



ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES INDUSTRIES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES

Mémoire de fin d'études

en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome

Spécialisation Industries Agricoles et Alimentaire



Présenté par Jean Sendrahasina ANDRIANANJANIAINA

Promotion FANASINA

Soutenu le 11 Août 2009

*Je remercie le seigneur d'avoir guidé ma vie,
Qu'il puisse trouver en ce mémoire ma contribution, si petite soit elle, à
l'accomplissement de la vie éternelle sur terre*

*« Car il donne à celui qui lui est agréable la sagesse, la science, et la joie »
(L'ecclésiaste 2 :26)*

*« Heureux l'homme qui a trouvé la sagesse, et l'homme qui possède
l'intelligence » (Proverbes 3 :13)*

Je dédie ce mémoire,

A mes très chers parents,

A mes sœurs et à mon amie,

A tous mes amis de l'Agro.

REMERCIEMENTS

Toutes les personnes qui ont été concernées par ce travail sont vivement remerciées.

Spécialement celles qui ont acceptées de siéger parmi les membres du jury :

- Monsieur Jean RASOARAHONA, Professeur, Directeur de l'ESSA, et Enseignant Chercheur au Département IAA, qui me fait un grand honneur de présider le jury.

- Monsieur Roger RANAIVOSON, Docteur Ingénieur, Chef du Département Recherches et Technologie à la FOFIFA, Enseignant Chercheur au Département IAA, qui a bien voulu accepter de siéger parmi les membres de jury,

- Richard RANDRIATIANA, Docteur en Pharmacie, Enseignant chercheur à l'ESSA, qui m'a également honoré en acceptant d'être examinateur de ce mémoire,

- Madame Béatrice RAONIZAFINIMANANA, Professeur, Chef du Département IAA, et Enseignant Chercheur du Département IAA, qui malgré ses multiples occupations, a accepté de m'encadrer tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Nous sommes pareillement très reconnaissants envers les gens qui m'ont aidé durant la réalisation de ce travail notamment :

- Monsieur Jean REBETEZ, Chef du Département Recherche en Boulangerie de MANA Madagascar, pour ses aides techniques précieuses durant le stage.
- Monsieur Tohery RAKOTONDRAZAFY, Chef du laboratoire de MANA, pour avoir accepté de travailler avec nous.
- Tout le personnel de la société MANA Madagascar, pour nous avoir aidé tout au long du stage.
- Tout le personnel du CNRE ainsi que l'équipe de la Bibliothèque de l'ESSA, pour leur collaboration étroite.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
Chapitre I. BASES SCIENTIFIQUES DE L'ETUDE, GENERALITES SUR LE BLE....	3
1. Bases scientifiques de l'étude.....	3
1.1 Contexte.....	3
1.2 Problématique.....	3
1.3 Objectifs	4
1.4 Méthodologie de la recherche	4
2. Généralités sur le blé	8
2.1. Systématique (21).....	8
2.2. Botanique (7).....	9
2.3. Ecologie (21)	12
2.4. Variétés.....	13
2.5. Techniques culturales (21)	13
2.6. Maladies et ennemis (21).....	15
2.7. Utilisation du blé et ses sous-produits	15
3. Structure et compositions chimiques du blé et du germe de blé	15
3.1. Différentes parties du grain de blé (24).....	16
3.2. Composition chimique du grain de blé (9).....	18
3.3 Composition chimique du germe de blé.....	21
4. Conclusion partielle.....	23
Chapitre II. TECHNOLOGIE DE FABRICATION DES FARINES	24
1. Processus d'obtention de la farine de germe	24
1.1. Mouture du blé (24) (36).....	24
1.2 Fabrication de farine de germe	30
2. Contrôles qualités des farines	34
2.1. Analyses physico-chimiques de la farine de blé.....	34
2.2. Analyses sur les qualités plastiques des farines composites (farine de germe/farine de blé)	38
2.3. Analyse sur la qualité fermentative de la pâte ou Temps de chute ou Falling number.....	42
3. Conclusion partielle.....	43
Chapitre III. PANIFICATION AVEC GERME DE BLE.....	44
1. Matières premières	44
1.1. Farine de germe	44
1.2. Farine de blé	44
1.3. Eau (26)	45
1.4. Sel (16)	45
1.5. Améliorant	46
1.6. Levure (13)	46
2. Etapes de la panification (26).....	47
2.1. Pré-mélange	48
2.2. Pétrissage	48
2.3. Fermentation en masse	49
2.4. Division et boulage.....	49
2.5. Détente.....	50
2.6. Façonnage.....	50
2.7. Apprêt	51
2.8. Scarification et cuisson.....	52
3. Conclusion partielle.....	53

Chapitre IV. RESULTATS, INTERPRETATIONS ET RECOMMANDATIONS	54
1. Variation des paramètres de panification	54
1.1. Influence du type d'hydratation.....	54
1.2. Influence du taux de substitution.....	57
1.3. Influence d'émulsifiants sur la qualité des pains composés.....	66
2. Rassisement et valeur nutritionnelle	69
2.1. Profil du vieillissement des pains sans émulsifiant	69
2.2. Influence des émulsifiants sur le profil de vieillissement	70
2.3. Influence du germe de blé sur la valeur nutritionnelle des pains	71
3. Recommandations	71
3.1. Sur la préparation du germe de blé.....	72
3.2. Sur la conduite du processus de fabrication	72
3.3. Sur le profil de rassisement.....	72
4. Conclusion partielle.....	73
CONCLUSION GENERALE	74
BIBLIOGRAPHIE	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Ordre des plats correspondant aux numéros des candidats :	6
Tableau 02 : Composition nutritionnelle du germe de blé (18).....	17
Tableau 03 : Pourcentage des sucres dans les divers constituants du grain de blé (24)....	19
Tableau 04 : Teneur en matières grasses pour 100g du produit (22).	19
Tableau 05 : Teneur en matières minérales pour 100g du produit (26)	20
Tableau 06 : Principales enzymes du blé (23).....	20
Tableau 07 : Composants chimiques du germe (pour 100g de germe) (23)	21
Tableau 08 : Liste des correcteurs utilisés pendant la mouture du blé (30)	35
Tableau 09 : Classification des types de farine en fonction du taux de cendres et taux d'humidité (9).....	36
Tableau 10 : Composition de la farine (type 55) (34)	44
Tableau 11 : Influence du type d'hydratation sur la qualité des pains à 20% germe de blé	56
Tableau 12 : Caractéristiques rhéologiques des mélanges farine de blé/germe de blé	57
Tableau 13 : Comparaison de la mie des différents pains	61
Tableau 14 : Moyenne pondérée de chaque échantillon	64
Tableau 15 : Notes obtenues par les aspects extérieurs.....	65
Tableau 16 : Influence des 2 types d'émulsifiants sur les aspects extérieurs du pain (20/80)	67
Tableau 17 : Influence des émulsifiants sur la mie.	68
Tableau 18 : Comparaison des valeurs nutritionnelles des deux types de pain.....	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Grains de blé	8
Figure 2 : Les différents stades de développement du blé (38).....	11
Figure 3 : Coupe d'un grain de blé (9).....	16
Figure 4 : Proportion du germe dans le grain de blé (32).....	18
Figure 5 : Répartition des constituants chimiques du grain de blé (36)	21
Figure 6 : Moulins à cylindres cannelés.	25
Figure 7 : Diagramme de l'extraction du germe de blé et de sa farine	26
Figure 8 : Bilan de mouture.....	28
Figure 9 : Local de stockage de farine de blé.	29
Figure 10 : Germe de blé entier.....	30
Figure 11 : Séchage de germe de blé.....	31
Figure 12 : Broyeur à cylindres	32
Figure 13 : Tamiseur	33
Figure 14 : Germe de blé broyé et tamisé.....	33
Figure 15 : Alvéographe NG Consistographe CHOPIN	39
Figure 16 : Mesure de la capacité de déformation de la bulle de pâte à l'Alvéographe. ..	39
Figure 17 : Courbe d'alvéographe d'une farine (6).....	40
Figure 18 : Colonie de levure de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (20).....	46
Figure 19 : Diagramme de panification.....	47
Figure 20 : Pétrin en marche	49
Figure 21 : Pesage et boulage des pâtons	50
Figure 22 : Façonnage du pain	51
Figure 23 : Pâtons après fermentation.	52
Figure 24 : Mise au four	52

Figure 25 : Profils de rétention de gaz des pâtes réalisées par hydratation séparée (A) et par hydratation commune (B)	54
Figure 26 : Pains obtenus par hydratation séparée (A) et par hydratation commune (B)	55
Figure 27 : Aspect de la mie des pains par hydratation séparée (A) et par hydratation commune (B).....	56
Figure 28 : Influence du taux d'incorporation du germe de blé sur les profils de rétention de gaz des pâtes	59
Figure 29 : Comparaison des pains à différents pourcentages de germe de blé.....	59
Figure 30 : Structure de la mie des pains à différents pourcentages de germe de blé.....	60
Figure 31 : Trous de fermentation résultant du dégagement de CO ₂ dans la mie des pains (30/70)	61
Figure 32 : Analyses hédoniques des 4 types de pain.	62
Figure 33 : Taux de classement des 3 types pain.	64
Figure 34 : Aspects extérieurs des pains à différents pourcentages de germe	66
Figure 35 : Influence des émulsifiants sur les pains (20/80).....	67
Figure 36 : Profils de vieillissement des pains composites en fonction du taux d'incorporation de germe de blé.....	69
Figure 37 : Influence des émulsifiants sur le vieillissement des pains (20/80).....	70

LISTE DES PARTIES EXPERIMENTALES

1. Dosage de l'humidité (norme ISO 712 basée sur la norme 110 l'Association Internationale de Chimie Céréalière)	79
2. Dosage des cendres brutes (Méthode AFNOR NV- 03- 760).....	80
3. Dosage des matières grasses (Méthode AFNOR NV- 03- 340).....	80
4. Dosage de l'acidité	81
5- Dosage du gluten.....	82
6- Méthodes de mesures alvéographiques	83

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Méthode d'appréciation des caractéristiques du pain	86
Annexe 2 : Base de calcul pour la notation du volume du pain.	88
Annexe 3 : Questionnaires pour les analyses sensorielles.....	89
Annexe 4 : Normes codex pour la farine de blé	91
Annexe 5 : Grille de notation Basée sur les méthodes classiques françaises	94
Annexe 6 : Fiche de résultats des analyses de valeurs nutritionnelles des pains au germe de blé (20/80)	95
Annexe 7 : Fiche de résultats des analyses de valeurs nutritionnelles des pains sans germe	96
Annexe 8 : Emulsifiant SSL (E481: Stéaroyl-2-lactylate de sodium).....	97
Annexe 9 : Masse de farine nécessaire à l'essai de panification en fonction de sa teneur en eau.....	98

LISTE DES ABREVIATIONS

AGE	: Acide Gras Essentiel
°C	: Celsius
Ca	: Calcium
CB	: Cendre Brute
cm	: Centimetre
cm ³	: Centimètre cube
CNRE	: Centre National de Recherche sur l'Environnement
CO ₂	: Dioxyde de carbone
DATEM	: Esters diacétyl-tartarique de mono et de diglycérides d'acides gras
g	: Gramme
h	: Heure
Ha	: Hectare
IDH	: Indice de Développement Humain
Ie	: Indice d'élasticité
J	: Joule
INSTAT	: Institut National des Statistiques
j	: jour
Kcal	: Kilocalorie
Kg	: Kilogramme
l	: Litre
MAP	: Madagascar Action Plan
MAT	: Matière Azotée Totale
MG	: Matière Grasse
mg	: Milligramme
mm	: Millimètre
mn	: Minute
MS	: Matière Sèche
N	: Newton
P	: Phosphore
PFB	: Pain à la Farine Boulangère
PFG	: Pain à la Farine de Germe
pH	: Potentiel en hydrogène
s	: Seconde
SSL	: Stéaroyl-2-lactilate de sodium
T	: Tonne
T°	: Température

INTRODUCTION

Le germe de blé a connu depuis longtemps de nombreuses utilisations grâce aux bienfaits qu'il procure à la santé de l'homme. En effet, le germe de blé est un trésor nutritionnel exceptionnel. Il est riche en Acide Gras Essentiel (AGE) et est utilisé en diététique et soins médicaux. Il est en plus employé pour la fabrication des pâtes à haute valeur énergétique par sa richesse en valeur énergétique (100g de germe de blé procurent 300Kcal) (29) en cosmétique pour les soins des visages (l'huile extraite du germe de blé, riche en vitamine E, est un puissant antioxydant). En un mot, le germe de blé contient des éléments qui en font un excellent complément de notre alimentation.

Malgré cela, les bienfaits du germe de blé ne sont pas encore très connus à Madagascar. Des tonnes de germe sont sous exploitées, elles sont incorporées aux sons destinés à l'alimentation animale. Des études ont été néanmoins menées au KOBAMA sur la possibilité de valorisation de germe de blé en huilerie (23), mais aucune réalisation n'est exécutée jusqu'à présent. De plus, récemment, la Société MANA Madagascar du groupe TIKO s'est lancée dans la filière blé. Avec une production journalière de 400T de farine de blé, elle s'avère aujourd'hui le leader de la filière en Afrique. La farine produite est destinée essentiellement à la panification et à la biscuiterie. Quant aux sous produits, le son est valorisé en alimentation animale, tandis que le germe ne trouve pas encore une utilisation claire et est alors toujours incorporé avec le son de blé.

Il est à rappeler que Madagascar est l'un des pays les plus pauvres du monde. Les Indices de Développement Humain (IDH) montrent une insuffisance nutritionnelle aigue (31). Face à cette situation, l'autosuffisance alimentaire figure actuellement parmi les priorités de l'Etat Malagasy dans sa stratégie de développement du pays. La valorisation du germe de blé en alimentation humaine, vu ses richesses nutritionnelles, pourrait apporter des solutions concrètes aux problèmes de malnutrition et de sous alimentation qui touchent encore un grand nombre de la population malgache. Ce fait a largement contribué à la réalisation de cette présente étude dont le thème s'intitule : « Etudes des comportements technologiques du germe de blé en panification en vue de sa valorisation ».

Avec l'appui technique de MANA Madagascar, cette recherche sur la possibilité d'utilisation du germe de blé en boulangerie a été menée. Elle est consacrée essentiellement aux essais de panification avec le germe de blé, et particulièrement sur ses aptitudes technologiques. Les raisons en sont, d'une part, de mener des recherches en fonction des moyens et temps disponibles des techniciens au sein du laboratoire d'essai de MANA Madagascar qui dispose une petite unité

de boulangerie et laboratoire d'analyse de la farine. Et d'autre part, d'incorporer le germe de blé à des produits alimentaires que les gens se sont familiarisés depuis longtemps dont le pain.

