle.

Tableau 11 : Appréciation de la panification avec le levain accéléré par le test **BIPEA**.

| Note Valeur | Note pâte /100 | Note pain /100 | Note Mie /100 | Valeur boulangère /300 |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| Pain (100%FBT.SIM) | 68,875 | 79,75 | 79 | 227,625 |
| Pain (10%FSC + 90% FBT) | 89,25 | 84,625 | 82 | 255,875 |
| Pain (20% FSC + 80% FBT) | 56,75 | 60,225 | 79 | 195,975 |
| Pain (30% FSC +70% FBT) | 46,25 | 60,187 | 76 | 182,437 |
| Pain (40% FSC +60% FBT) | 65 | 50,1 | 49 | 164,1 |
| Pain (50% FSC +50% FBT) | 37 | 23,375 | 46 | 106,375 |

VI.2.6.2 Volumes spécifiques des pains

Le volume spécifique des pains est un attribut crucial qui influence acceptabilité par le consommateur. Il est fortement influencé par la quantité de gaz retenu par la pâte, plus la capacité de rétention de gaz de la pâte est élevée, plus est important le volume des pains (**Balla et al, 1999**).

Selon **James et al, (2004)** le volume spécifique du pain doit être supérieur à 3, 0 cm³/g. Les résultats obtenus sur les différents pains révèlent des volumes spécifiques conformes aux normes et sont présentés dans (**le tableau 12**).

Néanmoins, l'accroissement des taux d'incorporation du seigle diminue le volume spécifique des pains pour les deux types de fermentation. Cette diminution commence à

partir de 20% d'incorporation chez les pains ayant subi une fermentation avec levure instantanée.

La diminution de volume de pain et du a la qualité technologique de la farine de seigle (diminution de gluten).

D'après (**Tandeau, 2014**) la diminution de volume de pain est dû aussi a :

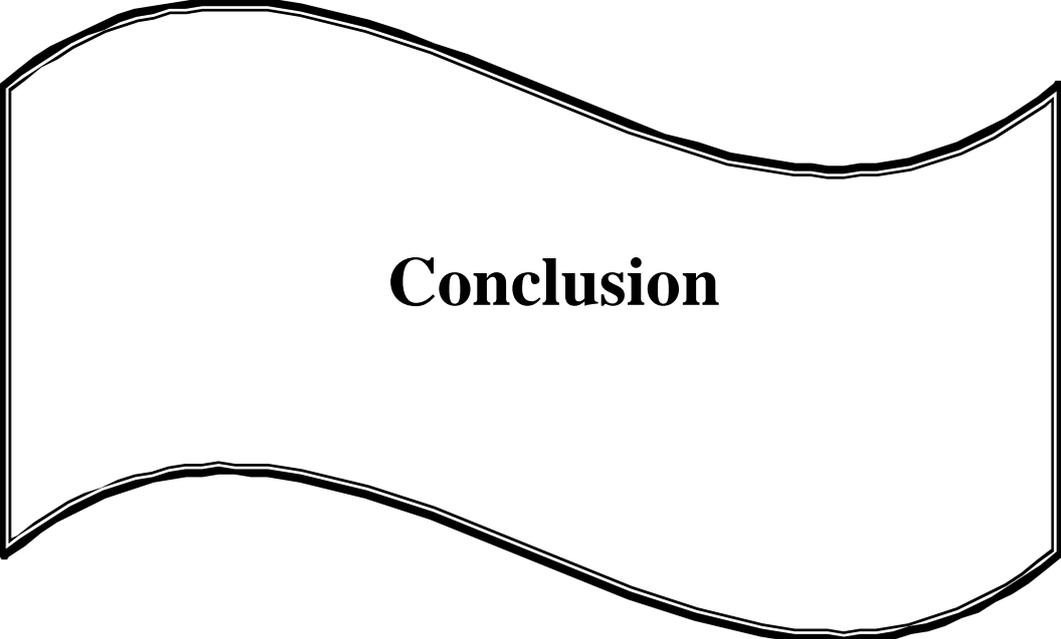
- Un excès ou un manque de fermentation entraînera des problèmes de développement. La durée de pointage, le dosage de levure et son activité ou encore la température de la chambre de pousse sont à contrôler.

- Une température trop basse, un excès de buée ou un four trop faible (notamment avec des fournées successives de pâtes froides) peuvent expliquer des défauts de développement, voire d'affaissement. Au contraire, un four trop vif peut bloquer le développement et un déficit de buée (parfois lié à un appareil entartré) peut induire des déchirements de grigne.

Singh et al. (1990) rapportent que le volume des pains est directement proportionnel à la quantité et la qualité des gluténines, en particulier les gluténines de hauts poids moléculaires dans lesquelles les réactions d'oxydations et les ponts dissulfures exercent une action importante sur les propriétés viscoélastiques des pâtes qui déterminent un meilleur gonflement et des pains bien expansés

Tableau 12 : Les volumes spécifiques des pains

| pain volume | Témoin | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Volume Spécifique sur levure | 4,33cm ³ /g | 4,33cm ³ /g | 6,08cm ³ /g | 4,41cm ³ /g | 3,85cm ³ /g | 3,7cm ³ /g |
| Volume spécifique sur levain accéléré | 4,2 cm ³ /g | 4,76cm ³ /g | 4,7cm ³ /g | 4,3cm ³ /g | 3,9cm ³ /g | 3,10cm ³ /g |



Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail est la détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différentes farines (temoin et mixte blé-seigle) et leur aptitude à la panification.

Les résultats des analyses physicochimiques du seigle nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Le poids à l'hectolitre, le résultat obtenu a montré que le seigle est léger.
- ✓ Le poids de 1000 grains a montré que le seigle est constitué de petits grains.
- ✓ Les grains de seigle sont caractérisés par un PS et un PMG très faible, donc présente une valeur meunière plus faible par rapport au blé tendre.
- ✓ La teneur en eau du seigle et la farine panifiable de blé tendre permet une conservation correcte.

Les résultats des analyses physico-chimiques et technologiques des farines avec différents taux d'incorporation de seigle nous ont permis de révéler que :

- ✓ les taux d'humidité des échantillons sont conformes aux normes.
- ✓ La présence de la farine de seigle diminue le gluten des farines
- ✓ La farine intégrale de seigle est fortement minéralisée par rapport à la farine panifiable, la pureté des coupages se réduit d'autant plus que le pourcentage d'incorporation s'élève, ce qui constitue un inconvénient pour l'aspect des farines et des pains issus.
- ✓ Les taux d'affleurement des farines sont inférieures à 95 % sauf la farine témoin de blé tendre ce qui ne permet pas de maîtriser le diagramme de la mouture.
- ✓ Le test alvéographique montre que plus le taux d'incorporation de la farine intégrale de seigle est important plus le travail de déformation de la pâte est diminué.

L'aptitude des mélanges des deux farines (seigle et blé tendre) à la panification a été étudiée à travers l'essai de panification qui reste le moyen le plus garanti pour juger la valeur boulangère d'une farine.

- Les pains de 20% de seigle complet sur levure instantanée ont présenté un meilleur aspect extérieur et des croûtes régulières, lisses et de coloration attractive, la mie est de couleur crème, avec des alvéoles de forme régulière.
- Les pains de 10% de seigle complet sur levain accéléré ont présenté un meilleur aspect extérieur et des croûtes régulières, lisses et de coloration