Cet ouvrage sera donc subdivisé en 4 parties bien distinctes :

- la première partie parle des bases scientifiques de l'étude ainsi que les généralités sur le blé
- la deuxième partie décrit la technologie de fabrication de la farine de blé et celle du germe de blé.
- la troisième partie est consacrée au déroulement des expérimentations sur la panification avec la farine blanche incorporée de germe de blé.
- et la dernière partie énonce les résultats des analyses de laboratoire sur les caractéristiques des pains produits avec le germe de blé, leurs qualités organoleptiques, le profil de rassissement. Tout cela est complété par des valeurs nutritionnelles des pains au germe et de quelques recommandations.

Chapitre I. BASES SCIENTIFIQUES DE L'ETUDE, GENERALITES SUR LE BLE

1. Bases scientifiques de l'étude.

1.1 Contexte

1.1.1 Place du pain dans l'alimentation de la population malgache

Actuellement, le pain constitue un aliment de complément et dans certaines circonstances, un aliment de substitution pour la plupart de la population malgache. A cet effet, des enquêtes effectuées par l'INSTAT/ MANA Madagascar en 2007(13) confirment qu'un malgache consomme en moyenne 50g de pain par jour. Ce chiffre indique l'importance de la place occupée par le pain dans l'alimentation quotidienne malgache. A 200 et 300 Ariary le prix d'une baguette de pain bâtard, la plupart des gens, surtout urbains, préfèrent acheter du pain pour couvrir le déjeuner du matin. A vrai dire, la consommation du pain a déjà intégré dans l'habitude alimentaire malgache depuis des années où la flambée du prix du riz se fait constater partout dans l'île (INSTAT/ MANA Madagascar 2007)

1.1.2 Production du germe de blé

En tant que sous-produit de la minoterie, le germe de blé reste sous exploitée dans toutes les minoteries à Madagascar malgré la connaissance des bienfaits qu'il procure surtout sur le plan nutritionnel. A l'instar de MANA Madagascar, le germe de blé est tout de suite incorporé dans le son destiné à l'alimentation animale. Toutefois, cette minoterie produit chaque jour 400T de farine de blé avec un taux d'extraction de 0,2% de germe de blé. On estime une production journalière de 0,8T de germe de blé, ce qui représente une production industrielle largement suffisante pour être valorisée dans l'alimentation humaine cette fois-ci.

1.2 Problématique

Afin de pouvoir clarifier la problématique relative à la malnutrition et à la valorisation du germe de blé, deux hypothèses ont été retenues :

- le germe de blé convient à la panification,
- le pain fabriqué avec du germe de blé est riche nutritionnellement.

Ainsi, la problématique s'annonce par la question suivante : le pain au germe de blé contribue-t-il à la lutte contre la malnutrition ? Cette question n'est pas toutefois répondue si les deux hypothèses susmentionnées ne sont pas vérifiées. Pour cela, il faudrait éclaircir les objectifs attendus de l'étude.

1.3 Objectifs

L'objectif global de l'étude est la valorisation du germe de blé en panification. Après incorporation du germe, d'abord, le pain ainsi produit présenterait un aspect acceptable dont la texture, la mie et le volume sont proches de ceux d'un pain fabriqué avec 100% farine de blé. Puis, le pain devrait avoir de bonnes qualités organoleptiques, surtout au niveau du goût, de la couleur. Ensuite, le pain serait hautement riche en valeurs nutritionnelles et en sels minéraux. De cet objectif mentionné découlent trois sous objectifs, entre autre :

- effectuer des séries de panification à différents taux de germe incorporé,
- procéder à des analyses structurales, des évaluations des qualités organoleptiques et des études du profil de vieillissement des différents types de pain,
- déterminer les valeurs nutritionnelles des pains.

1.4 Méthodologie de la recherche

1.4.1. Etudes bibliographiques

Le principal objectif attendu de cette étape est de connaître les études qui ont été effectuées sur le germe de blé et d'avoir les idées générales sur l'étude elle-même. Par conséquent, les investigations bibliographiques ont contribué au déroulement des expérimentations à mener ultérieurement. Enfin, elles ont servi de références pour le traitement des données et la rédaction du présent document.

Comme procédé, des visites des pages web par l'intermédiaire d'une navigation sur Internet ainsi que des consultations des ouvrages auprès des centres de documentation ont été menées. La recherche documentaire a enchaîné une exploration respective des thèmes et des auteurs se rapportant à la technologie du blé, au germe de blé, à la panification et aux différentes analyses possibles pour mener à bien les recherches.

1.4.2. Essais de panification

Les essais sur le type d'hydratation, sur les émulsifiants, sur les profils de vieillissement et sur les valeurs nutritionnelles ont été réalisés avec un rapport de 20/80 de germe/farine. La raison en est que, concernant le test d'hydratation, ce taux a été jugé susceptible d'évoquer la différence entre un pain à 100% farine et un pain composite. En outre, dans les autres tests, d'après les résultats sur l'influence du taux de substitution, d'un côté, les pains obtenus de ce rapport ont un aspect extérieur pouvant être encore corrigé. Et de l'autre côté, ils présentent déjà les caractéristiques organoleptiques attendues.

Les expérimentations ont été ainsi limitées vu le temps et les matières premières disponibles. De plus, en ce qui concerne les analyses nutritionnelles, à cause des coûts élevés des analyses, seuls les échantillons des pains à 20% de germe de blé ont été analysés au CNRE.

La teneur en gluten sec de la farine de blé utilisée lors de toutes les expérimentations de cette étude est égale 12,5%. Afin de connaître le taux maximum d'incorporation de la farine de germe de blé dans la farine composite, une série de tests utilisant les proportions germe/farine de blé 0/100, 10/90, 20/80, 30/70 a été réalisée.

1.4.3. Evaluation des caractéristiques internes et externes

Les normes de panification française de l'ouvrage ont été prises comme référence durant toutes les expérimentations (4). En outre, les calculs des notes se font à l'aide des bases de calcul préétablies dans l'ordinateur du technicien boulanger qui remplit des grilles d'annotation. Les critères d'appréciation sont détaillés dans l'annexe 1.

Les critères retenus sont évalués selon la méthode suivante :

- la mie est notée sur 30 points répartis entre l'homogénéité des alvéoles (/10), la cohésion (/7), l'élasticité (/8) et la couleur (/5) ;
- l'aspect extérieur est noté sur 40 points répartis par tranche de 5 points pour la couleur extérieure de la croûte, et pour son épaisseur ; le volume du pain est noté sur 30 points. L'annotation se fait par la mesure du volume du pain après ressuyage et la notation se fait sur la base de calcul détaillée dans l'annexe2.

1.4.4 Tests sensoriels

Ce dernier critère implique alors la réalisation d'une séance de tests sensoriels en vue d'obtenir la préférence des produits vis-à-vis des consommateurs. Sur ce, 30 candidats sont disponibles pour passer les analyses sensorielles ; ils sont choisis parmi le personnel de catégories différentes de la société MANA Madagascar. Les techniques d'évaluation sont basées sur des questionnaires que les candidats doivent répondre en fonction de leur appréciation personnelle (cf. annexe 3). Les candidats passent deux tests : test triangulaire et test de préférence, test de classement.

Quant à l'épreuve descriptive, sa réalisation n'a pas été possible pour des raisons techniques au sein de la société. En effet, il est à signaler que les critères odeur et toucher ne sont pas testés dans cet ouvrage.

Les 30 candidats ont été divisés en 3 groupes de 10 personnes pour faciliter le déroulement des épreuves.

a- Test triangulaire et test de préférence

Le test triangulaire a été utilisé pour mettre en évidence la différence entre pain sans farine de germe et pain au germe. Ce test implique 2 produits dont l'un est présenté en double. Le sujet doit trouver le pain qui est différent. Chaque test triangulaire est effectué simultanément avec un test de préférence. Ce dernier sert à évaluer la préférence des consommateurs pour chaque type de pains.

Le panel a effectué 3 tests triangulaires et 3 tests de préférence. L'équipe d'expérimentateurs était composée de 4 enquêteurs. Deux enquêteurs s'occupaient de la préparation des plats, des plateaux et des services y afférents (ordre de présentation des plats servis,...). Les deux autres s'occupaient d'informer les candidats sur le déroulement du test. Les plats de dégustation étaient codifiés à l'avance et arrangés selon l'ordre prescrit dans le tableau 01.

Un tirage au sort sans remise des numéros de 1 à 6 était effectué à l'entrée des sujets pour leur assigner un numéro. Ces numéros ont permis aux expérimentateurs de déterminer les plats qui étaient présentés aux candidats ainsi que leur ordre de présentation.

Tableau 01 : Ordre des plats correspondant aux numéros des candidats :

N°Test Candidat	1 (Présentation de gauche à droite)			2 (gauche à droite)			3 (gauche à droite)		
1	PFG	PFG	PFB	PFG	PFB	PFB	PFB	PFB	PFG
2	PFB	PFG	PFB	PFB	PFB	PFG	PFG	PFB	PFG
3	PFG	PFB	PFB	PFB	PFG	PFG	PFG	PFB	PFG
4	PFB	PFB	PFG	PFB	PFG	PFB	PFG	PFB	PFG
5	PFG	PFB	PFB	PFB	PFG	PFB	PFB	PFG	PFB
6	PFB	PFB	PFG	PFG	PFG	PFB	PFG	PFB	PFB
7	PFG	PFB	PFB	PFB	PFG	PFB	PFG	PFB	PFB
8	PFB	PFG	PFG	PFB	PFG	PFG	PFB	PFB	PFG
9	PFG	PFB	PFB	PFG	PFB	PFG	PFG	PFB	PFB
10	PFB	PFG	PFG	PFB	PFG	PFB	PFG	PFG	PFB

PFG : Pain à la Farine de Germe

PFB : Pain à la Farine Boulangère

Les produits étaient présentés sur un plateau après avoir été codifiés. Les sujets étaient informés du déroulement du test, des contraintes (pas d'échange d'avis entre eux,...) et de ce qu'on attendait d'eux (être naturelle, réponse claire et concise). Le questionnaire utilisé pour ces 2 types de tests est détaillé en annexe 3.

b- Test de classement

Cette épreuve permet aux candidats de classer les échantillons de produits qui leur sont présentés selon leurs préférences. L'organisation reste la même que celle de la précédente épreuve. Les plats de dégustation ont été codifiés à l'avance. Et leur ordre de présentation se faisait au hasard.

1.4.5. Analyse texturale

L'analyse de la texture a été réalisée à l'aide de l'analyseur de texture TAXT2 Micro System. Cet appareil permet de faire des tests de compression au centre d'une tranche de pain de 25mm d'épaisseur à l'aide d'une sonde à extrémité plate de 3,5cm de diamètre. Son intérêt est de pouvoir caractériser un produit à l'aide d'une mesure instrumentale et de permettre de suivre l'évolution de la souplesse de la mie dans le temps.

Le critère de mesure retenu est la force maximale de compression pour une déformation de 40 %. Ce critère permet une bonne discrimination des pains et correspond à des appréciations proches de celles effectuées par le consommateur. Ces mesures ont été effectuées au centre de la tranche et les pains coupés ont été conservés dans un emballage plastique à la température ambiante (25°C).

1.4.6. Mesure du volume de pousse

Concernant le volume de pousse, les propriétés de rétention de gaz lors de la fermentation sont évaluées à l'aide d'un indicateur de pousse contenant 25g de pâte soumise à fermentation dans les mêmes conditions que les pâtons. Le mesureur de pousse est constitué d'un verre gradué de hauteur intérieure 75mm, 46mm de diamètre intérieur et muni de 35 graduations de 0 à 70mm. En plus il est doté de disque indicateur avec tige d'une masse de $5 \pm 0,1$ g, et de couvercle percé au centre pour laisser coulisser la tige guide du disque indicateur.

1.4.7 Mesures des valeurs nutritionnelles

Des échantillons de pains 100% farine de blé et pains au germe de blé ont été analysés au CNRE, en vue de déterminer leurs valeurs nutritionnelles respectives. En raison des coûts des analyses, seules les valeurs des éléments suivants pouvaient être évaluées : protide, lipide, glucide, phosphore, fer, calcium et la valeur énergétique. Quant aux vitamines, particulièrement la vitamine E, la détermination n'a pas pu être effectuée par faute de matériels.

2. Généralités sur le blé

2.1. Systématique (21)

Le blé, ou *Varimbazaha* en malgache, est un terme générique qui désigne plusieurs céréales. Ce sont des plantes annuelles de la famille des graminées cultivées dans de très nombreux pays. Dans la classification systématique, le blé appartient au :

- règne : Végétal
- embranchement : Spermaphytes
- classe : Monocotylédones
- ordre : Glumales
- famille : Graminées
- sous-famille : Poacées
- genre : *Triticum*
- espèce : *Triticum sp.*

Le terme « blé » désigne également le grain produit par ces plantes. La figure 1 illustre un lot de grains de blé



Figure 1 : Grains de blé

(Cliché : auteur, 2008)

2.2. Botanique (7)

2.2.1. Origine

Le blé provient soit de l'Asie du Sud-Ouest (blé tendre) soit des rives de la Méditerranée ou de l'Éthiopie (blé dur)

2.2.2. Description (*Triticum* sp.)

a. Racines

Le système racinaire du blé est du type fasciculé. En général, 55% du poids total des racines se trouvent entre 0 et 25cm de profondeur, 18% entre 25 et 50cm, 15% entre 50 et 75cm et 12% au-delà.

Dans les terres profondes, les racines vont chercher l'eau en profondeur. On distingue 5 ou 6 racines primaires et un grand nombre de racines secondaires.

b. Tiges

Elles partent du plateau de tallage. Ce sont des chaumes formés d'entre-nœuds séparés par des nœuds. Elles sont simples (non ramifiées) droites, lisses ou cannelées. Leur longueur est un caractère variétal héréditaire qui est largement influencé par les conditions écologiques du milieu. Chaque tige compte 5 à 6 nœuds. Ces nœuds sont pleins. Les entre-nœuds sont plus ou moins longs, plus ou moins creux et ont une paroi plus ou moins épaisse, leur longueur est variable. Le blé est une plante qui talle. Il y a le maître brin ou talle primaire, puis se forment les talles secondaires, tertiaires.

c. Feuilles

Les feuilles sont de couleur verte et elles jaunissent à maturité. Elles comprennent un limbe, une gaine et une ligule. Le limbe est rubané et terminé par une pointe. La gaine correspond plus ou moins au pétiole de la feuille, elle joue un rôle de soutien de la tige. La ligule est une expansion membraneuse qui se trouve à la jonction du limbe et de la gaine.

d. Inflorescences

Ce sont des épis qui apparaissent lorsque le développement des tiges est terminé. Chaque épi se compose d'un axe ou rachis portant de nombreux épillets. Les épillets sont au nombre de un par article. Ils sont directement attachés sur le rachis.

e. Fleurs

Elles sont petites et sans couleur vive. Chaque fleur est enfermée entre deux bractées appelées "glumelles ". Une glumelle se compose d'un corps et d'un bec, séparés par un étranglement ou col.

Le blé est une plante autogame. Chaque fleur présente 3 étamines à filet long et grêle portant des anthères en forme de X, un ovaire à une loge contenant une seule ovule ; deux stigmates plumeux surmontant l'ovaire et deux glumellules, ou petites écailles qui se trouvent à la base de l'ovaire.

f. Fruits

Après fécondation, chaque fleur donne naissance à un fruit unique qui est le grain de blé. Alors le grain de blé est en même temps un fruit et une graine. Il est entouré par les glumes et les glumelles qui s'enlèvent par simple battage produisant les balles.

2.2.3. Phase végétative (7)

a. Phase de germination

Une fois en terre, le grain de blé commence par absorber de 40 à 65% de son poids d'eau, mais dès qu'il en a absorbé 25%, la germination commence comme le montre la figure 2.1

La racine principale apparaît, puis la gemmule recouverte de la coléoptile qui donnera naissance à la tige primaire ou maître brin (figure 2.2- 2.3). La figure 2 illustre les différents stades de développement du blé depuis la germination jusqu'à la maturité des grains.

b. Phase de tallage (figure 2.4)

La première feuille se déroule et laisse voir la pointe de la seconde feuille. Le jeune plant possède 5 à 6 racines primaires. Lorsque les deux premières feuilles sont presque développées et laissent apparaître la pointe de la 3ème feuille, on peut voir, en transparence à travers la coléoptile, un filament très fin appelé rhizome. Puis toutes les tiges secondaires commencent à croître activement. Cette phase dure 40 à 50 jours.

c. Phase de montaison :

Au sommet du bourgeon terminal se produit le début du développement de l'épi (figure 2.5). Parallèlement, on assiste à l'allongement des nœuds (figure 2.6). Le stade « épi à 1 cm » du plateau de tallage est caractérisé par une croissance active des talles. Le plant de blé a besoin, durant cette phase, d'un important apport d'azote. A la fin de la montaison apparaît la dernière feuille qui est essentielle car elle va à elle seule contribuer au remplissage du grain. Lorsque les maladies causent des dommages à cette feuille, le rendement a de fortes chances d'être réduit.

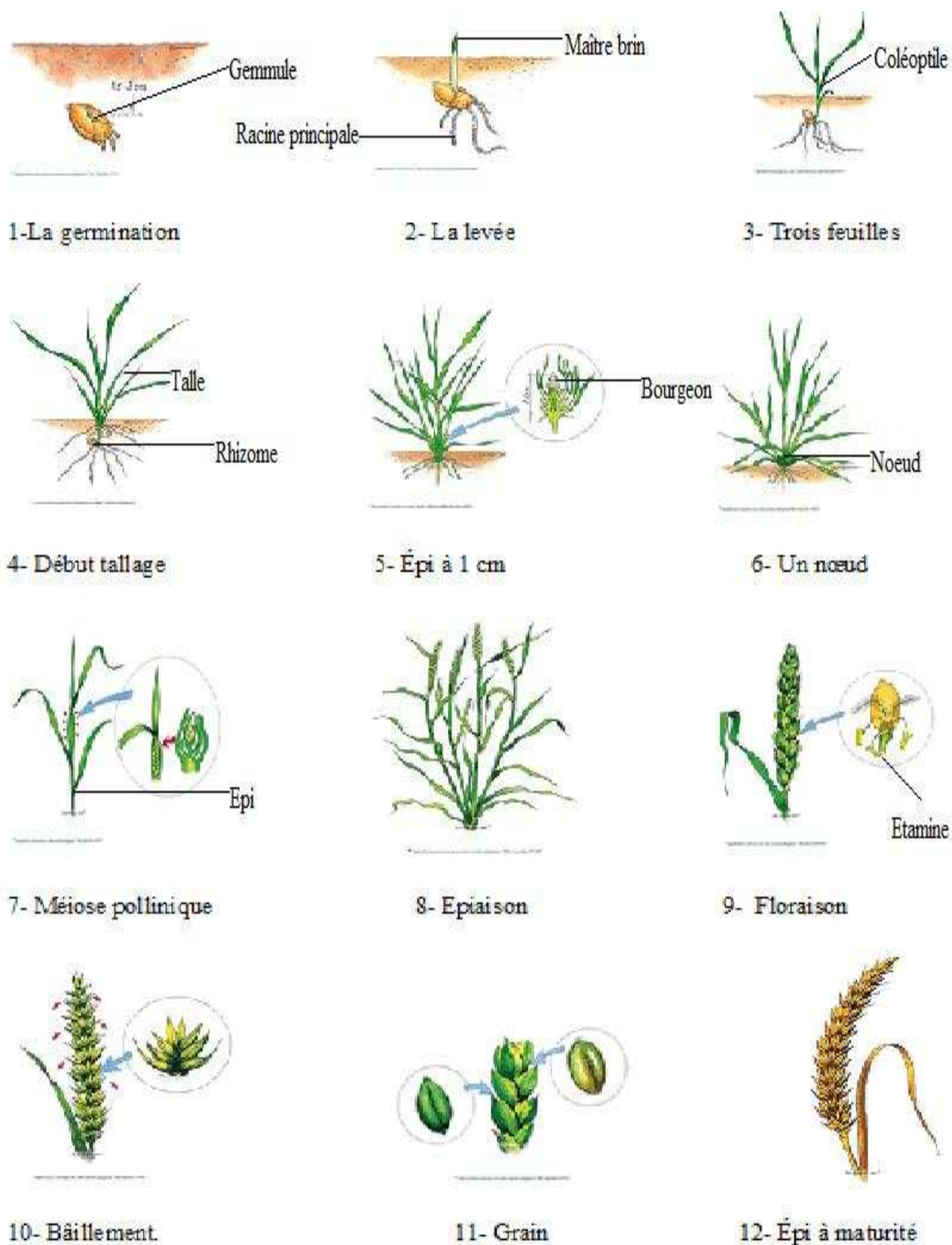


Figure 2 : Les différents stades de développement du blé (38)

d. Phase d'épiaison floraison

Durant cette phase, les épis apparaissent à l'extérieur des tiges (figure 2.7). L'épiaison est terminée lorsque l'épi du maître brin est complètement sorti hors de la gaine (figure 2.8). La majeure partie des épis fleurit. Une fois la fécondation terminée, les étamines apparaissent (figure 2.9). Cette phase dure environ 30 jours.

e. Phase de développement et de maturation du grain

Au bout de 16 à 17 jours, le grain a acquis sa forme et sa taille définitive, mais il est encore mou, le blé est au stade laiteux (figure 2.11). Ensuite, les grains passent par les stades pâteux et durs (figure 2.12). En tout, cette phase dure de 25 à 30 jours. La durée totale du cycle végétatif du blé est de 120 à 150 jours, suivant les variétés et les conditions de culture.

La récolte s'effectue soit manuellement, à l'aide de faucilles, soit mécaniquement, avec les moissonneuses-batteuses. La bonne conservation du blé consiste à atteindre la réduction au minimum de sa teneur en eau. Elle est assurée à des humidités inférieures à 14%.

2.3. Ecologie (21)

2.3.1. Besoins en chaleur

Le blé demande des températures optima diverses selon les différentes phases de son cycle :

- germination : entre 0°C et 43°C, température optimum 27°C,
- floraison : température optimum 16,5°C,
- maturation : température autour de 20°C.

Il est à noter que le blé est une plante de pleine lumière.

2.3.2. Besoins en eau

Pendant les différentes phases de son cycle, le blé a besoin de 600 à 1.500mm d'eau par an, bien répartie. Le blé a surtout besoin d'eau lors de sa germination, de la phase levée au tallage et durant la quinzaine qui précède l'épiaison (plus de 40mm).

2.3.3. Sol

Le blé est une plante exigeante qui demande des sols profonds, à structure grumeleuse perméable, riches en humus et matières minérales. Les meilleurs sols pour le blé sont ceux dont le pH avoisine la neutralité, entre autres :

- les limons,
- les sols argilo-calcaires (8 à 15% d'argile et un peu de calcaire),
- les sols argilo-silicieux,
- les sols volcaniques.

2.3.4. Altitude

A Madagascar, le blé se trouve depuis le niveau de la mer jusqu'à 1.600m d'altitude. Pour la culture pluviale, les conditions écologiques favorables à sa croissance sont réunies sur les Hautes Terres : Itasy, Vakinankaratra, Imerina, Betsileo, Lac Alaotra, Ankaizina. Pour la culture de contre-saison, le blé peut donner de bons rendements à : Imerina, Vakinankaratra, Betsileo et avec le concours d'irrigation dans les régions de Morondava, Lac Alaotra et Bas-Fiherenana-Itasy.

2.4. Variétés

A Madagascar, les trois variétés de blé les plus cultivées sont :

- ANDRY 87, cycle de 118 j, résistante aux rouilles, noire et brune, bonne qualité boulangère.
- AVOTRA 89, cycle de 128 j, résistante à la rouille noire, bonne qualité boulangère.
- DANIEL 88, cycle de 128 j, moyennement résistante à la rouille noire, bonne qualité boulangère.

2.5. Techniques culturales (21)

2.5.1. Culture pluviale

a. Mode de multiplication

Le blé se multiplie par graines en semis direct. La dose de semis est de 100 à 150 kg/ha.

b. Préparation du sol

La profondeur du labour est de 15 à 20 cm (1 mois avant semis). Le pulvérisage des mottes est suivi d'un deuxième pulvérisage ou hersage croisé avant le semis.

c. Préparation des semences

Les semences sont triées et traitées, elles proviennent d'une variété pure ayant une faculté germinative plus de 95%.

d. Semis

Pour le semis, on peut utiliser un rayonneur et la profondeur en est de 3 à 4 cm. Deux modes de semis sont possibles :

- Semis en ligne espacée de 15 à 18cm en terrain moyen et de 18 à 22cm en terrain riche
- Semis en ligne continue.

2.5.2. Culture de contre-saison

Le mode de multiplication, la préparation des semences et le mode de semis sont les mêmes que précédemment, mais pour la préparation du sol, les différentes étapes suivantes sont à suivre :

- Drainage de la rizière, 10 jours avant la coupe du riz
- Confection de drains périphériques et latéraux
- Labour 25 j avant le semis
- Hersage 15 j après le labour
- Affinage et planage pour avoir un lit de semences très fin

2.5.3. Fertilisation

a. Fumure organique

L'épandage de fumier est de l'ordre de 10T/ha au moment du labour.

b. Fumure minérale

Pour le NPK 11-22-16, deux formules sont disponibles :

- 1ère formule : 300kg/ha de NPK sont à épandre au moment du semis, suivis de 100kg/ha d'urée 25 à 35j après semis notamment au moment du sarclage.
- 2ème formule : 400kg/ha de NPK sont à épandre au moment du semis et 120kg/ha d'urée au moment du sarclage.

Pour le NPK 15-15 -15, encore deux formules peuvent être adoptées :

- 1ère formule : 400 Kg/ha de NPK et 50 Kg/ha d'urée sont utiles.
- 2ème formule : 500 Kg/ha de NPK et 50 Kg/ha d'urée sont nécessaires. Il est à remarquer que de la baracine à une dose de 10 Kg/ha est épandue au moment du semis.

2.5.4. Entretien

Le sarclage s'effectue 25 à 35j après semis. La fumure d'entretien consiste à l'épandage d'urée. Concernant l'irrigation, elle est nécessaire pour la culture de contre-saison. Elle s'effectue suivant la texture du sol et selon les observations pratiques. Et enfin, lors de l'irrigation, il faut veiller à ce que l'eau rentre et sorte tout de suite parce que la culture ne supporte pas l'abondance d'eau et l'engorgement.

2.5.5. Récolte

La récolte s'effectue dès que la paille jaunit ; les grains se détachent facilement et se craquent entre les dents et les épis se courbent. Le rendement moyen est de 2,5T/ha.

2.6. Maladies et ennemis (21)

2.6.1. Maladies

Les maladies fréquentes du blé sont les rouilles noire et brune. Elles sont traitées soit au Dithane M 45 (2,5kg/ha dans 300 litres d'eau), soit au Peltar (5kg/ha dans 300l d'eau). Il est recommandé de pratiquer en deux traitements au stade plantule et après épiaison.

2.6.2. Ennemis

Les ennemis du blé se catégorisent en :

- Insectes terricoles qui peuvent être évités par traitement des semences avec Lindafor 20 (dose : 250 g pour 100 kg).
- Chenilles et pucerons qui sont éliminées par Décis EC 25 (0,5l/ha dans 300 d'eau).
- Borers dont le traitement se fait avec Dimecron 100 EC (0,75l/ha).

2.7. Utilisation du blé et ses sous-produits

Les grains de blé peuvent être consommés cuits à l'eau bouillante salée. En général, le blé sert à la fabrication de la farine par la technologie de la mouture. Les farines s'utilisent dans la fabrication du pain blanc, du pain complet, des biscuits, des biscottes, des pâtisseries, etc.

Les semoules servent à préparer des pâtes alimentaires, du couscous, des vermicelles, etc. Les germes servent à fabriquer des farines alimentaires, des produits de régime et des produits pharmaceutiques. Les sons sont valorisés en alimentation animale. En ce qui concerne la paille de blé, elle est destinée à la nourriture et litière des animaux, et à la fabrication des chapeaux, etc. Enfin, les balles servent également de litière.

3. Structure et compositions chimiques du blé et du germe de blé

Le grain de blé dont la coupe est illustrée par la figure 3, est un fruit sec à l'intérieur du grain proprement dit. Le grain de blé est de forme ovoïde, plus ou moins allongée. Sa face dorsale est bombée, un sillon profond parcourt et divise le grain en deux. A sa partie supérieure se trouvent des poils formant la brosse. Le germe ou l'embryon est situé à la base de l'amande.

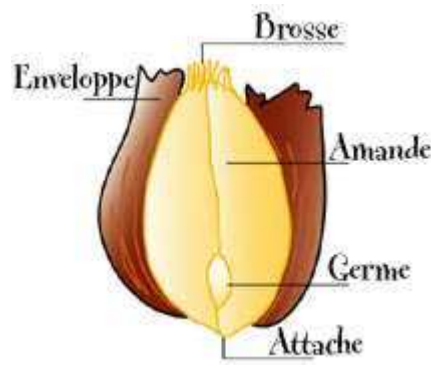


Figure 3 : Coupe d'un grain de blé (9)

3.1. Différentes parties du grain de blé (24)

3.1.1. Enveloppe

Il présente environ 14,5% du poids du grain et se compose de deux parties (figure 4) :

- le péricarpe : enveloppe du fruit issue du développement de l'ovaire et comprend de l'extérieur à l'intérieur épiderme, épicarpe (cellules transversales), endocarpe (cellules tubulaires)
- l'enveloppe de la graine : issue du développement des parois de l'ovule et formée par : le tégument séminal, la bande hyaline, l'assise protéique dite couche d'aleurone.