Conclusion

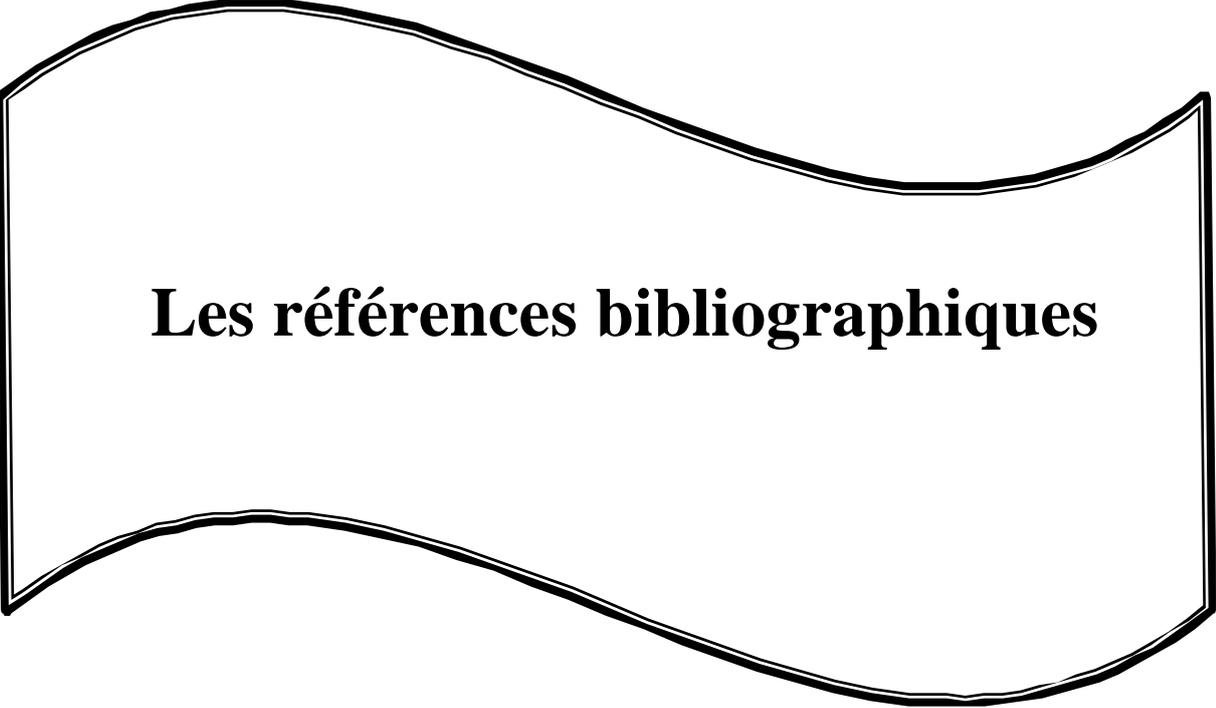
attractive, La mie est de couleur crème, avec des alvéoles de forme irrégulière.

- La meilleure valeur boulangère a été obtenue après l'incorporation de 10% de seigle complet et avec une fermentation sur levain accéléré est (255,875/300).

Au regard des résultats obtenus, la farine de seigle s'intègre bien dans la démarche de valorisation des farines locales en Algérie pour produire des pains à moindre coût et bonne qualité nutritionnelle.

En perspective et dans le but d'une meilleure valorisation des farines de seigle :

- il serait intéressant d'étudier d'autres variétés de seigle.
- tester divers améliorants pour améliorer les caractéristiques rhéologiques des pâtes issues des farines mixtes.
- compléter l'étude en réalisant des analyses plus poussées sur la qualité nutritionnelle des farines mixte seigle –blé tendre, fermentation sur levain naturel , dosage des vitamines, les fibres solubles, les minéraux, test de conservation et faire une enquête sur l'acceptabilité des pains chez le consommateur algérien.



Les références bibliographiques

Références

A

- 1) **Ablett, S., Attenburrow, G.E., et Lillford, P.J. (1986).** The significance of water in the baking process. In Chemistry and Physics of Baking. Materials, processes and products. Blanshard, J.M.V, Frazier, P.J. and Galliard, T. (eds). Royal Society of Chemistry, Londres, **30-41**.
- 2) **Aldiguier ,A.S., Alfenore, S., Cameleyer, X., Goma, G., Uribelrrea, J.L.,Guilouer ,S.E., and Molina-Jouve, C.(2004).** Synergistic temperature and ethanol effete on Saccharomyces cerevisiae dynamic behavior in ethanol bio-fuel production bioprocess biosyst Eng; 26:217-222.
- 3) **Alonso-Blanco, C., Goicoechea, P.G., Roca, A., Giraldez, R.(1993).**"Genitic linkage between cytological markers and the seed storage protein loci Theoretical and Applied Genetics", 87, 321-327.
- 4) **Allen, W.G., Spradin, J.E. (1974).** Amylase and their properties the bakers digest, p 14-23.
- 5) **Aman, P., Andersson, A.A.M., Rakha, A., Andersson, R. (2010).** Rye a healthy cereal full of fiber. Cereal Foods World 55:231-340.
- 6) **Aman, P., Nilsson, M., Andersson, R. (1997).** Positif Health Effects of Rye Cereal Foods World 42:684-688.
- 7) **Anderson, R.P., wieser, H. (2006).** ' Medical applications of gluten-composition knowledge', in wrigley C, Bekes F and Bushuk W, Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality, St Paul, M.N, USA, A.A.C.C International, 387-409.
- 8) **Autio et Laurikainen. (1997).** Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. Trends in Food Science & Technology. 185 p.

B

- 9) **Bach Knudsen, K.E., Norskov, N.P., Bolvig, A. K., Hedemann, M.S., Laerke, H.N. (2017).** Dietary fibers and associated phytochemicals in cereals. Molecular Nutrition and Food.
- 10) **Baker, J.C., Mize, M.D.(1941).** The origin of the gas cell in bread dough. Cereal Chemistry, (18) 19 – 34.Baker, J.C. et Mize, M.D. (1941). The origin of the gas cell in bread dough. Cereal Chemistry, (18) 19 – 34.
- 11) **Beney, L., Martinez, I., Marchel, P., Moundaga, S., and Gervais, P. (2001).** Osmotic destruction of Saccharomyces cerevisiae is not related to a high water flow rate across the member biochemical engineering journal ;9;205-210.
- 12) **Berry, C.P. (1971).** The characterization of triticale starch and its comparison with starches of rye, durum, and HRS wheat. Cereal Chemistry 48, 415-427.

- 13) Bellam et Fould Springer. (1996).** Levure et panification -Nathan Communication.73 p. Paris.
- 14) Bloksma, A.K. (1990).** Dough structure, dough rheology and baking quality. Cereal.
- 15) Boggini, G., Tuda, P., Di Sikvestro, S.,Pogna, N. E. (1997).** Agronomical and quality characteristics of durum wheat lines containing the 1BL/1RS translocation. J. Genet. Breed., n. 53, pp. 167-172.
- 16) Bouleghie, R., Ouabed, k. (2002).** Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état, département de nutrition de l'alimentation et des technologies agro alimentaires, D.N.A.T.A.A. P 19- 34.
- 17) Bourgeois, C. M., Leveau, J. Y. (1991).** Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Vol.III: le contrôle microbiologique. (Ed) Lavoisier. 451p, Paris.
- 18) Botton et al. (1990).** Moisissures utiles et nuisibles d importance industrielle. 2éme édition. Masson. Collection Biotechnologies : 34-381p.
- 19) Bushuk, W. (2001).** Rye: production and use worldwide. Cereal, Chem World 46.(2): 70-73.

C

- 20) Calvel, R. (1984).** La boulangerie moderne, Ed Egrolle. 459p. France.
- 21) Calvel, R. (1990).** Le gout du pain : comment le préserver, comment le retrouver. Éditions Jérôme Villette, ISBN 2 - 86547 - 016 - 4.
- 22) Chardouh, A. (1999).** Caractéristique biochimique et génétique des réserves de blés durs algériens (triticum durum). Relation avec la qualité. Thèse de magister. 73p.
- 23) Chargelegue, A.,Guinet, R., Neyreneuf, O., Onno, B., et Poitrenaud, B. (1994).** La fermentation, In : La panification française. Lavoisier-Apiaria, Tec et Doc, Paris,Vol. 528. 283-325.
- 24) Cheriet, G. (2000).** Étude de la galette différente types recettes et mode de préparation. 99p.
- 25) Clement, P. (1992).** Lesaffre Développement, Marcq-en-Baroeul, France. Adaptation des levures aux besoins de la boulangerie européenne. 9e congrès international des céréales et du pain. Paris, France.
- 26) C.N.E.R.N.A. (1987).** Centre National de Coordination des Etudes et recherche sur la Nutrition et l'Alimentation.

27) Collar, C., Mascaros, A., Brito, M., and Benedit De Barber, C.(1991). Contribution of the microbial mass to the nitrogen profile of wheat bread doughs starterd with pure cultures of yeast and lactic acid bacte- ria - Z. Lebens. Unters. Forsch.193, 332-336.

28) Collas, A. (1991). Définition de la qualité des farines pour différent utilisations en industrie de première transformation des céréales, Ed .Tec et doc, Lavoisier. Paris.