3.1.2. Amande

Elle présente environ 83% du poids de la graine (figure 4), et constituée par :

- l'amande farineuse renfermant l'amidon entouré par un complexe protéique appelé gluten. Le gluten entre pour 8 à 12 % dans la composition de la farine. C'est la protéine du blé et se trouve uniquement dans le grain de blé. A l'état naturel, dans l'amande, il ne s'appelle pas gluten, ce sont deux matières, la gliadine et la gluténine qui, associées à l'eau, forment le gluten.
- les matières minérales
- les matières grasses
- les sucres.

Il est à remarquer que lors de la mouture, l'amidon endommagé donnera des sucres fermentescibles, qui sous l'action des enzymes, jouent un rôle important lors de la fermentation paninaire.

3.1.3. Germe

Le germe constitue la plus petite unité du grain de blé avec seulement 2,5% de son poids total (figure 4). Il renferme des cellules de base pour la plante. Il est riche en minéraux, protéines, lipides et vitamines, et contient à lui seul la plus grande partie des protides, lipides et de la vitamine liposoluble (cf. Tableau 2). Il donne naissance à d'autres grains.

Tableau 02 : Composition nutritionnelle du germe de blé (18)

Composition	Pour 100 g
Glucides	35.3
Protéines	28
Lipides	9
Phosphore	1
Magnésium	0,270
Manganèse	0,020
Sodium	0,020
Zinc	0,013
Fer	0,0095
Vitamine B1	0,0014
Vitamine B2	0,0005
Vitamine B3	0,0043
Vitamine B6	0,0012
Vitamine E	0,011
Calorie (Kcal)	334

Le germe comprend :

- l'embryon proprement dit, composé d'une gemmule protégée par une coléoptile et une radicule protégée par une légère enveloppe appelée coléorhize.
- le scutellum, considéré comme un cotylédon, qui entoure l'embryon et se sépare de l'embryon.

La figure 4 illustre les différentes parties du grain de blé.

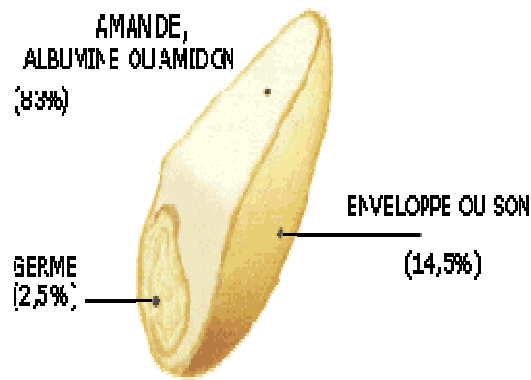


Figure 4 : Proportion du germe dans le grain de blé (32).

3.2. Composition chimique du grain de blé (9)

Le grain de blé est composé d'hydrates de carbone, de protéines, de matières grasses, de matières minérales, de vitamines et de l'eau répartis inégalement dans le son, l'endosperme et le germe.

3.2.1. Hydrates de carbone

Dans le grain de blé, ils sont représentés à l'état soluble par l'amidon et les sucres, et la cellulose à l'état insoluble.

a- Amidon

C'est un polyholoside de formule générale $(C_6H_{10}O_5)$ composé d'amylose (amidon linéaire de liaison 1-4) et d'amylopectine (amidon ramifié de liaison 1-6).

A l'œil nu, l'amidon se présente comme une poudre blanche incolore et inodore. Au microscope il se présente sous forme de granules ovoïdes. Ces derniers sont avides d'eau et ce phénomène influencera largement sur la capacité d'absorption d'eau de la farine. Son hydrolyse assure les sucres nécessaires pour la fermentation panaire.

b- Sucres

Le grain de blé contient plusieurs types de sucres mais en très faible quantité. Ils se repartissent dans les divers constituants du grain selon le tableau 03.

Tableau 03 : Pourcentage des sucres dans les divers constituants du grain de blé (24).

Sucres	Farine /albumen	Enveloppe	Germe
Glucose	0,1	0,2	0,2
Saccharose	0,2	2	6,2
Raffinose	0	0	5
Levosine	0,6	0,1	0
Pentosane	0,4	20	?

c- Cellulose

Très abondante sur l'enveloppe du grain, elle est composée d'une chaîne linéaire de β -D glucopyranoses unies entre elle par une liaison 1-4.

3.2.2. Protéines

Le blé contient principalement 5 protéines différentes : Gluténine, Glyadinne, Globuline, Albumine, Protéose .

La gluténine et la glyadine constituent le gluten et forment 75% de l'ensemble des protéines totales du blé. La teneur en protéine du blé augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de la partie périphérique du grain.

3.2.3. Lipides

Le germe contient le plus de matières grasses dans le blé, c'est pourquoi il est éliminé lors de la mouture pour éviter le rancissement de la farine. Le tableau suivant enregistre la teneur en matières grasses des différents produits issus de la mouture de blé

Tableau 04 : Teneur en matières grasses pour 100g du produit (22).

Produit	Valeur type (%)
Farine extraite à 75%	1,2
Son	4,7
Germe	10,8

3.2.4. Matières minérales

Elles sont déterminées par incinération du produit et ensuite par analyses de la cendre blanche. Le tableau ci-après illustre les teneurs respectives en matières minérales du produit de la mouture du blé.

Tableau 05 : Teneur en matières minérales pour 100g du produit (26)

Produit	Valeurs types (%)
Farine extraite à 75%	0,48
Son	4,65
Germe	4,1

3.2.5. Vitamines

Presque toutes les vitamines se rencontrent dans le blé et la farine de blé sauf les vitamines D et C. Le germe a la plus forte teneur en vitamines E de tous les produits alimentaires (33). Toutefois, la détermination de la teneur en vitamine E du germe de blé n'a été réalisable au cours de cette recherche.

3.2.6. Enzymes

Le blé contient plusieurs types d'enzymes qui lui sont nécessaires aux activités métaboliques. Parmi elles, l' α -amylase et le β -amylase sont connues pour leur importance dans la fermentation panitaire. Le tableau 06 enregistre les principales enzymes du blé.

Tableau 06 : Principales enzymes du blé (23)

Type d'enzyme	Rôle
α - amylase	Transformer l'amidon en dextrine. Elle n'intervient qu'à la germination du blé
β -amylase	Transforme l'amidon en β -maltose
Maltase	Hydrolyse le maltose
Lipases	Libération des acides gras rendant ainsi le produit acide susceptible au rancissement
Enzymes protéolytiques	Leur rôle n'est pas encore bien précisé

Les diverses familles de constituants chimiques sont représentées dans tous les tissus, mais avec des teneurs variables. La figure 5 montre la répartition des constituants chimiques du grain de blé.

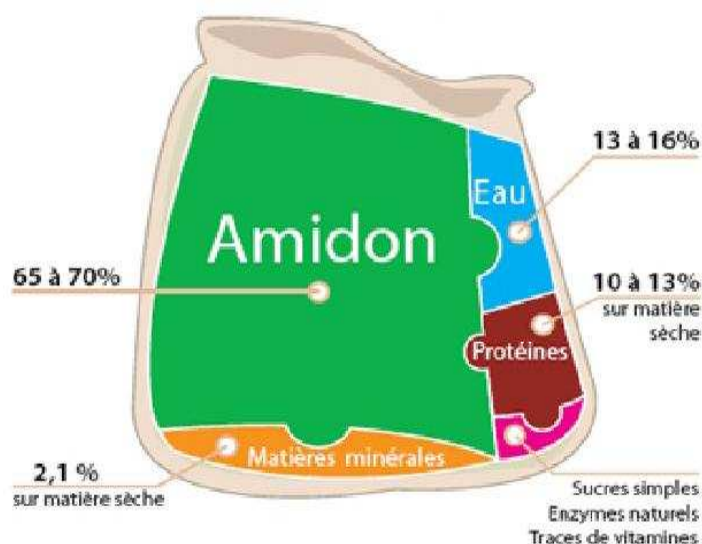


Figure 5 : Répartition des constituants chimiques du grain de blé (36)

3.3 Composition chimique du germe de blé

Le germe de blé contient de nombreux constituants différents de haute valeur biologique. Le tableau 07 illustre les quantités respectives de chaque constituant chimique du germe de blé.

Tableau 07 : Composants chimiques du germe (pour 100g de germe) (23)

Hydrates de carbone	Masse (g)	Gras	Masse (mg)
Amidon	16,0	Acide palmitique	1,05
Sucrose	14,0	Acide stéarique	0,07
Raffinose	9,5	Acide arachidonique	0,05
Fructose	0,5	Acide palmitoléique	0,03
Glucose	0,7	Acide oléique	1,15
Melibiose	0,3	Acide linoléique	3,92
Maltose	0,6	Acide linoléique	0,42
Vitamines	Masse (mg)	Eléments minéraux	Masse (mg)
E	13,8	Phosphore	1190,0
B1	2,0	Fer	10,0
B2	0,6	Calcium	59,0
B6	3,3	Magnésium	264,0
Acide folique	0,3	Sodium	3,0
Acide pantothénique	1,0	Potassium	935,0
Biotine	17,0	Zinc	21,0

Ce tableau indique que le germe de blé est riche essentiellement en Acide Gras Essentiel surtout l'acide linoléique (3,92 mg/ 100g de germe). En plus il est une source importante de phosphore avec 1190mg/ 100g, et de vitamines notamment la vitamine E (13,8 mg/ 100g de germe). Il est à rappeler que la vitamine E est un antioxydant très puissant, d'où l'utilisation du germe de blé d'une part en cosmétiques pour les soins du visage, et d'autre part en industries alimentaires pour la fabrication des conservateurs. Enfin, grâce à ses richesses en lipides, le germe de blé figure parmi les produits énergétiques.

4. Conclusion partielle

Dans cette première partie, les bases scientifiques de l'étude énoncent la place du pain dans l'habitude alimentaire de la population locale actuellement face au riz. D'autre part, la production journalière de 0,8T de germe de blé pour la société MANA Madagascar permet de valoriser ce sous-produit même à l'échelle industrielle. Pour atteindre les objectifs fixés, il s'avère de mener d'abord des recherches bibliographiques, ensuite des essais de panification. Viennent ensuite les différentes analyses portant sur la mesure du volume de pousse des pâtons, évaluation des qualités des aspects extérieurs des pains, mesure du profil de rassissement, évaluation des goûts par les tests sensoriels et analyse des valeurs nutritionnelles.

Le blé est une plante herbacée, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des graminées. La durée totale du cycle est de l'ordre de 125 à 150 jours en milieu tropical.

Le grain de blé est constitué par le son qui représente 13% de son poids ; l'enveloppe occupe 85% du poids total, elle renferme l'amande farineuse. Et enfin, le germe ou l'embryon situé à la base de l'amande représente 2,5% du poids total du grain, c'est la partie qui contient le plus d'éléments nutritifs. Le grain de blé est constitué chimiquement d'hydrates de carbone, de protéines, de lipides, des matières minérales, des vitamines et enzymes. La composition chimique du blé varie en fonction des différentes parties. Quant au germe, il contient de nombreux composants de haute valeur biologique. Ce point nous emmène à entamer la deuxième partie de cet ouvrage consacrée à la technologie d'extraction du germe de blé.

Chapitre II. TECHNOLOGIE DE FABRICATION DES FARINES

1. Processus d'obtention de la farine de germe

La mouture du blé permet la séparation du germe de la totalité du grain de blé. La détermination de la quantité exacte de ce sous-produit à la fin de la fabrication s'avère délicate du fait de son taux faible dans le bilan de la mouture. Toutefois, les matériels industriels de la minoterie MANA est dotée d'un système de pesage permettant le calcul automatique de la quantité de germe extraite durant la mouture.

1.1. Mouture du blé (24) (36)

1.1.1 Traitements préliminaires

Le pesage se déroule sur un pont à bascule. Après la pesée, un échantillon du chargement est prélevé afin d'être analysé. Le but de cette opération est d'évaluer la qualité du blé par la détermination de certaines caractéristiques telles que la teneur en eau. La cargaison sera déchargée dans le cas où le blé livré correspond aux engagements figurant au cahier des charges. Si tel est le cas, la mise en silos pourra s'effectuer ainsi que le nettoyage des grains. La mise en silos crée un important dégagement de poussière. Celle-ci est aspirée et éliminée à l'aide d'appareils tels que l'épailleur. C'est la première phase de nettoyage du blé.

Puis, différents appareils vont retirer toute la poussière, les débris de roches, de graines, de paille ainsi que de métaux ferreux qui peuvent encore s'y trouver. Il ne reste, une fois ces opérations terminées, plus qu'à mouiller les grains de blé afin de faciliter le retrait du son, enveloppe qui protège l'amande, principal élément servant à la fabrication de la farine. Pour cela, le taux d'humidité des grains est augmenté d'environ 15%.

1.1.2 Mise en silo de repos

Après le mouillage, le blé est mis en silo de repos en vue de faciliter la séparation de l'amande et du son, d'assouplir les sons et les rendre plus résistants mécaniquement et de rendre l'amande plus friable. Cette friabilité a pour conséquence de diminuer la consommation d'énergie lors de la mouture. Après un temps de repos variable, le blé subit un second nettoyage.

1.1.3 Second nettoyage

Les grains de blé passent un second nettoyage et subissent une légère humidification en surface rendant ainsi les couches du péricarpe souple au cours du broyage. La mouture est précédée d'un pesage et d'un système magnétique qui, respectivement, assurent le contrôle quantitatif et élimine les débris métalliques.

Le principe général de la mouture repose sur la différence de structure des parties du grain : l'amande friable se laisse écraser facilement, tandis que les enveloppes, par suite de leur nature fibreuse résistent plus facilement sans se rompre aux efforts d'écrasement et de piochage des cylindres. La mouture débute par le broyage, suivi du blutage et du sassage des semoules et se termine par le convertissage. La figure 7 illustre le diagramme de la mouture du blé permettant d'extraire le germe de blé au cours de l'opération.

1.1.4 Broyage

Les grains passent entre de gros cylindres cannelés qui tournent en sens inverse à des vitesses différentes. Plus ils descendent dans la ligne de broyage, plus les cannelures des cylindres deviennent fines et rapprochées. Cette opération permet de séparer l'enveloppe de l'amande. Les produits de chaque broyage sont composés de farine (issue de l'amande de grain), de semoules (morceaux d'amandes insuffisamment broyées plus ou moins vêtues de sons), du son (issu de l'enveloppe) et du germe. Ces produits moulus sont appelés « Boulange ». La figure 09 montre les appareils de broyage du blé.



Figure 6 : Moulins à cylindres cannelés.

(Cliché : Auteur, 2008)

La figure 7 illustre le diagramme de l'extraction du germe de blé par la mouture du blé.

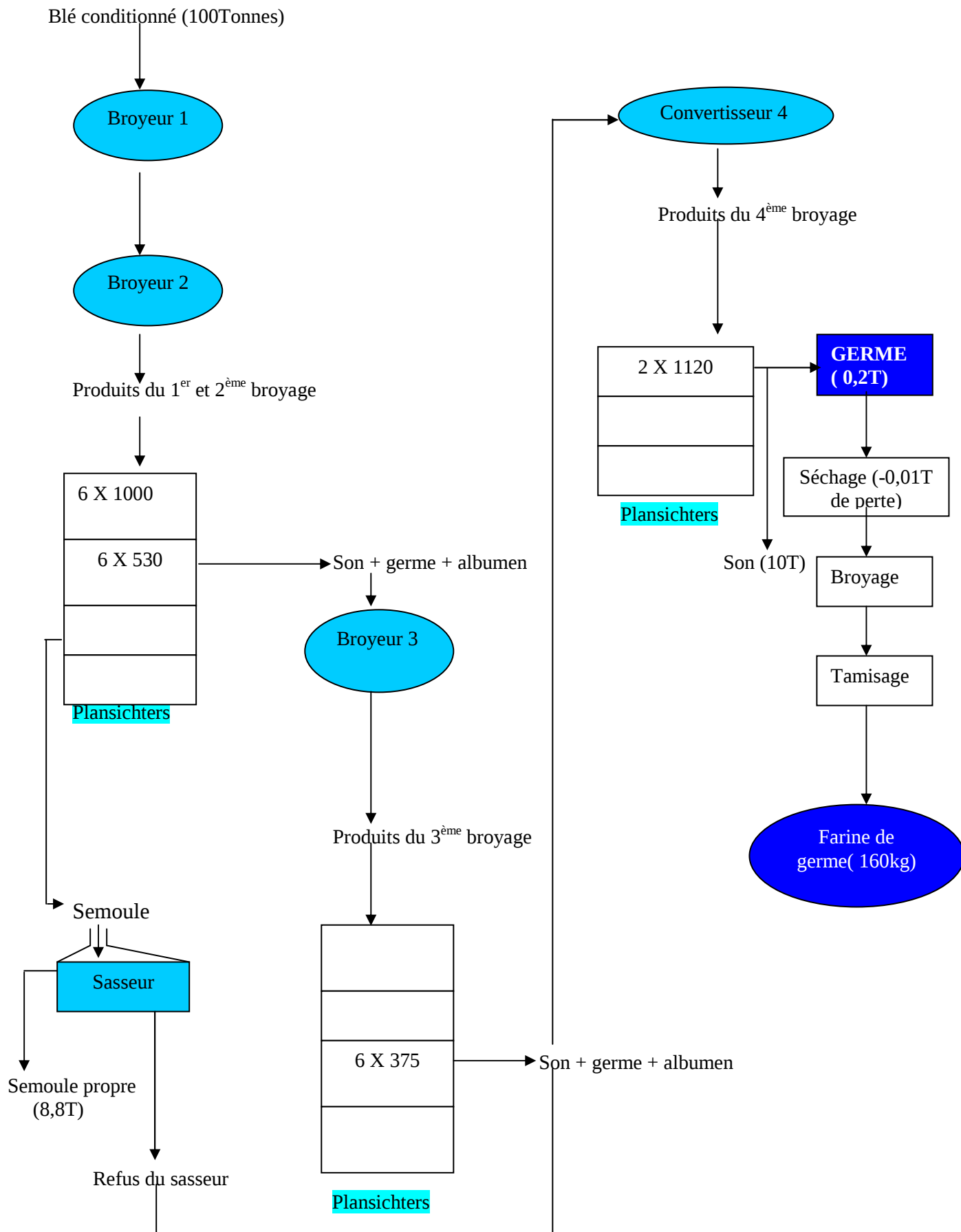


Figure 7 : Diagramme de l'extraction du germe de blé et de sa farine

1.1.5. Blutage

Les produits de chaque broyage sont séparés et classés selon leur granulométrie grâce à un appareil appelé Plansichter. Il est composé de six compartiments, dans lesquels se trouve un empilement de tamis de mailles différentes. Il est animé par un mouvement horizontal circulaire. Après chaque broyage et avant de passer au suivant, le blutage est bluté dans le plansichter qui sépare la farine des semoules, des sons et du germe.

A la sortie des plansichters, les produits finis constitués du premier lot de farine sont mis de côté. Quant aux autres produits, tels semoules, sons et germe, ils doivent passer à nouveau par les broyeurs car ils ne doivent pas être mélangés à la farine.

Il est à signaler que les issus sont constitués par tous les produits de la mouture autre que la farine.

1.1.6 Sassage

Les semoules sont classées en fonction de leur densité et finesse par les sasseurs. Durant cette opération de sassage, les semoules passent à travers des tamis très fins animés d'un mouvement vibratoire horizontal. Les semoules les plus lourdes tombent, les plus légères sont aspirées vers le haut par un courant d'air qui souffle continuellement. Il est à remarquer qu'au cours de cette étape, tous les produits issus des sasseurs sont tous des produits intermédiaires

1.1.7 Convertissage

Les convertisseurs sont des appareils à cylindres dont les rouleaux sont lisses. Les semoules ainsi classées par les sasseurs sont envoyées, selon leur catégorie, dans une suite de convertisseurs qui les brisent en fragments de plus en plus petits afin d'obtenir des semoules blanches très fines, de la farine, du germe et un remoulage. Ces produits sont triés par d'autres plansichters.

Les plus grosses semoules sont envoyées en tête de convertissage pour être transformées en farine. Tandis que celles de grosseur moyenne vont subir un deuxième convertissage. Quant aux semoules plus légères, elles sont renvoyées au broyeur plus serré (broyeur n°03, figure 7).

Il est à noter que c'est au niveau du refus du plansichter du convertisseur n°04 que sort le germe de blé. Il est aplati et se laisse facilement enlever par tamisage (cf. figure 7).

1.1.8 Taux d'extraction de la farine de blé et du germe

Le taux d'extraction de la farine de blé est obtenu selon le rapport :

$$\frac{\text{Quantité de farine obtenue}}{\text{Quantité de blé mise en oeuvre}} \times 100$$

Comme le montre la figure 8, le taux d'extraction limite du blé étant de 75%. En dessous de cette limite, le rendement de la mouture est trop faible et les pertes sont trop importantes. Dans les meilleures conditions, il en résulte que 16% sont laissés aux sons, 8,8% de remoulages. Notons que le remoulage est constitué de mélange d'enveloppes très fines et d'amande farineuse.

Quant au germe de blé, le procédé de broyage pratiqué par la minoterie MANA permet d'obtenir un rendement en germe de 0,2%. La figure 8 illustre la répartition des différents produits issus de la mouture du blé.

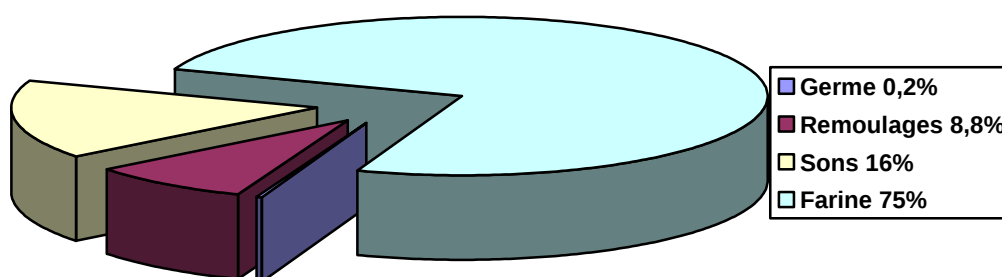


Figure 8 : Bilan de mouture

1.1.9 Mode de conservation (8), (23)

a- Pour la farine de blé

A la fin de l'opération, la farine de blé doit être emballée dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit. Les récipients, y compris les matériaux d'emballage, doivent être fabriqués avec des matériaux sans danger et convenables à l'usage auquel ils sont destinés. Ils ne doivent transmettre au produit aucune substance toxique, ni odeur ni saveur indésirable (cf. annexe 4).

Après la fabrication, il est préférable de laisser reposer la farine pendant 2 à 3 semaines avant son utilisation pour atteindre la maturation. Le local de stockage (Figure 11) devrait être bien aéré, sec et frais pour éviter l'attaque des moisissures, les parasites et rongeurs. Le risque d'échauffement doit être évité.

En outre ; il serait meilleur d'éviter de laisser les sacs sur une surface dure et contre un mur. Le mieux c'est de les placer sur du plancher en bois tout en permettant une bonne circulation d'air entre eux comme le montre la figure suivante.



Figure 9 : Local de stockage de farine de blé.

(Cliché : Auteur, 2008)

b- Pour le germe de blé

Après la récolte, le germe de blé se trouve à l'état de vie ralentie. Placé dans un milieu favorable, son rythme vital s'accélère très rapidement au cours des échanges d'eau, le germe possède les propriétés de se dessécher plus vite que les autres parties du grain, et inversement de se gorger rapidement de l'eau lors d'une humidification. Le germe est donc plus sensible à l'eau et aux variations de température durant la conservation du grain.

Le stockage des grains dans les meilleures conditions constitue le facteur primordial à l'obtention de germe de bonne qualité. Ainsi, avant la mouture, il est recommandé d'effectuer un séchage du blé afin de réduire son métabolisme et celui des microorganismes. Il est nécessaire également de soumettre les grains à une ventilation dans le but de maintenir la température et la

teneur en eau à un niveau acceptable. A part cela, le traitement chimique évite également le développement des microorganismes à l'intérieur des grains de blé.

Après mouture, la meilleure stabilité du germe de blé est assurée par une faible teneur en eau. Il suffit donc de sécher le germe jusqu'à un taux d'humidité de 8 à 10%.

1.2 Fabrication de farine de germe

Le processus de fabrication de la farine de germe de blé est illustré par la figure.7. Le germe de blé représenté par la figure 10 n'est pas utilisé à l'état tel qu'il est. Sa granulométrie empêche la levée de la pâte lors de la fermentation car les gaz vont s'échapper à travers les trous que fait le germe de blé à l'intérieur de la masse de la pâte. Il devrait donc être séché, broyé et tamisé jusqu'à l'obtention d'une granulométrie équivalente à celle de la farine de blé.



Figure 10 : Germe de blé entier

(Cliché : Auteur, 2008)

1.2.1. Séchage

Le germe de blé sorti du moulin ne pourrait pas être tout de suite utilisé à cause de son humidité élevée. Il faudrait le sécher pendant 4h au soleil ou bien le sécher au moyen d'un séchoir. Ce deuxième procédé requiert l'utilisation d'un dispositif de séchage suivant : séchoir, sacs de jute pour l'étalage du germe et cadre en bois de 30x30cm de dimension ; la partie supérieure de ce cadre est couverte d'un filet de 200µm de maille. Ce système permet à la fois de retenir les grains de germe à l'intérieur du cadre pendant le séchage, et aussi de bien localiser l'action du séchoir durant l'opération. Le germe doit être pesé avant et après le séchage pour savoir respectivement le poids initial et final du germe. Prélever ensuite des échantillons de germe pour déterminer leur

humidité. Le mode de calcul de l'humidité est détaillé dans les parties expérimentales 1. L'opération de séchage est arrêtée lorsque le taux d'humidité obtenue avoisine 10%.



Figure 11 : Séchage de germe de blé

(Cliché : Auteur, 2008)

1.2.2. Broyage

Le séchage est suivi du broyage du germe. Cette opération se fait au moyen d'un broyeur mécanique (cf. figure 12). Cet appareil est constitué d'une partie supérieure de forme tubulaire. Celle-ci sert de réceptrice et conduit des produits vers l'enceinte de broyage. Vient ensuite le broyeur proprement dit, formé d'un système de deux cylindres cannelés. L'écartement des deux cylindres est variable, de 1 à 17mm, grâce à un dispositif de réglage situé à l'avant des cylindres. Ces derniers sont accouplés à un moteur électrique alimenté par une tension de 220 Volts. Ce moteur pourrait fonctionner à vitesse lente, moyenne ou rapide.

Pour le broyage du germe, la puissance du moteur est ajustée à la vitesse moyenne et l'écartement des cylindres est réglé à l'ouverture 17 en vue d'avoir la granulométrie désirée tout en veillant à ce qu'il n'y a pas de bourrage durant l'opération.



Figure 12 : Broyeur à cylindres

(Cliché: Auteur, 2008)

1.2.3. Tamisage

Cette opération est réalisée avec un tamiseur électronique de marque OCTAGON. Comme le montre la figure 13, cet appareil est constitué de deux parties. La partie inférieure est formée par le compartiment du moteur, les boîtes électroniques ainsi que le tableau de commande digital sur lequel on peut régler la vitesse de vibration des tamis (de 4 à 12 tours/seconde).

Les jeux de tamis constituent la partie supérieure de l'appareil. Le tamis supérieur est doté d'une maille de $1100\mu\text{m}$. Et l'ouverture de la maille du tamis inférieur est de $200\mu\text{m}$, ce qui permet alors d'obtenir de la farine de germe ayant une granulométrie très fine. Les tamis sont faits en matériaux inoxydables. Deux tiges métalliques de soutien munies de deux systèmes de vis à la partie supérieure permettent de stabiliser les tamis contre les vibrations. L'appareil est alimenté par une tension alternative de 220Volts.



Figure 13 : Tamiseur

(Cliché : Auteur, 2008)

Après tamisage, on obtient de la farine de germe de blé prête à être utilisée. La figure 14 montre du germe de blé broyé et tamisé. Si la farine ainsi produite n'est pas tout de suite utilisée, il faut bien la conserver contre la chaleur et à l'abri de la lumière. Le mode de conservation de la farine ainsi obtenue est le même que pour le germe de blé à l'état brute.



Figure 14 : Germe de blé broyé et tamisé

(Cliché : Auteur, 2008)

2. Contrôles qualités des farines

2.1. Analyses physico-chimiques de la farine de blé

2.1.1 Standardisation de la qualité de la farine de blé

Dans un même silo se trouvent toujours des lots de blé différents par leur pays d'origine, et les farines ainsi obtenues présentent des caractéristiques différentes. Toutefois, les qualités de farine produite doivent être constantes pour répondre aux attentes des utilisateurs. De cette qualité standardisée de la farine boulangère, les usagers, tels les boulangers, n'ont plus à effectuer des calculs sur les quantités des matières premières à utiliser. A titre d'exemple, avec une telle qualité de farine, le taux d'hydratation est toujours compris dans une fourchette bien déterminée, et le boulanger en déduit la quantité d'eau à apporter. Ce qui procure un gain de temps et un produit de qualité constante.

Puisqu'il faudrait chercher à homogénéiser la qualité des farines produites à partir de différentes qualités de blé, des échantillons sont prélevés à chaque lot de blé et soumis à des analyses de contrôle au laboratoire pour évaluer toutes leurs caractéristiques :

- une analyse pour la force boulangère, mesurée avec un Alvéographe Chopin,
- une analyse pour la valeur fermentative et notamment l'activité enzymatique de la farine, mesurée à l'aide d'un Hagberg qui donne l'indice de chute ou Falling number.