D

29) D'acosta,Y. (1986). Le gluten et ses applications, Ed : Paria, 126p, paris, France.

30) Dahl, W. J., Agro, N. C., Eliasson, A. M., Mialki, K. L., Olivera, J. D., Rusch, C. T. (2017). Health benefits of fiber fermentation. Journal of the American College of Nutrition, 36(2), 127-136.

31) Debiton, C. (2010). Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protonique de lignées iso géniques waxy. Thèse de doctorat .Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. France.

32) Demiralp, H., Çelik, S., et Koxsel, H. (2000). Effects of oxidizing agents and defatting on the electrophoretic patterns of flour proteins during dough mixing. European Food Research and Technology. 325 P.

33) Delachaux, N. (1983). Alimentaire boulanger - pâtissier Édition aspes. 7-8 p.

34) Dubois. (1996). Les farines : caractéristiques des farines et des pates. In : industries des céréales. N°97. Ed : Lavoisier. Paris.

E

35) EFSA. (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to rye fibre and changes in bowel function (ID 825), reduction of post prandial glycaemic responses (ID 826) and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentration (ID 827) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal, 9(6), 2258.

36) Ewart, J.A.D. (1977). Proteine and Proteasen beider Brotherstellung. Getreide Mehl Brot (31)131-144.

37) ENSMIC. (2007-2008). ALIMENTATION HUMAINE – Condensé de cours – Annick Le Blanc .

F

38) FAO. (1990). Utilisation des aliments tropicaux : céréale, légumes secs, légumineuse, produits dérivés, et protéines végétales programme mixte FAO/ OMS sur les normes alimentaires, volume 7.2 édition .101p.

39) **Feillet. (2000)** : Le grain de blé, composition et utilisation, Ed: INRA, paris.

40) **Ferreira., Fennesy. (1997)**. Saccharomyces cerevisiae: importance dans le développement des sociétés humaines. Rôle dans l'industrie agro-alimentaire et en thérapeutique. Thèse Pharmacie. Paris XI.119 p.

41) **FoodDB (3/19/2018)**, Version 1.0. Retrieved from Aman, P., and Tetens, I. (2013). Whole grain foods and health- a Scandinavian perspective. Food and Nutrition.

42) **Frederiksen, S., Petersen, G. (1998)**. A taxonomic revision of Secale L. (Triticeae, Poaceae). Nordic J Bot. 18: 399-420.

G

43) **Godon, B. (1982)**. Valeur meunière et boulangère des blés tendres et de leurs farines conservation et stockage des grains et produit dérivé céréales, oléagineuse protéagineux aliments pour animaux, 1009-1028 p.

44) **Godon, B et Loisel. (1997)**. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales 2eme édition : Tec et Doc. Lavoisier. Paris.

45) **Godon, B. et Willm, C. (1998)**. Les industries de première transformation des céréales. Tec et Doc. Lavoisier. 679p, Paris.

46) **Godon, B., et Guinet, R. (1994)**. La panification, Edition Lavoisier Tec et Doc. 552p, New York.

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

48) **Guiraud, J., Galzy, P.(1998)**. Microbiologie alimentaire. Ed. Dunod. 615 p, Paris.

49) **Guinet, R., Godon, B.(1994)**. La panification Française. Ed. Tec & Doc. 521 p, Paris.

50) **Glistø, L. V., Gruppen, H., Schols, H. A., Højsgaard, S., Sandström, B., Bach Knudsen, k. E. (1999)**. Degradation of rye arabinoxylans in the large intestine of pigs. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(7), 961-969.

51) **Gresel, E. (2000)**. Les caractéristiques des blés de récolte 1999, vues par la méthode Gluten index. Industries des céréales, n. 118, 20-27p.

H

52) **Hashimoto, Y., Shudo, K. (1996)**. Chemistry of biologically active benzoxazinoids. Phytochemistry 43: 551-559.

53) **Hansen, H.B., Moller, B., Andersen, S.B., Jorgensen, J.R., et Hansen, A. (2004)**. Grain characteristics, chemical composition, and functional properties of rye (*Secale cereale* L.) as

influenced by genotype and harvest year' , Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 2282-2291.

54) Hemery, Y., Lullien-Pellerin, V., Rouau, X., Abecassis, J., Samson, Mf., Aman, P., (2009) Biochemical markers: Efficient tools for the assessment of wheat grain tissue proportions in milling fractions. *J Cereal Sci*: 49: 55-64.

55) Herskowitz, I. (1988). Life cycle of the budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* *Microbial. Rev* 52(4):536-53.

I

56) I.T.C.F. (1995). Contrôle de la qualité des céréales et protéagineuse guide pratique Ed, 253p. I.T.C paris.

57) I.T.C.F. (2001). contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique ITCF. Laboratoire qualité des céréales.

J

58) Jeantet, R., Thomas, C., Pierre, S., Gérard, B., (2007). Sciences des aliments, volume 2. Technologie des produits alimentaires, Ed-techniques et documentation- Lavoisier, 100p, Paris.

59) Jones et coll, (1981)., winter, (1988). Observations of a persistent upwelling center off Point Conception. California. In: Suess, E., Thiede, J. (ed.) Coastal upwelling. Plenum Press, 37p, New York.

60) Junge, R.C., and Hoseney, R.C. (1981). A mechanism by which shortening and certain surfactants improve loaf volume in bread. *Cereal Chemistry*, 58, 408-412.

K

61) Kleijer, G., Levy, I., Schwerzei, R., Fossati, D., et Brabant, C. (2007). Relation entre le poids à l'hectolitre et plusieurs paramètres de la qualité dans le blé, revue suisse Agric.

62) Koistinen, V. M., Hanhineva, K. (2017). Mass spectrometry-based analysis of whole grain phytochemicals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1688-1709.

63) Korpela, J., Korpela, R., Adlercreutz, H. (1992). Fecal bile acid metabolic pattern after administration of different type of bread, *Gastroenterology* 103:1246-53.

64) Kouidri, A., Kouidri, F. (1996). Contribution à l'étude des fibres alimentaires des céréales (Orge, Avoine et Seigle) en vue de leur incorporation dans les produits diététiques Mémoire de fin d'étude, I.N.A, El-Harrach, Alger.

65) Lai, Q.P (2010). Utilisation des levures non *Saccharomyces* en œnologie : études des interactions entre *Torulaspora delbrueckii* et *Saccharomyces cerevisiae* en cultures mixtes, thèse de doctorat, université de Toulouse.

- 66) Landström, M., Zhang, J-X., Hallamans, G., Aman, P., Bergh, A., Damber, J-E., Mazur, W., Wähälä, K., Adlercreutz, H. (1998).** Inhibitory effect of rye and soy diets on the development of dunning R3327 prostate adenocarcinoma in rats. *The Prostate* 36:151-61.
- 65) Lai, Q.P (2010).** Utilisation des levures non saccharomyces en œnologie : études des interactions entre *Torulaspora delbrueckii* et *Saccharomyces cerevisiae* en cultures mixtes, thèse de doctorat, université de Toulouse.
- 66) Landström, M., Zhang, J-X., Hallamans, G., Aman, P., Bergh, A., Damber, J-E., Mazur, W., Wähälä, K., Adlercreutz, H. (1998).** Inhibitory effect of rye and soy diets on the development of dunning R3327 prostate adenocarcinoma in rats. *The Prostate* 36:151-61.
- 67) Langraf, F. (2002).** Produits et procédés de panification. Edit. Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, 7 p. Rouen.
- 68) Launay, B et Bartolucci, J, C. (1997).** Teste de panification In guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Collection science et technique agroalimentaire. 2ème Ed : Tec et Doc : Lavoisier. Paris.
- 69) Larpent- Gourgoud et Sanglier. (1992).** Biotechnologies. Principes et méthodes : 574-581p.
- 70) Larpent, J. P., Gourgoud, M. (1985).** Élément de microbiologie. Ed. Herman. 464p, Paris.
- 71) Larpent, J. P., (1991).** Biotechnologie des levures. Ed. Masson, 426 p, Paris.
- 72) Leyral, G., et Vierling, É. (2007).** Microbiologie et toxicologie des aliments: hygiène et sécurité alimentaires. 4ème édition, Doin, 36p.
- 73) Liu, R.H. (2007).** ' Whole grain phytochemicals and health', *Journal of Cereal Science*.