Ces premiers résultats obtenus donneront les caractéristiques des différents lots de blé afin de les classer et ainsi faire un mélange meunier donnant une farine équilibrée. C'est la technique de « correction » de la farine (1). Le tableau 08 regroupe la liste des correcteurs utilisés.

Ce premier contrôle est très important et doit être fait avec minutie. Il est cependant indispensable de le compléter par un essai de panification. Ce test est une panification réalisée sur les mêmes principes que chez l'artisan boulanger.

Tableau 08 : Liste des correcteurs utilisés pendant la mouture du blé (30)

Nom	Mode d'obtention	Rôles	Effets technologiques
Malt	Obtenue par mouture de grains d'orge ou de blé germé simplement écrasé	pour corriger les blés avec des activités amylasiques faibles, c'est à dire des temps de chutes de Hagberg élevés (Temps de chute de Hagberg ou Falling Number > 350s)	- Diminution du temps de chute de Hagberg. - Amélioration de la vitesse de fermentation. - Amélioration du volume, de l'aspect et de la couleur du pain
Amylases fongiques	Provenant de la multiplication de petits champignons microscopiques nommés <i>Aspergillus</i>	Pour stabiliser l'activité amylasique de la farine	- Amélioration de la vitesse de fermentation - Amélioration du volume et de l'aspect du pain.
Gluten	C'est la protéine du blé et se caractérise par son aptitude à former un réseau élastique, extensible et imperméable.	Pour corriger les blés avec manques de protéines et de force (protéines < 11% et/ou W < 200)	- Augmentation du W, P et de l'indice d'élasticité (Ie) de la pâte au test à l'Alvéographe de Chopin. - Augmentation de la capacité d'absorption en eau et consistance de la pâte au pétrissage - Amélioration de l'élasticité, diminution de l'extensibilité lors du pétrissage et façonnage - Amélioration de la rétention gazeuse lors de la fermentation
Acide ascorbique	C'est la vitamine C, mais on n'a pas obtenu des informations sur sa préparation.	Survient des problèmes tels que : - excès de force - blocage des pâtes - mauvaise conservation du produit fini	- Au test à l'Alvéographe de Chopin : diminution du L et du G ; augmentation du W, P, P/L et de l'Ie. - Amélioration de l'élasticité au façonnage - Amélioration de la tenue au cours de la fermentation - Amélioration du volume du pain
Protéine	Protéine de synthèse dont la préparation reste aussi le secret de son fabricant	Pour corriger les blés avec des excès de force (teneur en protéine > 13%, W > 250, P/L > 1,4)	- Diminution de W, P, et P/L - Diminution de la consistance et de l'élasticité au cours du pétrissage

2.1.2. Humidité

Le principe de dosage est donné dans les parties expérimentales 1. La connaissance du taux d'humidité de la farine est très importante ; il sert à la détermination de 3 éléments essentiels :

- Conservation : il existe un intervalle du taux pour lequel la farine est bien conservée (12 à 16%). Au-delà, le processus de rancissement et fermentation de la farine est accéléré (1)
- Condition technique d'emploi : le taux d'humidité intervient surtout en boulangerie, sur la capacité d'hydratation des pâtes, donc dans les propriétés rhéologiques de la pâte formée.
- Condition de commercialisation : le taux d'humidité est admis comme un critère de commercialisation de la farine.

2.1.3. Taux de cendres

Les cendres représentent une partie des éléments minéraux contenus dans la farine. La détermination du taux de cendres est un moyen de contrôle du taux d'extraction de la farine. C'est donc un critère de pureté qui est principalement appliqué au niveau de la meunerie. Les modes de dosage sont donnés dans les parties expérimentales 2.

Les types de farine sont déterminés par les taux de cendres et d'humidité selon le tableau suivant.

Tableau 09 : Classification des types de farine en fonction du taux de cendres et taux d'humidité (9)

Type	Taux de cendres en % de MS	Taux d'humidité maximum (%)	Taux d'extraction correspondant (%)
45	Moins de 0,5	15,5	67
55	0,50-0,60	15,5	75
65	0,62-0,75	15,5	78
80	0,75-0,90	15,5	80-85
110	1-1,2	15,5	85-90
150	Plus de 1,4	15,5	90-98

2.1.4. Dosage des matières grasses

Le taux des matières grasses a une influence sur la conservation et la valeur boulangère, car il peut amener à la détérioration des caractères organoleptiques. Un taux de matières grasses élevé dans la farine est un critère d'extraction élevé. La présence de matières grasses élevées dans la farine rend le produit vulnérable à l'altération. La dégradation des matières grasses est provoquée par plusieurs facteurs :

- action de lipases présentes dans le produit,
- activité des microorganismes donnant le goût de savon,
- action de l'oxygène de l'air.

L'hydrolyse des matières grasses transforme le goût et apporte une odeur désagréable à la farine par libération d'acides gras. La méthode de dosage est illustrée dans les parties expérimentales 3.

Une faible quantité de matières grasses dans la farine est aussi une marque d'altération du produit. En général, le taux de matières grasses dans la farine est compris entre 1,20 et 1,40% (24).

2.1.5. Taux d'acidité

L'acidité de la farine est due surtout à la présence d'acides gras libres provenant de l'hydrolyse des matières grasses naturelles du blé. D'autres proviennent aussi de la présence des phosphates acides et d'acides aminés de la farine. Le taux d'acidité varie en fonction du taux d'extraction, de l'état de conservation, et de l'âge de la farine. Une farine emmagasinée accroît plus vite son acidité qu'un blé stocké.

Le taux d'acidité a une influence importante sur la valeur technologique de la farine surtout la qualité du gluten. L'acidité de la farine évolue de l'ordre de 25mg (rapporté en % de MS) pour une mouture récente, elle s'élève progressivement à 50 mg avec une amélioration de la valeur boulangère. Au dessus de 70mg, il y a régression de la valeur boulangère. Ainsi, l'excès d'acidité modifie la qualité du gluten, notamment sa cohésion (extraction difficile et désagrégation), son élasticité (pâte courte et grasse), et sa capacité d'hydratation (5). La méthode de dosage est donnée dans les parties expérimentales 4.

2.2. Analyses sur les qualités plastiques des farines composites (farine de germe/farine de blé)

Ces analyses donnent des informations précises sur les caractéristiques des farines composites. Il est à noter d'abord que les résultats de ces analyses sont rapportés dans les parties Résultats et recommandations.

2.2.1. Dosage du gluten

Le gluten est un complexe formé de glyadine et de gluténine. Il joue le rôle d'armature de la pâte, lui conférant ainsi sa force c'est à dire ses valeurs plastiques (9). Le boulanger, pour pouvoir exploiter à fond sa farine doit se rendre compte de la quantité et de la qualité du gluten contenu dans sa farine. En panification, la teneur en protéines est très importante. En effet, l'hydratation de la farine et le volume du pain dépend de la quantité et de la qualité des protéines insolubles. A part les fonctions technologiques du gluten, la haute teneur en protéines élève la valeur nutritionnelle de la farine.

L'examen de la qualité du gluten s'avère nécessaire pour connaître le comportement de la pâte lors de la panification. L'appréciation de la qualité du gluten est obtenue lors de son extraction (cf. partie expérimentale 5), par les diverses caractéristiques que la pâte fait apparaître. Ces caractéristiques sont :

- extraction facile ou difficile
- extensibilité c'est-à-dire élasticité et ténacité
- consistance c'est à dire agglomération facile ou gluten déchiqueté
- teinte et odeur.

2.2.2. Indice de sédimentation ou test de Zeleny

C'est une méthode d'appréciation du gonflement des protéines de la farine Elle donne une information sur le comportement de la pâte et la force boulangère pendant la panification. Elle est influencée par quelques facteurs :

- broyage utilisé
- taux d'extraction
- granulation
- teneur en cendres.

2.2.3. Mesures alvéographiques(6)

La société MANA Madagascar dispose d'un appareillage sophistiqué pour les mesures alvéographiques des pâtes. Appelé Alvéographe NG Consistographe de marque CHOPIN (figure 15), c'est un appareil doté d'un microordinateur (au centre de la figure 15), programmé pour effectuer des mesures alvéographique et consistographique de la farine, d'une unité de pétrissage avec une petite chambre de fermentation, d'un dispositif pour le test des pâtes (figure 16). Grâce à une imprimante reliée à l'ordinateur de l'appareil, toutes les mesures sont immédiatement transformées en données et graphes utilisables pour les interprétations ultérieures.



Figure 15 : Alvéographe NG Consistographe CHOPIN

(Cliché : Auteur, 2008)



Figure 16 : Mesure de la capacité de déformation de la bulle de pâte à l'Alvéographe.

(Cliché : Auteur, 2008)

L'essai plastique sur l'Alvéographe de Chopin étudie le comportement de la pâte donnant ainsi les deux propriétés importantes dont l'extensibilité et la ténacité (résistance à l'extension). Ces deux propriétés donnent des informations plus que suffisantes sur la qualité et la quantité du gluten car l'Alvéographe reproduit les manutentions faites industriellement.

Quant aux paramètres alvéographiques, les résultats sont mesurés ou calculés à partir des cinq courbes obtenues à l'Alvéolink (cf. partie expérimentale 6). 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. La figure 17 illustre l'exemple des courbes obtenues donnant les caractéristiques alvéographiques de la farine.

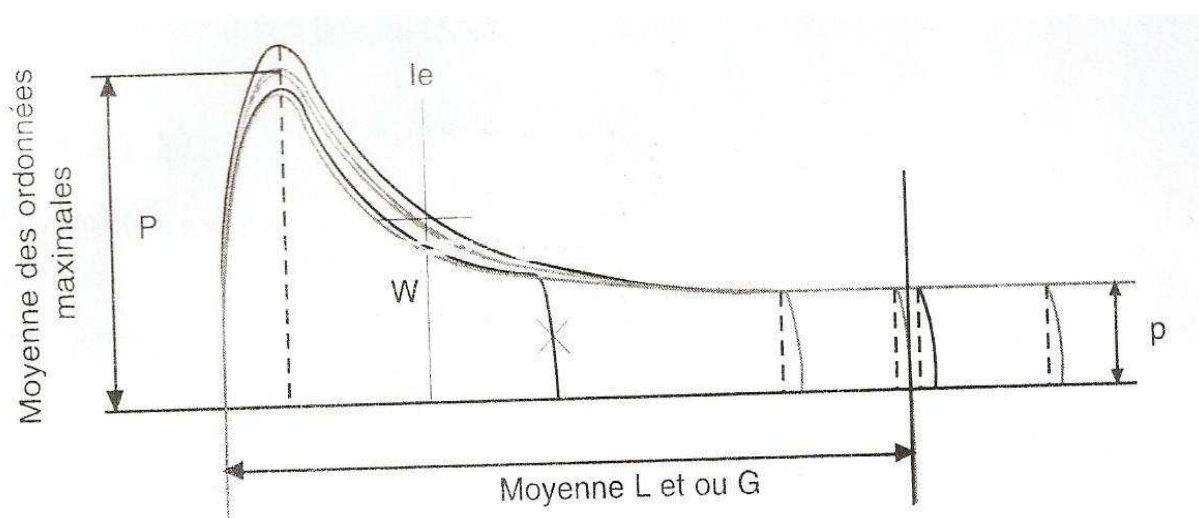


Figure 17 : Courbe d'alvéographe d'une farine (6)

- P : ténacité (pression maximum nécessaire à la déformation)
- L (ou G) : extensibilité (longueur de la courbe)
- W : force boulangère (surface de la courbe)
- P/L : rapport de configuration de la courbe
- p : pression au point de rupture
- Ie : indice d'élasticité (Ie : pression à 4cm du début de la courbe P)

a. Suppression maximale « P »

La moyenne des ordonnées maximales mesurée en millimètres et multipliée par 1,1 représente la valeur de la pression maximale P qui est en relation avec la résistance de la pâte à la déformation.

b. 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 perpendiculairement 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.

c. Indice de gonflement « G »

C'est la moyenne des indices de gonflement lus sur l'abaque de gonflement et correspondant aux abscisses de rupture « L ».

$$G = 2,26 \sqrt{L}$$

d. Travail de déformation « W » :

Le travail de déformation de la pâte, rapporté à un gramme de pâte, représenté par le symbole « W », et évalué en 10^{-4} joules (J) se calcule de la façon suivante :

$$W = 1,32 (V/L) S$$

V= volume d'air insufflé en millimètres cubes.
L= abscisse moyenne de la rupture, en millimètres
S= surface de la courbe, en centimètres carrés.

e. Rapport P/L :

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

f. Pression « p » :

C'est la pression mesurée en millimètres à la moyenne des points de rupture multipliée par 1,1.

g. Indice d'élasticité « I_e » :

C'est le rapport entre la mesure de pression exprimée en millimètres de H₂O dans la bulle après avoir insufflé sous le pâton un volume d'air de 200cm³, qui correspond à une longueur L de 40mm ou à un gonflement G de 14,1 et le P maximum de la courbe. I_e est toujours inférieur à 100%.

$$I_e (\%) = 200 P$$

2.3. Analyse sur la qualité fermentative de la pâte ou Temps de chute ou Falling number

C'est une méthode d'appréciation de l'activité amylasique des grains et de la farine et donc appréciation de la fermentation de la farine qui se produit au cours de la panification. La connaissance du Temps de chute de la farine permet alors de détecter son activité diastasique qui est très importante lors de la cuisson. C'est l'enzyme en présence d'eau qui dégrade l'amidon en sucres fermentescibles (maltose).

Un faible temps de chute se traduit par une forte activité des enzymes et que la farine provient des grains germés. Un temps de chute élevé signifie une faible activité des enzymes et que la farine provient des grains normaux. L'activité amylasique est liée surtout à la présence de grains germés. Une farine de blé de qualité convenable a ses valeurs d'indice de chute comprises entre 200 et 300 secondes.

3. Conclusion partielle

La mouture du blé débute par le nettoyage, mouillage et mis en repos du blé avant son traitement. Viennent ensuite le broyage, le blutage, le sassage, et le convertissage par lequel permet d'extraire le germe de blé. Ces 4 opérations permettent l'écrasement du grain en donnant 75% de farine blanche, 16% de sons, près de 9% de remoulage et 0,2% de germe.

La farine de blé est emballée dans des sacs lui préservant toutes les qualités nutritionnelles et organoleptiques. Le stockage de la farine se fait dans des endroits secs, aérés et loin des sources d'échauffement. Quant au germe, la meilleure technique de conservation est la stabilisation par séchage du blé avant mouture et séchage du germe après mouture. La farine de germe est obtenue par broyage, tamisage du germe jusqu'à l'obtention d'une granulométrie équivalente à celle de la farine de blé.