M

- 74) Mac Ritchie, F. (1976).** The liquid phase of dough and its role in baking. *Cereal Chemistry*, (53) 318 - 326.
- 75) Mahdad, FZ., Goumidi, C. (2019).** Évaluation des propriétés physico-chimiques et rhéologiques de la farine de seigle. Mémoire de Master, Université Blida 1, Blida. 70p.
- 76) Malki, R., Malki, Y. (2016).** Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel ERIAD TADEMAIT. Mémoire de Master. Université M'hamed Bouguara, Boumerdes. 87p.
- 77) Mauzé, C., Scotti, G. (1968).** Guide pratique d'agrégation des blés. Institut technique des céréales et des fourrages.

78) Maréchale, P.A., Martinez., Poirier, I., et Gervais, P. (1999). The importance of the Kinetics of application of physical stresses on the viability of microorganism: significance for minimal food processing. Trends in food science and technology; 10:15-20

79) Mcleod, J.G. (2010).'Seigle est le nom commun donné aux espèces du genre Secale, membres de la famille des graminées (Gramineae), et aux CÉRÉALES produites par ces espèces. Le seigle occupe le deuxième rang derrière le BLÉ parmi les grains qui entrent dans la fabrication du pain'. 05p.

80) Messid, N., Radja, H. (2016). Essai de panification avec un améliorant biologique « Farine de malt». Mémoire de Master. Université M'hamed Bougara. Boumerdes. 118p.

81) Meziani, S. (2012). Influence du procédé de congélation sur les levures et les propriétés techno-fonctionnelles des pâtes sucrées (type Kougelhopf). Thèse Université de Lorraine, Nancy. 122 p.

82) Mohand, S.C. (2015).«La réintroduction de la culture du seigle serait avantageuse». Thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 121p.

N

83) Niemeyer, H.M. (2009). Hydroxamic acids derived from 2- hydroxy-2H-1,4-benzoxazin-3 (4H)- one: Key defense chemicals of cereals. J. Agric. Food Chem. 57:1677-1696.

84) Nyman, M., Siljeström, M., Pedersen, B., Bach Knudsen, K.E., Asp, N-G., Johansson, C-G. and Eggum, B.O. (1984). Dietary Fiber Content and Composition in Six Cereals at Different Extraction Rates. Cereal Chem. 61:14-19.

85) Nyström, L., Lmpi, A., Andersson, A.M., Kamal eldin, A., Gebruers, K., Courtin, C M., Delcour, J.A., Lil, Ward, J.L., Fras, A., Boros, D., Rakszegi, M., Bedö, Z., Shewry, P.R., Piironen, V. (2008).' Phytochemicals and dietary fiber components in rye varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen', Journal of Agricultural and food chemistry, 56, 9758-9766.

P

86) Prats, J., Clément, M., Grandcourt. (1970). Les cereals 301-311p., 364p.

87) Prats, J., Grandcount, M. C.(1971). Les céréales 2ème éd. Coll d'enseignement Agricole. 288p.

88) Paul, B. (1984). Céréale et oléagineux manutention, commercialisation, transformation- institut international du Canada pour le grain Winnipeg, Manitoba – la meunerie. 579p.

R

89) Regnault, I.P. (1990). Microbiologie générale - Vol. Ed. Vigot -859 p.

90) Rose, A.H et Harrison, J.S. (1971). The yeast vole, 4, 2 ém edition 297p.

91) Ross, A.B., Kamal-Eldin, A., et al.(2003). Cereal alkylresocinolins are absorbed by humans. *J Nutr J*: 133(7): 2222-4.

92) Roussel, P., et Chiron, H. (2002). Les pains français : Evolution, qualité, production. 1ère édition. MAE-ERTI, 200 p, France.

93) Roussel, P et Chiron, H (2005). Les pains français : évolution, qualité, production science et technologie des métiers de bouche, ISSM 1297-2606.

94) Roussel, P. (1980). Caractéristiques boulangères des blés : industries des céréales.

95) Roussel, P., Chiron, H., Della, V., et Ndiaye, A. (2010). Glossaire terminologique appliqué au pain français.

S

96) Sanderson, G.W. (1985). Yeast products for the baking industry. *Cereal foods world* 30. 770-775.

97) Sapirstein, H.D., Bushuk, W. (2016). Rye grain: its genetics, production, and utilisation. Wrigley, C., Corke, H., Seetharaman, K., Faubion, J. (Eds), *Encyclopedia of Food Grain*, vol.I, Elsevier Ltd, oxford, UK, 159p.

98) Sauvant, D. (1979). Les céréales (encyclopédie des techniques agricoles), N° 25, Ed : Saita. Paris.

99) Seibel, W., Weipert, D. (2001b). 'Animal feed and industrial uses', in Bushuk W (ed.), *Rye: Production, Chemistry and Technology; Second Edition*, St. Paul, MN, AACC International, 213p.

100) Selselet, A., (1991). Technologie des céréales et produits dérivés. Institut de technologie agricole de Mostaganem. 147p.

101) Shewry, P.R., Bechtel, D.B. (2001). 'Morphology and chemistry of the rye grain'. in Bushuk W (ed.), *Rye: Production, Chemistry and Technology; Second Edition*, St.

102) Small, E. (1999). New crops for Canadian agriculture. Rye: (*Secale cereale* L.). In: Janick (ed). *Perspectives on new crops and new uses*. Alexandria V.A: ASHS Pr. 15-52p.

103) Soualem-Mami, Z., Brixi-Gormat, N., Djaziri, F-Z., Hmimed, S., Belarbi, M.(2015)."Phytothérapie, Effet du son de seigle chez le rat diabétique" 13 (4), 223-230.

104) SPCNA-Socieda. (2003). De Portuguesa de Ciências da Nutrição e Alimentação.g, *Diário da St. Paul, MN, AACC International*.

105) **Spicher ,G. (1983).** Baked Goods, In : Biotechnology Vol. 5 Verlag Chemie Ed. G Reed

T

106) **Talamalil. (2000).** La libération du marché des céréales en Algérie office algérien interprofessionnel des céréales OAIC Acte du premier symposium internationale sur la Filière blé, Alger, Algérie, (2000), 11- 18p.

107) **Tatham, A., Shewry, P. (1995),** ' The S-poor prolamins of Wheat, barley and rye', Journal of Cereal Science, 22, 1-16.

108) **Tchango Tchango. (1996).** Qualité microbiologique des jus et nectars de fruits exotiques. Croissance et thermorésistante des levures d'altération, Thèse: Sciences: Lille; n 50376-25. 217 p.

109) **Thuriaux, P. (2004).** Les organismes modèles : "la levure" .Ed. DECLIN,144p, Paris.

110) **Tortora, G.J., Anagnostakos, N.P. (1987).** Principes d'anatomie et de physiologie. Ed. INC, 5 ème édition, 688-693p.

V

111) **Van Vliet, T.,Janssen, A.M.,Bloksma, A.H ., and Walstra, P. (1992).** Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. Journal of Texture Studies (23) 439-460

112) **Vladescu, B.(1994).** La levure dans les industries alimentaires Ed. Tec & Doc.56 p, Lavoisier.

W

113) **Watson, J.D., Hopkins, N.H., Roberts, J.W., Stteitz, J.A., and wainer, A.M. (1987).** Yeast as the ;E.coli of eukaryotic cell. Molecular biology of gene ;Benjamin .communing :550-593.

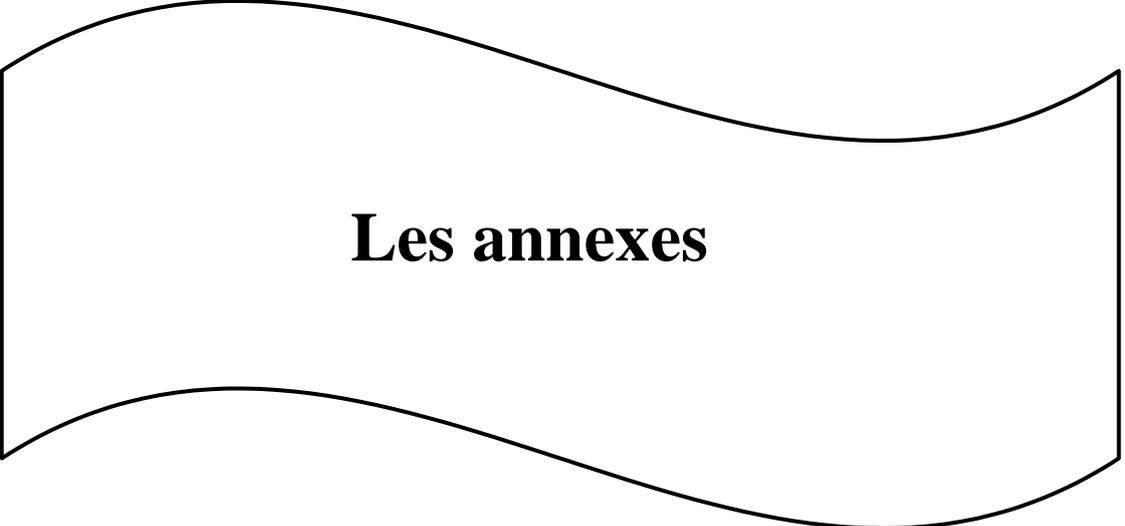
114) **WCRF ET AICR.(2017).**Diet, nutrition, physical activity and colorectal cancer. In W.C.R Fund, et A.H.f.C. Research (Eds). World canser research fund international.

115) **Wieser, H., Koehler, P. (2008).** 'The biochemical basis of celiac disease', Cereal Chemistry, 85, 1-13.

Site web

Anonyme 1 : <http://faresonpain.free.fr>.

<https://www.elwatan.com/edition/economie/la-reintroduction-de-la-culture-du-seigle-serait-avantageuse-09-08-2015>.



Les annexes

L'annexe 1: Spécialement pour les grilles de présentation

Levure

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim témoin

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|---|-----|--------------------|
| | 1 | 4 | 7 | 10 | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Relâchement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 22 x coef (0,75) = 16,5 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Allongement | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 20,5x coef (0,75) = 15,375/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Tenue | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 30 x coef (1) = 30 / 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 81,875 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 16,237 | | 16,237 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | | | X | | | x 2 | 14 | |
| Epaisseur | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Coup: développement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Lame : Déchirement | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 61 x coef (0,75) = 45,75/ 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 61,987/ 100 | | |
| Couleur | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Texture : souple | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Collant | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Alvéolage : régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Epaisseur | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | | X | | | | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 76 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 219,862/ 300 | | |

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.
Farine Sim +10% de seigle

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | |
|---|--------------|---|---|---|----|-------|---|-------|--|--------------------|
| | 1 | 4 | 7 | 7 | | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Relâchement | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Pétrissage | | | | | | | | | Total = 17,5 × coef (0,5) = 8,75 / 25 | |
| Détente : relâchement | | | | | X | | | x 1 | 10 | |
| Pointage | | | | | | | | | Total = 10 / 10 | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Façonnage | | | | | | | | | Total = 25x coef (1) = 25/ 25 | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | | Total = 10 / 10 | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Tenue | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Mise au four | | | | | | | | | Total = 24 x coef (0,75) = 18 / 30 | |
| | | | | | | | | | Total pâte = 68,75 / 100 | |
| Volume du pain | | | | | | | | | Total = 19,875/30 | 19,875 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Épaisseur | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Coup: développement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| lame : Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | | Total = 68,5 x coef (1) = 68,5 / 70 | |
| | | | | | | | | | Total pain = 88,375 / 100 | |
| Couleur | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Texture : souple | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Alvéolage : régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Épaisseur | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | X | | | | | | x 4 | 16 | |
| Aspect mie | | | | | | | | | Total mie = 61 / 100 | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | | 218,125 / 300 | |

**Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.
Farine Sim+20%de seigle**

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | |
|---|--------------|---|---|---|----|-------|---|-------|---|------------------|
| | 1 | 4 | 7 | 7 | | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | | | X | x 0,5 | 2 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Relâchement | | | | | | | X | x 0,5 | 2 | |
| Pétrissage | | | | | | | | | Total = 13 × coef (0,5) = 6,5 / 25 | |
| Détente : relâchement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Pointage | | | | | | | | | Total = 10 / 10 | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | | Total = 22x coef (1) 22/ 25 | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | | Total = 10 / 10 | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Tenue | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Mise au four | | | | | | | | | Total = 30 x coef (1) = 30 / 30 | |
| | | | | | | | | | Total pâte = 73 / 100 | |
| Volume du pain | | | | | | | | | Total = 22,8 | 22,8 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | | X | | | | x 2 | 14 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Cp: développement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Lame : Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 4 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | | Total = 70x coef (1) = 70 / 70 | |
| | | | | | | | | | Total pain = 92,8 / 100 | |
| Couleur | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Texture : souple | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Épaisseur | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | | X | | | | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | | Total mie = 79 / 100 | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | | 244,8 / 300 | |

**Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.
Farine Sim+30%de seigle**

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|--|-----|-------------------|
| | 1 | 4 | 7 | 10 | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Relâchement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 11,5 × coef (0,75) = 8,625 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 7 / 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 17,5x coef (0,5) 8,75/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Tenue | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 21 x coef (0,75) = 15,75 / 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 50,125 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 16,53 | | 16,53 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | | | X | | | x 2 | 14 | |
| Épaisseur | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Cp: développement | | | | | | | | | | |
| | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Lame : Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 56,5x coef (1) = 56,5 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 73,03 / 100 | | |
| Couleur | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Texture : souplesse | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Épaisseur | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | | | X | | | | x 4 | 40 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 94/ 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 217,155/ 300 | | |

**Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.
Farine Sim+40%de seigle**

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | |
|---|--------------|---|---|---|----|-------|---|-------|--|--------------------|
| | 1 | 4 | 7 | 7 | | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | | X | x 0,5 | 2 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Relâchement | | | | | | | X | x 0,5 | 2 | |
| Pétrissage | | | | | | | | | Total = 10 × coef (0, 5) = 5 / 25 | |
| Détente : relâchement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Pointage | | | | | | | | | Total = 10 / 10 | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | | Total = 20,5x coef (0,75)= 15,375/ 25 | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Apprêt | | | | | | | | | Total = 8,5/ 10 | |
| Collant de la pâte | | | | | | | X | x 1 | 4 | |
| Tenue | | X | | | | | | x 2 | 8 | |
| Mise au four | | | | | | | | | Total = 12 x coef (0, 5) = 6 / 30 | |
| | | | | | | | | | Total pâte = 44,875 / 100 | |
| Volume du pain | | | | | | | | | Total = 13,875 | 13,875 / 30 |
| Section | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Couleur | | X | | | | | | x 2 | 8 | |
| Épaisseur | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Croustillant | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Cp: développement | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Régularité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Lame : Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | | Total = 37x coef (1) = 37 / 70 | |
| | | | | | | | | | Total pain = 50 ,875 / 100 | |
| Couleur | | | | | | | X | x 1 | 4 | |
| Texture : souple | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Collant | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Flaveur | | | | | | X | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | | Total mie = 64/ 100 | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | | 159,75/ 300 | |

**Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.
Farine Sim+50%de seigle**

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|---|----|-------|---|---|--|-----|-------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | X | | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Consistance | | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | X | | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Elasticité | | X | | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Relâchement | | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | | Total = 11,5 × coef (0,75) = 8,625 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Pointage | | | | | | | | | Total = 4/ 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | X | | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Elasticité | | X | | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | | Total = 17,5x coef (0,75) = 13,125/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | X | | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Déchirement | | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Apprêt | | | | | | | | | Total = 5,5/ 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Tenue | | X | | | | | | | x 2 | 8 | |
| Mise au four | | | | | | | | | Total = 15 x coef (0, 5) = 7,5 / 30 | | |
| | | | | | | | | | Total pâte = 38,75 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | | Total = 11, 25 | | 11, 25/ 30 |
| Section | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Couleur | | X | | | | | | | x 2 | 8 | |
| Épaisseur | | X | | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Croustillant | | | X | | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Cp: développement | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Régularité | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Lame : Déchirement | | | | | | | X | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | | Total = 35,5x coef (1) = 35 / 70 | | |
| | | | | | | | | | Total pain = 46 , 75 / 100 | | |
| Couleur | | | | | | | | X | x 1 | 1 | |
| Texture : souple | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Elasticité | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Collant | | | | X | | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Épaisseur | | X | | | | | | | x 1 | 4 | |
| Flaveur | | | | | | | X | | x 4 | 16 | |
| Aspect mie | | | | | | | | | Total mie = 43/ 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | | 128, 5/ 300 | | |