Les contrôles qualités de la farine de blé sont constitués d'abord par la standardisation de la qualité de farine obtenue à partir de blé d'origine différente. Pour homogénéiser la qualité des farines, des correcteurs sont utilisés lors de la mouture. Viennent ensuite les analyses physico-chimiques donnant des informations sur les compositions internes de la farine. Les analyses des qualités plastiques et qualité fermentative renseignent sur les caractéristiques technologiques des farines composites lors de leur utilisation ultérieure. Ce dernier point annonce la troisième partie de cet ouvrage.

Chapitre III. PANIFICATION AVEC GERME DE BLE

1. Matières premières

Avant d'entamer cette partie, il s'avère utile de décrire ce qu'est le pain. Il se définit comme un produit de boulangerie obtenu par la cuisson de pâte pétrie et fermentée à base de farine de céréales susceptibles d'être cuites ; d'eau potable ; de levure ou levain et de sel (maximum 2% de la matière sèche) (12). La panification exige la maîtrise de nombreux paramètres pour pouvoir obtenir un produit répondant aux exigences des consommateurs tant sur le plan sensoriel que nutritionnel. Et les additifs utilisés ne sont pas susceptibles de provoquer des maladies pour les consommateurs (9).

1.1. Farine de germe

Il s'agit d'une farine de germe dont la préparation a été mentionnée dans la partie II de cet ouvrage. Avant utilisation, la farine de germe est conservée dans des récipients fermés afin d'éviter le contact avec l'air, ce qui accélère le phénomène d'oxydation des matières grasses qu'elle contient.

1.2. Farine de blé

Il s'agit de la farine boulangère du type 55 dont les caractéristiques rhéologiques ont déjà été vérifiées et corrigées au laboratoire. Sa composition est enregistrée dans le tableau 10. Idéalement, les farines utilisées devraient être à température ambiante (18°-24°C).

Tableau 10 : Composition de la farine (type 55) (34)

Eléments	Taux (%)
Eau	0,5 à 15,5
Amidon	60,0 à 72,0
Sucres	1,0 à 2,0
Protéines (gluten)	8,0 à 12,0
Lipides	1,2 à 1,4
Matières minérales	0,5 à 0,6
Cellulose	quelques traces

La farine trop froide présente une capacité réduite de gonflement. Ceci entraîne un bon rendement de la pâte mais une qualité moindre des produits ; et inversement pour la farine chaude. En principe, le calcul s'effectue sur la base d'une température de 22°C à 24°C pour les pâtes de blé.

1.3. Eau (26)

L'hydratation de 1kg de matière sèche (farine + levure + sel + améliorant...) nécessite 0,55 à 0,6 l d'eau potable. Cette quantité varie en fonction du taux d'absorption de la farine (lui-même lié au taux d'humidité de la farine). Il est à noter que l'amidon de la farine absorbe 1/3 de son poids en eau alors que le gluten absorbe 3 fois son poids en eau.

L'eau hydrate la farine, rassemble, colle et fait gonfler les grains d'amidon et donne de l'élasticité au gluten. Elle crée l'humidité nécessaire au réveil des enzymes (diastases) contenues dans la levure. Enfin, elle rend la pâte imperméable au gaz résultant de la fermentation.

La température de l'eau de coulage est un paramètre essentiel à prendre en compte lors de la préparation des matières premières. En effet, la pâte doit avoir une température de 25°C pour que la levure agisse de façon optimale. Comme il est difficile de refroidir ou de réchauffer la farine et l'air ambiant, il est préférable d'agir sur la température de l'eau de coulage. La somme des trois températures devrait atteindre 75°C. Toutefois, il faut tenir compte de l'élévation de la température due à l'action du pétrin. La température de base sera plutôt de 68°C.

Lors de la cuisson, l'eau va assurer le transfert thermique dans la pâte. De par l'évaporation successive de l'eau dans la pâte, le front chaud se déplace de la surface vers le centre de la pâte jusqu'à ce que le pain soit cuit.

1.4. Sel (16)

Le sel augmente le goût et la saveur du pain. Il améliore l'élasticité du gluten ce qui donne une meilleure maniabilité de la pâte. Il favorise également la coloration de la croûte. Le sel permet aussi au pain de conserver plus longtemps l'humidité qu'il contient et de rester savoureux pendant plusieurs jours.

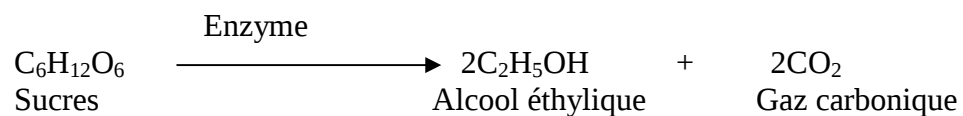
Il est préférable d'utiliser du sel marin riche en oligo-éléments, magnésium et iode. Incorporé une minute avant la fin du pétrissage, la dose recommandée à l'ensemble du mélange est de 1,6%.

1.5. Améliorant

Dans notre cas, l'améliorant utilisé est le 'magimix'. Il améliore les propriétés physico-chimiques de la pâte, procure une meilleure tolérance à la fermentation et assure un plus grand développement du pain (16). En outre, il donne à la mie un léger blanchiment en réduisant certains produits d'oxydation. Comme dose utilisée, il est incorporé à raison de 0,5% du poids total de la masse.

1.6. Levure (13)

Il s'agit des levures du genre *Saccharomyces*. Ce sont des champignons unicellulaires comme le montre la figure 18. Privées d'oxygène, les levures effectuent une fermentation qui dégrade les sucres complexes en sucres simples, selon la réaction de fermentation suivante :



Le dégagement de gaz carbonique permet de faire lever la pâte à pain et aboutit à une production d'alcool. Enfin, utilisée modérément, elle améliore la couleur et le goût du pain.

Comme proportion utilisée, les techniciens ont fixé à raison de 1% de levure en poids total de l'ensemble.

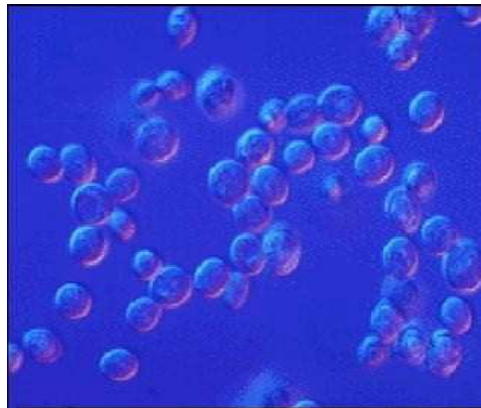


Figure 18 : Colonie de levure de *Saccharomyces cerevisiae* (20)

2. Etapes de la panification (26)

La technologie de fabrication du pain au germe de blé suit le même processus que celui de la panification classique. Avant de procéder à la fabrication, il faut vérifier que tous les matériels nécessaires sont disponibles et qu'ils sont tous en bon état de marche c'est-à-dire qu'ils offrent la sécurité optimale aux utilisateurs pendant le travail. En outre, il faut veiller à ce que ces matériels respectent les normes d'hygiène pour avoir du produit sain et propre.

La figure 19 illustre le diagramme de panification.

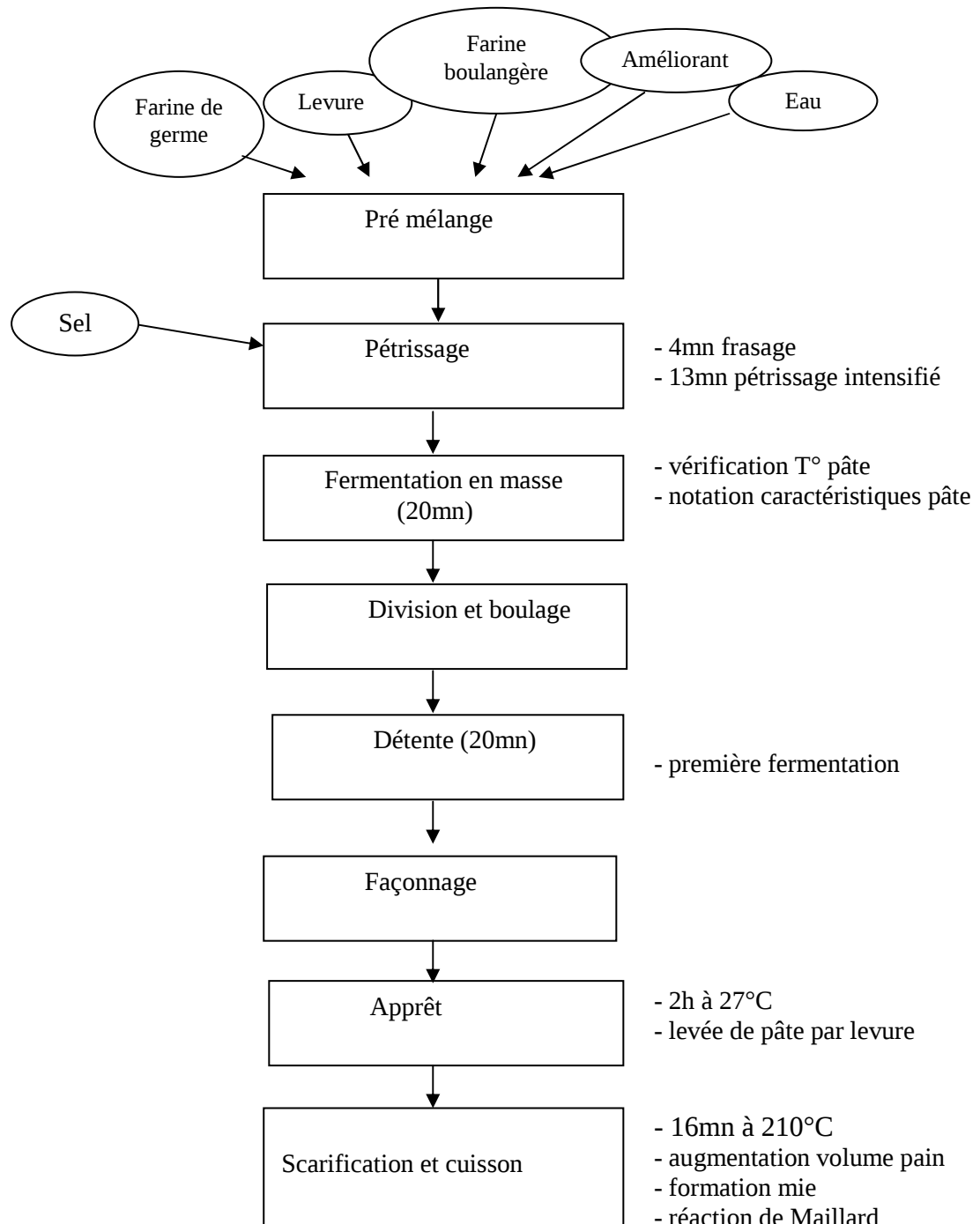


Figure 19 : Diagramme de panification.

2.1. Pré-mélange

Il consiste à effectuer le mélange à sec de toutes les matières premières dans un bac spécial tout en suivant la formule déjà établie. Ainsi, après pesage de toutes les matières premières, l'ensemble est versé dans le pétrin avant l'hydratation. Pour un essai de panification, la quantité respective des matières premières est calculée en fonction de la formule préétablie par le technicien boulanger. Rappelons que, selon les objectifs de notre étude, les essais de panification ont été effectués sur trois séries de panification selon le taux de substitution de germe : 0%, 10%, 20% et 30% de germe. Pour les autres ingrédients, la quantité apportée, en pourcent du poids total des matières premières, est fixée à 1% de levure, 1,6% de sel et 0,5% d'améliorant. Quant à l'eau, la quantité a été déjà mentionnée dans le paragraphe 1.3.

2.2. Pétrissage

Cette opération se déroule en deux phases :

- La phase de frassage : elle dure aux environs de 4mn pendant lesquelles la cuve tourne sur elle-même à vitesse lente (70 tours/mn) dans le sens des aiguilles d'une montre. Cette phase assure le mélange homogène des ingrédients. La farine s'hydrate car l'eau est absorbée par le gluten et l'amidon, ainsi, la pâte se forme de manière grossière. Cette étape permet de régler la consistance de la pâte.
- Le pétrissage intensifié : la rotation de la cuve s'effectue dans le sens contraire et à une vitesse plus grande pendant 13mn (150 tours/mn). C'est pendant cette phase que le sel est ajouté au mélange. Cette phase permet de développer les qualités plastiques de la pâte (élasticité, ténacité).

La figure 20 montre un pétrin préparant une pâte. Cet appareil à spirale automatique possède les caractéristiques suivantes :

- capacité de charge : 50kg
- diamètre cuve : 60 cm
- poids : 180kg
- alimentation : 380Volts, triphasée, 50Hertz.



Figure 20 : Pétrin en marche

(Cliché : Auteur, 2008)

2.3. Fermentation en masse

Elle est fixée à 20mn, c'est la période qui s'écoule entre l'arrêt du pétrin et le début de la division. Elle comprend :

- la vérification de la température de la pâte (aux environs de 20°C),
- la notation des caractéristiques de la pâte (cf. annexe 5).

2.4. Division et boulage

La division consiste à partager la pâte à l'aide d'un coupe-pâte et peser à 1g près des pâtons selon le poids désiré (250g). Le boulage s'agit à pétrir à la main de façon à entasser les pâtons divisés.

Comme pâte témoin, 25g de pâte pesée à 1g près est prélevée, pétrie et déposée immédiatement dans un mesureur de pousse. Dans le cas de plusieurs essais simultanés, les pâtons de 25g sont préparés après boulage de tous les pâtons. La figure 21 illustre l'opération de division et boulage des pâtons.



Figure 21 : Pesage et boulage des pâtons

(Cliché : Auteur, 2008)

2.5. Détente

La détente vise à laisser la température du fournil d'essai pendant 20 mn (temps moyen) pendant lesquelles les pâtons boulés sont recouverts d'un système de protection pour éviter le dessèchement (par ex sachet plastique). Cette étape constitue la première phase de fermentation à l'air ambiant des pâtons avant leur mise en chambre de pousse. Après le temps de détente, les caractéristiques de la pâte sont notées par examen visuel.

La fermentation en masse, la division, le boulage et la détente constituent ce qu'on appelle le pointage. Le pointage permet au gluten de lier encore de l'eau, ce qui va permettre d'avoir une pâte plus sèche et plus facile à travailler. Plus la durée du pointage est longue, plus la saveur et l'odeur du pain sont améliorées

2.6. Façonnage

Pour un seul temps d'apprêt, au minimum 4 pâtons sont façonnés et 8 pâtons pour deux temps d'apprêt, sans les déformer au préalable, à l'aide d'une façonneuse mécanique (figure 22). La façonneuse est dotée d'un tapis enroulant et l'entrée de la presse est réglable. Elle transforme la boule de pâton en forme de bâtons

Après le façonnage mécanique de la moitié des pâtons, le pâton dans le mesureur de pousse est aplati de façon à obtenir une surface supérieure plane. Puis le disque indicateur et le couvercle sont placés sur le mesureur de pousse.