Levain

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim Témoin

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|--|-----|--------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Relâchement | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 19 × coef (0,5) = 9,5 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 7 / 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 20,5x coef (0,75) = 15,375 / 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Tenue | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 27 x coef (1) = 27 / 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 68,875 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 15,750 | | 15,750 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Cp: développement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Lame : Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 64x coef (1) = 64 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 79,75 / 100 | | |
| Couleur | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Texture : souplesse | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Épaisseur | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Flaveur | | | X | | | | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 79 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 227,625 / 300 | | |

Levain

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim +10% de seigle

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|--|-----|---------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Relâchement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 19 x coef (0,75) = 14,25 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 7 / 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 25x coef (1) = 25 / 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Tenue | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 30 x coef (1) = 30 / 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 89,25 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 17, 625 | | 17, 625 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Cp: développement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Lame : Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 67x coef (1) = 67 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 84,625 / 100 | | |
| Couleur | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Texture : souplesse | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Flaveur | | | X | | | | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 82 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 255, 875 / 300 | | |

Levain

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim +20% de seigle

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|--|-----|--------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Relâchement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 17,5 × coef (0,75) = 13,25 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 4 / 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 20,5x coef (0,75)=15, 375/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 8,5 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Tenue | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 21 x coef (0,75) = 15,75 / 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 56,75 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 17, 85 | | 17, 85 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Cp: développement | | | | | | | | | | |
| | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Lame : Déchirement | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 56,5x coef (0,75) = 42,375 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 60,225 / 100 | | |
| Couleur | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Texture : souplesse | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Alvéolage : régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Épaisseur | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | | | | X | | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 79 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 195,975 / 300 | | |

Levain

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim +30% de seigle

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|---|-----|--------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Relâchement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 13xcoéf (0,75) = 9,75 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 22x coéf (0,75) = 16,5/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 8,5 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Tenue | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 18x coéf (1) = 18/ 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 46,25 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 14,437/30 | | 14,437 / 30 |
| Section | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Couleur | | | | | X | | | x 2 | 14 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Croustillant | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Cp lame: développement | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 61 x coéf (0,75) =45,75 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 60,187/ 100 | | |
| Couleur | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Texture : souplesse | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Elasticité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Collant | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Alvéolage : régularité | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Épaisseur | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | | X | | | | | x 4 | 28 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 76 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 182,437/ 300 | | |

Levain

Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim +40% de seigle

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|---|-----|-------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Relâchement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 11,5xcoéf (0,75)= 8,625 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 7 / 10 | | |
| Allongement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Elasticité | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Collant de la pâte | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 20,5x coéf (75) = 15,375/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 10 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Tenue | | | | X | | | | x 2 | 20 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 24x coéf (1) = 24/ 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 65 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 14,60/30 | | 14,60 / 30 |
| Section | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Couleur | | X | | | | | | x 2 | 8 | |
| Épaisseur | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Croustillant | | | X | | | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Cp lame: développement | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Régularité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Déchirement | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 35,5 x coéf (1) =35,5 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 50,1/ 100 | | |
| Couleur | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Texture : souplesse | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Collant | | | | | X | | | x 1 | 7 | |
| Alvéolage : régularité | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Épaisseur | | | X | | | | | x 1 | 7 | |
| Flaveur | | | | | | X | | x 4 | 16 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie = 49 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 164,1 / 300 | | |

Levain

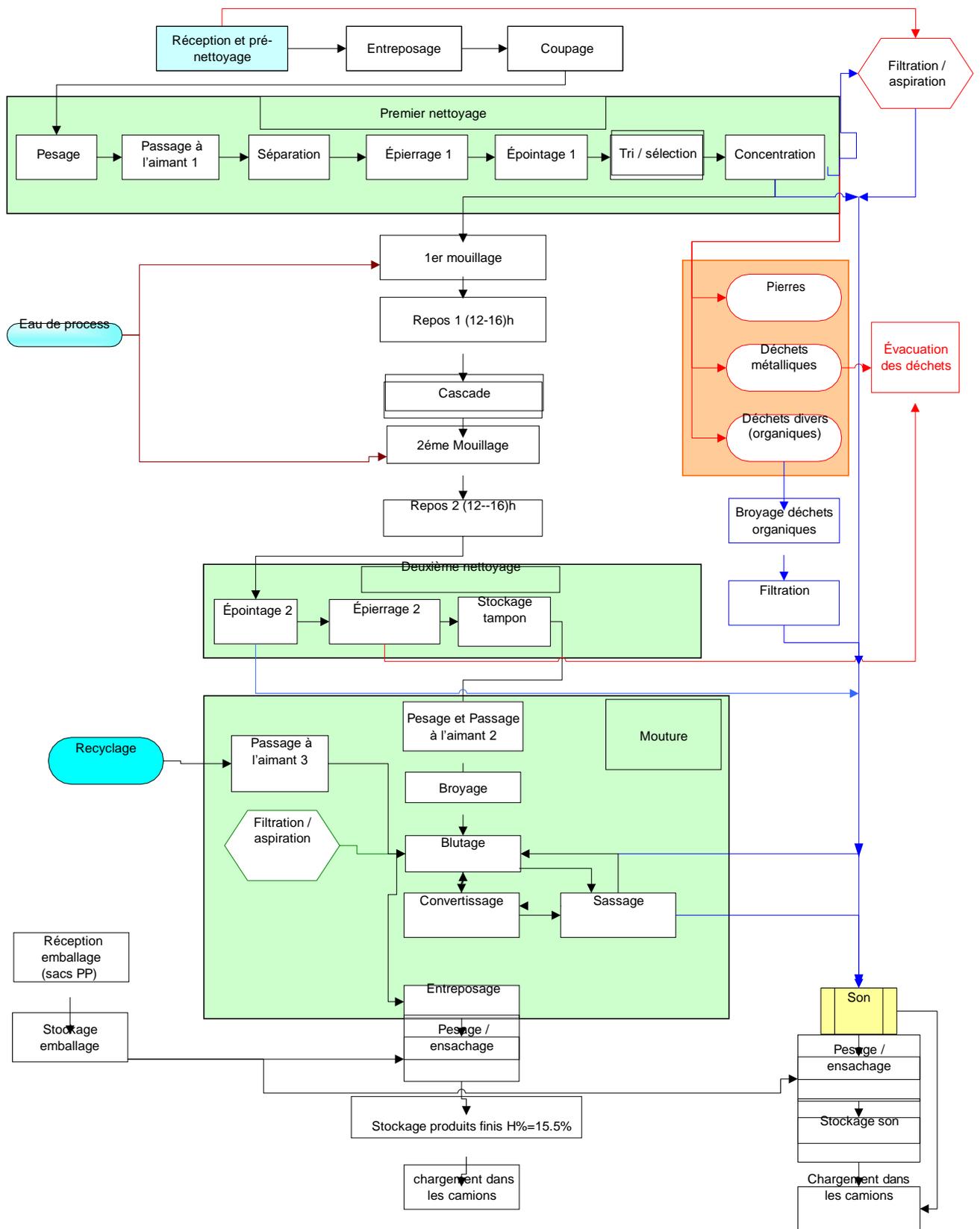
Grille de présentation des résultats de la méthode AFNOR.

Farine Sim +50% de seigle

| Interprétations Observation et notes | Insuffisance | | | 10 | Excès | | | Principe de calcul des notes | | |
|---|--------------|---|---|----|-------|---|---|---|-----|-------------------|
| | 1 | 4 | 7 | | 7 | 4 | 1 | | | |
| Lissage | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | | X | x 0,5 | 0,5 | |
| Consistance | | | | | | | | | | |
| Extensibilité | X | | | | | | | x 0,5 | 0,5 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Relâchement | | | | | | X | | x 0,5 | 2 | |
| Pétrissage | | | | | | | | Total = 7xcoéf (0, 5) = 3,5 / 25 | | |
| Détente : relâchement | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Pointage | | | | | | | | Total = 4 / 10 | | |
| Allongement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Déchirement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Façonnage | | | | | | | | Total = 13x coéf (0,5) = 7,5/ 25 | | |
| Activité fermentaire | | | | X | | | | x 0,5 | 5 | |
| Déchirement | | | | | X | | | x 0,5 | 3,5 | |
| Apprêt | | | | | | | | Total = 8,5 / 10 | | |
| Collant de la pâte | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Tenue | | | X | | | | | x 2 | 14 | |
| Mise au four | | | | | | | | Total = 18x coéf (0,75) = 13,5/ 30 | | |
| | | | | | | | | Total pâte = 37 / 100 | | |
| Volume du pain | | | | | | | | Total = 11, 625/30 | | 11,625/ 30 |
| Section | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Couleur | | X | | | | | | x 2 | 8 | |
| Épaisseur | X | | | | | | | x 0,5 | 0,5 | |
| Croustillant | | X | | | | | | x 0,5 | 2 | |
| Cp lame: développement | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Régularité | X | | | | | | | x 1 | 1 | |
| Déchirement | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Aspect du pain | | | | | | | | Total = 23,5 x coéf (0, 5) =11,75 / 70 | | |
| | | | | | | | | Total pain = 23,375/ 100 | | |
| Couleur | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Texture : souplesse | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Elasticité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Collant | | | | | | X | | x 1 | 4 | |
| Alvéolage : régularité | | X | | | | | | x 1 | 4 | |
| Épaisseur | | | | X | | | | x 1 | 10 | |
| Flaveur | | | | | | X | | x 4 | 16 | |
| Aspect mie | | | | | | | | Total mie =46 / 100 | | |
| Valeur boulangère | | | | | | | | 106,375/ 300 | | |

L'annexe : 2

Diagramme de mouture



1/La réception des blés :



1. le poids bascule



2. Déchargement des grains sur la trémie.



3. Séparateur- nettoyeur- aspirateur.



4. Epierreur.



5. Trieur.



6. la balance.



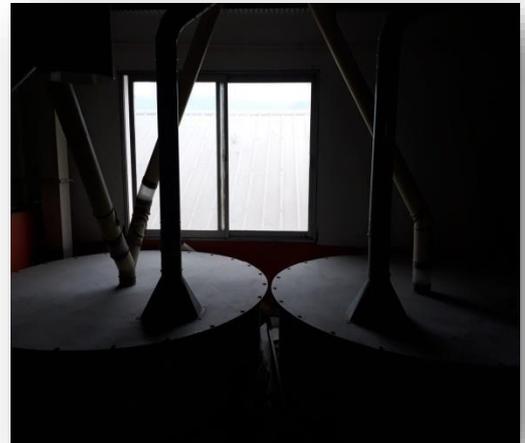
7. Appareil à cylindre.



8. Plansichter.



9. les sasseurs.



10. silo de stockage de produit fini



11. ensachage



12. transport de produit fini

2. Les Analyses physico chimique de grain de seigle :

2.1. Le poids spécifique (PHL) :



La pesé de l'appareil



Versement du blé

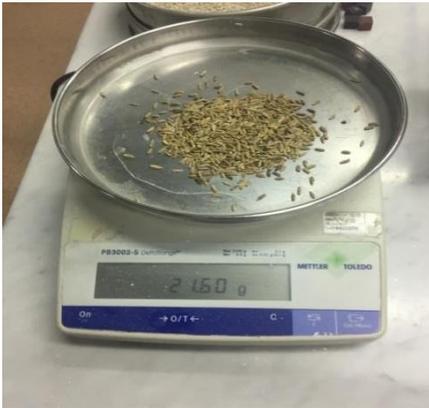


Retirement du couteau



La pesé du blé

2.2. Détermination du poids de mille grains de grain de seigle



Peser les grains entiers

2.3. L'humidité :



Séchage des capsules



Refroidissement



Nettoyage de broyeur



Broyage du blé



Prise d'essai



Étalonnage de la balance



Pesé des capsules vide.



Capsule vide + prise d'essai



Séchage des produits



Refroidissement.



La pesé après le séchage

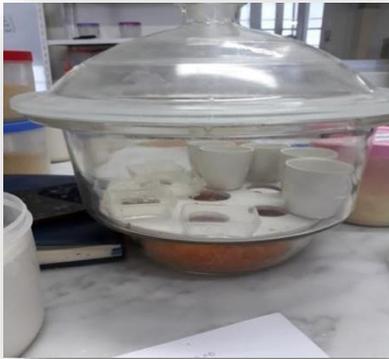
2.4. Le taux de cendre :



Séchage des nacelles



Retirement des nacelles



Refroidissement



Étalonnage



**La pesé des nacelles vide
+ La prise d'essai**



Bruler de la matière

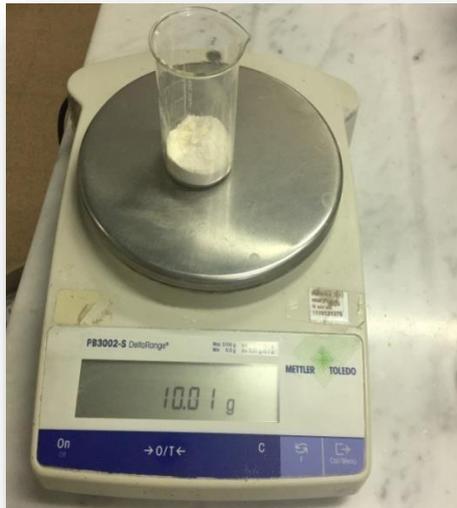


Étuve réglé à 550°C°



**Refroidissement après le
brulement**

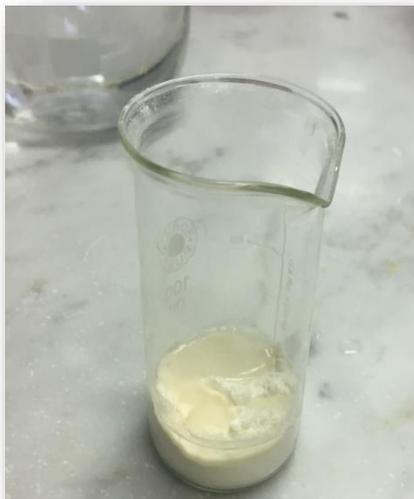
2.5.1. Détermination de la teneur de gluten humide :



Peser 10 g de farine



Verser 5,5 ml de la solution de chlorure de sodium



Agitant la farine avec la solution



Former une boule de pâte



Extraction manuelle :
Malaxer le pàton en versant les gouttes de solution



Elimination d'amidon



Récupérer le gluten tombé sur le tamis

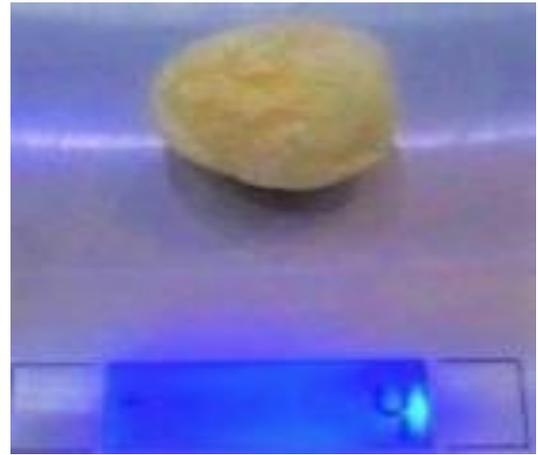


Essorage manuelle

2.5.2. Détermination du gluten sec



Forme une boule



Peser à 0,01g

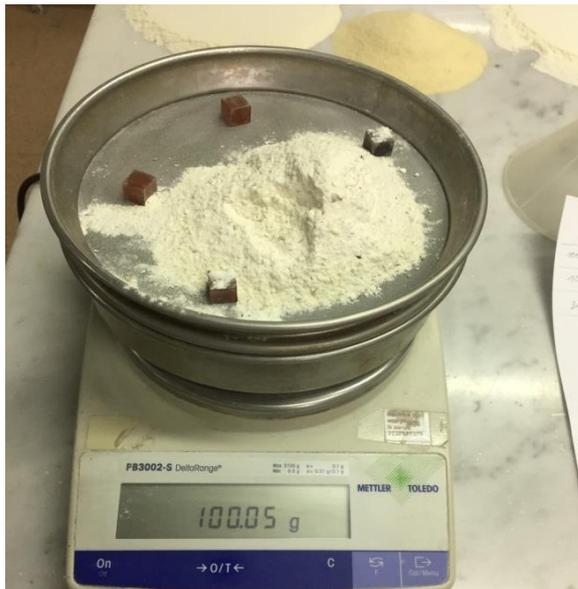


Introduire le gluten dans l'étuve réglée à 130°C ±2°C pendant 2 h.



Retirer le gluten sec

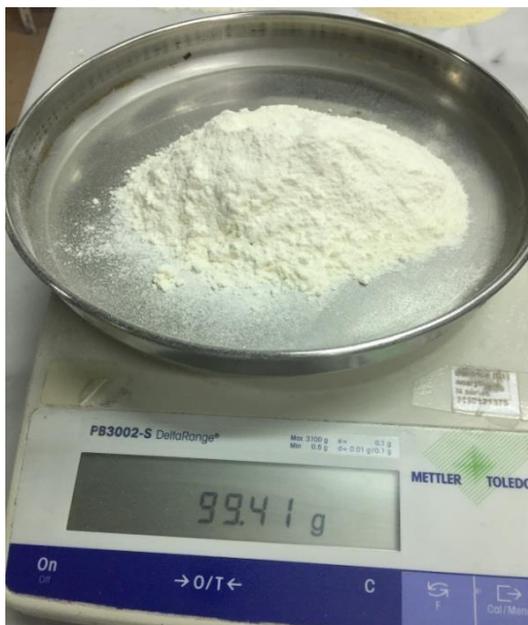
2.6. Le taux d'affleurement



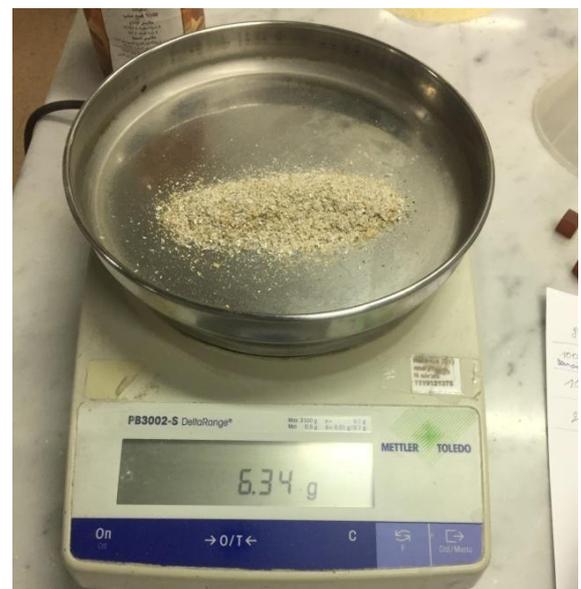
Pesé de farine



Tamisage



Extraction



Refus

3. Analyses technologiques

3. 1. Test rhéologique par l'alvéographe



Mètre 250 g de farine dans le pétrin.



Pétrissage de la farine.



Découlement de la pâte.



Amincissement de pate.



Découpage de pate à la forme des pâtons.



Le placement des plaque dans l'enceinte isotherme 25°C.



Le serrement de platine (3 tours en 20 secondes).



Formation d'une bulle.

3. 2. Test de panification



Température de la farine



Pétrissage



Température de la pâte



Division



Façonnage



Coup de lame



Pointage



L'appret dans Encéinte de fermentation



Mise en four

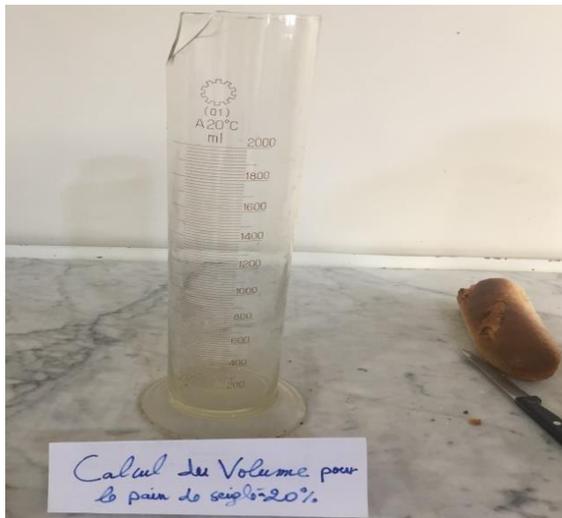


Température de four

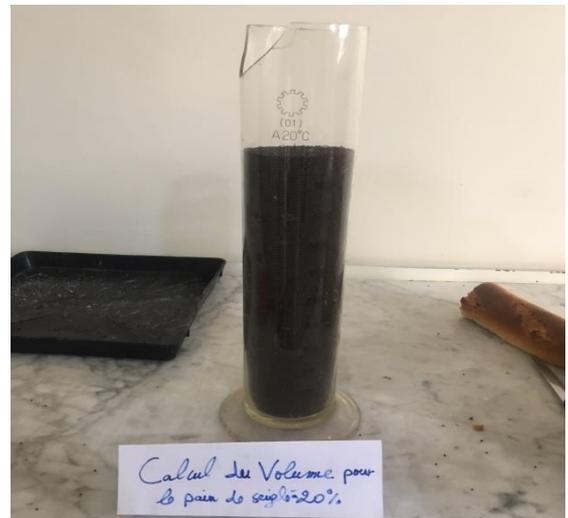
3.3. Mesure des volumes spécifiques des pains



Pesage de poids de pain



Eprouvette vide



Eprouvette rempli pain avec grain de navette

L'annexe 3: les deux types de fermentation

Fermentation avec levure instantané



Pâte **témoin** en Fermentation



Pain **témoin** après cuisson



Pâte **10% SC** en Fermentation



Pain **10% SC** après cuisson



Pate **20%SC** en fermentation.



Pain **20%SC** après cuisson.



Pâte **30%SC** en fermentation



Pain **30%SC** après cuisson



Pâte **40% SC** en fermentation



Pain **40%SC** après cuisson



Pâte **50%SC** en fermentation



Pain **50%SC** après cuisson

Fermentation avec levain accéléré



Pâte **témoin** avec levain accéléré en fermentation



Pain **témoin** avec levain accéléré après cuisson



Pâte **10%SC** avec levain accéléré en fermentation



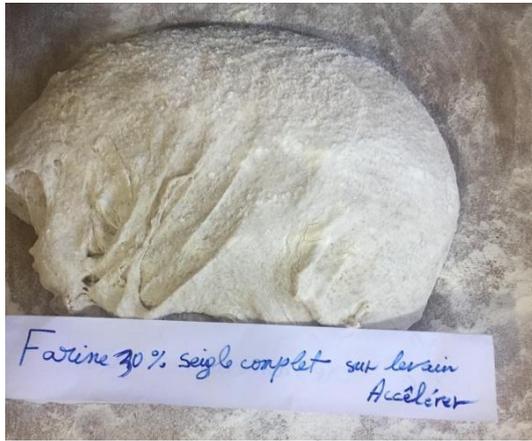
Pain **10 %SC** avec levain accéléré après cuisson



Pâte **20 %SC** avec levain accéléré en fermentation



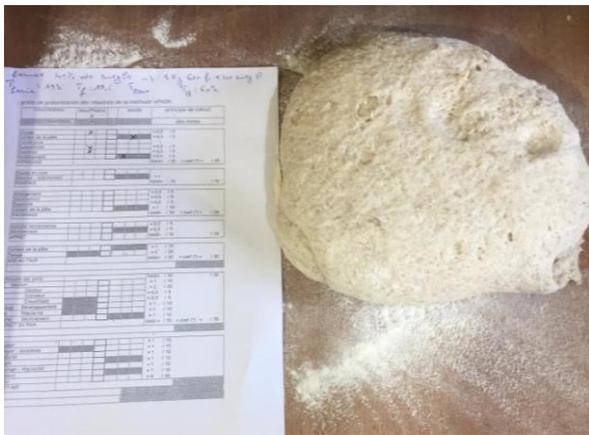
Pain **20 %SC** avec levain accéléré après cuisson



Pâte **30 %SC** avec levain accéléré en fermentation



Pain **30 %SC** avec levain accéléré après cuisson



Pâte **40%SC** avec levain accéléré en fermentation



Pain **40 %SC** avec levain accéléré après cuisson



Pâte **50%SC** avec levain accéléré en fermentation



Pain **50 %SC** avec levain accéléré après cuisson.