L'heure de début de l'apprêt devrait être notée au moment précis. Les pâtons façonnés sont immédiatement déposés sur les plaques métalliques du chariot de chargement. Enfin, il est à préciser que tous les pâtons doivent être façonnés en un temps moyen de 60mn après l'arrêt des pétrins.



Figure 22 : Façonnage du pain

(Cliché : Auteur, 2008)

2.7. Apprêt

C'est la période qui s'écoule entre le milieu du façonnage et la fin de la deuxième fermentation en chambre. Les pâtons façonnés et le mesureur de pousse sont introduits dans la chambre de fermentation préalablement réglée à 27°C. Les pâtons sont laissés y séjourner pendant 2 heures. La phase de l'apprêt contribue à la formation du CO₂ qui est à l'origine de la levée et de l'alvéolage interne de la pâte. Le CO₂ développé par la levure diffuse dans la pâte à partir des cellules de la levure qui se multiplient, respirent l'oxygène de l'air retenu lors du pétrissage en provoquant un gonflement. A la fin de la fermentation, le volume du pâton doit atteindre environ le triple de son volume initial.

La figure 23 montre des pâtons après fermentation.



Figure 23 : Pâtons après fermentation.

(Cliché : Auteur, 2008)

2.8. Scarification et cuisson

L'opération de scarification est entamée en entaillant les pâtons par trois coups de lame avant la cuisson. Parallèlement, les caractéristiques de la pâte sont notées. Régler ensuite la température du four à 210°C, et la minuterie pour une cuisson de 16mn (cf. figure 24).

L'opération de cuisson consiste d'abord à l'accélération de la production de vapeur d'eau interne jusqu'à 60°C (température de destruction de la levure). Dans la seconde étape a lieu la formation de la mie du pain. A 70°C, les protéines se dénaturent. L'accroissement du volume du pain se poursuit jusqu'à 75°C. La vapeur d'eau empêche la formation de la croûte qui se solidifie seulement au-delà d'une température de 100°C, et acquiert sa coloration avec la caramélisation des sucres à 100°C. Au cours de cette période se déclenche à la surface du pain la réaction de Maillard (22) : Protéine + Sucre $\longrightarrow$ Coloration brune à haute température.



Figure 24 : Mise au four

(Cliché : Auteur, 2008)

3. Conclusion partielle

Les matières premières aux essais de panification utilisent de la farine boulangère du type 55 et de la farine de germe ayant la même granulométrie. L'eau donne l'élasticité au gluten. La pâte doit avoir une température de 25°C pour que la levure agisse de façon optimale.. Le sel est employé à 1,6%, il améliore l'élasticité du gluten, augmente le goût et la saveur du pain. L'améliorant utilisé est le 'magimix', à dose de 0,5%, il améliore les propriétés physico-chimiques de la pâte. Les levures s'utilisent à 1%, ils trouvent leur action dans la fermentation. Les processus de fabrication sont identiques à ceux de la panification classique. Le pétrissage consiste à préparer la pâte en hydratant toutes les matières premières dans le pétrin. La fermentation en masse constitue la première phase de levée de la pâte. Viennent ensuite la division et le boulage qui s'effectuent manuellement. Après une détente de 20mn, les pâtons sont façonnés et mis dans la chambre de pousse pendant 2 h à 27°C. Le mesureur de pousse déposé dans la chambre de fermentation permet la mesure du volume de pousse des pâtons. Après l'apprêt, les pâtons sont scarifiés et mis dans le four réglé à 210°C. Après 16 minutes de cuisson, les pains sont retirés du four et laissés reposer pour le ressuyage avant de procéder aux analyses. Ce qui nous amène à la quatrième partie de cet ouvrage.

Chapitre IV. RESULTATS, INTERPRETATIONS ET RECOMMANDATIONS

1. Variation des paramètres de panification

1.1. Influence du type d'hydratation

1.1.1. Sur le volume des pâtons

Des essais ont été conduits pour comparer l'intérêt d'une hydratation préalable avec celui d'une hydratation commune. La première est une hydratation séparée du germe de blé avant l'addition de la farine de blé, tandis que la seconde est une méthode consistant à mélanger dès le départ les deux types de farine. L'expérimentation a été effectuée à un taux de substitution de 20% de la farine de blé par du germe. Ce taux a été pris car il a été jugé assez suffisant pour pouvoir mettre en évidence les effets de la substitution. La figure 25 illustre les profils de rétention de gaz des pâtes lors de la fermentation.

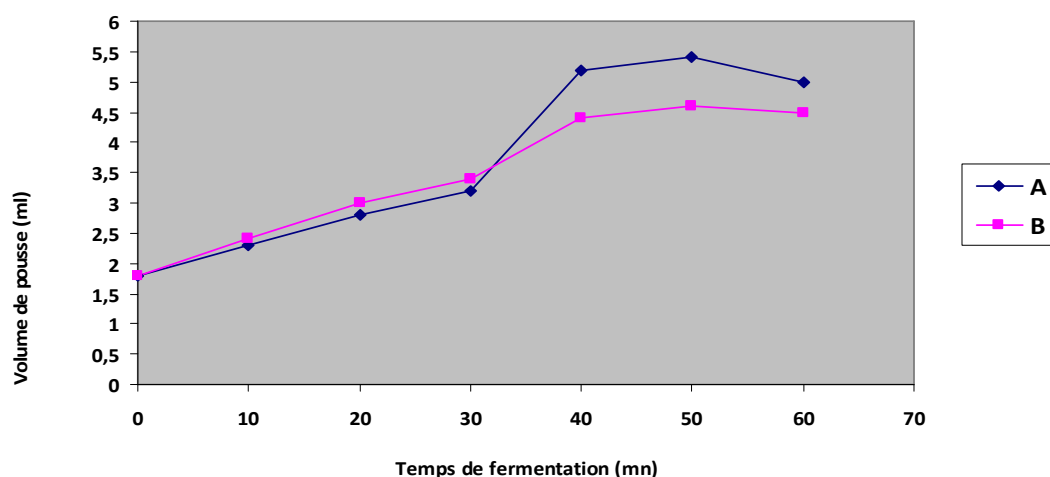


Figure 25 : Profils de rétention de gaz des pâtes réalisées par hydratation séparée (A) et par hydratation commune (B)

Les courbes de la figure 25 montrent que les pâtes obtenues avec l'hydratation séparée gonflent mieux que les pâtes obtenues par hydratation commune lors de la fermentation. Pendant les trente minutes de fermentation, la pâte (B) gonfle mieux que la pâte (A), et les deux courbes ainsi obtenues présentent les mêmes allures. Et il est à remarquer également que la différence de volume de pousse des deux types de pâtes est moindre pendant 30mn de fermentation. Après 30mn, le volume de pousse augmente considérablement pour la pâte (A) avec une courbe qui

montre une croissance remarquable. Vers 50mn de fermentation, il atteint un pic de 5,5ml tandis que la pâte (B) atteint seulement un volume maximum de 4,5ml.

En effet, lorsque le mélange des farines est réalisé avant l'hydratation, la pâte obtenue a une texture courte, elle se déchire facilement, elle est d'une faible extensibilité. Lors de la fermentation, la pâte gonfle moins bien et le volume maximum de pousse est plus faible. De plus, elle s'affaisse pendant la cuisson.

Par contre, pour une hydratation séparée qui s'effectue par la préparation d'une pâte de germe avant l'ajout de la farine, la pâte obtenue est plus extensible. Elle gonfle mieux lors de la fermentation et elle résiste à la poussée du gaz de la fermentation (CO_2) au cours de la cuisson. Le pain obtenu (A) par ce type d'hydratation est donc plus volumineux (figure25).



Figure 26 : Pains obtenus par hydratation séparée (A) et par hydratation commune (B)

(Cliché : Auteur, 2008)

1.1.2. Sur les aspects extérieurs des pains

Le type d'hydratation conditionne les aspects extérieurs des pains. Ainsi des pains de même composition se présentent différemment. Le tableau 11 montre les résultats des tests d'appréciation des pains obtenus selon les deux types d'hydratation.

Tableau 11 : Influence du type d'hydratation sur la qualité des pains à 20% germe de blé

Critère d'appréciation	Type d'hydratation	
	Hydratation séparée	Hydratation commune
Densité (g/cm ³)	0,36	0,40
Mie	16	14
Aspects extérieurs	9	5

La densité désigne le rapport entre le poids du pain après ressuyage et son volume. Une densité forte signifie un volume faible du pain. La densité du pain s'améliore d'une hydratation commune à une hydratation préalable des farines. En outre, la différence de volume est perceptible comme le montre la figure 27. La structure de la mie et l'aspect extérieur du pain dont le bombage et le lissage se trouvent aussi améliorés. Ainsi, le type de pain (A) montre une mie à structure régulière.

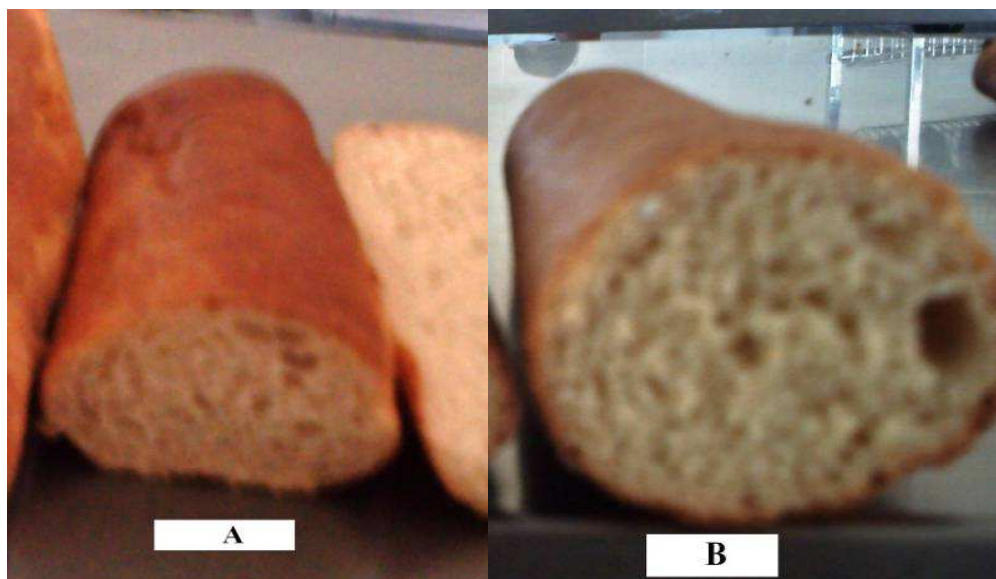


Figure 27 : Aspect de la mie des pains par hydratation séparée (A) et par hydratation commune (B)

Cliché : Auteur, 2008.

Le procédé par hydratation commune du mélange des farines conduit à une dilution du gluten dans le milieu farineux. Les protéines du gluten se trouvent alors dispersées et ont moins de chance de s'associer et de former un réseau viscoélastique capable de retenir le gaz de fermentation, ce qui donne un pain moins développé (27). En revanche, bien que la quantité

totale du gluten lors des deux types de mélange soit la même, une hydratation préalable de la farine du germe de blé avant ajout de celle du blé améliore le réseau protéique, car la dispersion du gluten est moindre.

Des résultats identiques ont été rapportés par TORRES en 1990 (27) sur des mélanges de farines de blé et de maïs où la densité est améliorée d'au moins 40% d'une hydratation commune à une hydratation séparée. Ces premières observations ont conduit à poursuivre les essais de panification selon la méthode d'hydratation séparée.

1.2. Influence du taux de substitution

1.2.1. Sur les propriétés rhéologiques du mélange germe/farine

Les expérimentations effectuées ont été limitées jusqu'à un taux de substitution de 30%. La cause en est qu'au-delà de 20% de germe, le pain présente déjà un volume faible et à 30% le pain produit en est extrêmement plat. Incontestablement, l'activité amylasique de la farine de blé déterminée par l'indice de chute de Hagberg n'est pas suffisamment élevée pour redresser le niveau enzymatique du mélange de farines à constituer.

Le tableau 12 enregistre les qualités plastiques des mélanges des deux farines.

Tableau 12 : Caractéristiques rhéologiques des mélanges farine de blé/germe de blé

		Taux d'incorporation (%)			
Mesures farinographiques	Caractéristiques rhéologiques	0	10	20	30
	A (%)	59	58	57	54
	B (mn)	2	2	2	2
	CD (mn)	17,5	14	7	17,5
Mesures alvéographiques	P (mm d'eau)	105	110	135	150
	L (mm)	95	70	50	30
	P/L	1,1	1,6	2,7	5
	W (10 ⁻⁴ J)	340	260	210	160

A = absorption d'eau ; **B** = temps de développement de la pâte ; **CD** = stabilité ou tolérance au pétrissage ; **P** = ténacité de la pâte ; **L** = extensibilité de la pâte ; **W** = travail de déformation de la pâte. Le coefficient de variation est inférieur à 1 %.

Le temps de développement de la pâte augmente avec le taux de substitution, ce qui signifie une augmentation du temps de pétrissage. L'absorption d'eau et la stabilité au pétrissage des pâtes diminuent lorsque le taux d'incorporation du germe de blé augmente jusqu'à 20%. L'augmentation de la stabilité au pétrissage à 30% de substitution est due au fait qu'à partir de ce taux, le mélange ne forme pas une véritable pâte homogène. La pâte obtenue est très dure car elle est mal hydratée.

L'effet de mélange de la farine de blé avec le germe de blé induit aussi des modifications des caractéristiques alvéographiques. Lorsque le taux d'incorporation augmente, la ténacité de la pâte (**P**) augmente aussi. C'est la conséquence de la mauvaise hydratation de la pâte. Par contre, le travail de déformation (**W**) et l'extensibilité (**L**) de la pâte diminuent, ce qui traduit des mauvaises propriétés de levage de la pâte. Quant au rapport **P/L** traduisant l'équilibre de l'alvéogramme, il augmente avec l'incorporation de germe de blé ce qui implique des pâtes peu extensibles.

1.2.2. Sur le volume des pâtons

Comme le taux d'hydratation diminue avec l'élévation du taux d'incorporation du germe de blé dans le mélange, il a été fixé de manière à obtenir une pâte assez molle, mais qui reste façonnable manuellement.

Les résultats obtenus montrent que les pâtes incorporées de 10% de farine de germe de blé lèvent bien lors de la fermentation. Elles ne diffèrent pas beaucoup à celles obtenues avec 100 % farine blé (figure 28). Par contre à partir de 20 % d'incorporation, le volume de pousse lors de la fermentation diminue, ce qui conduit à des pains présentant un volume faible. Ces derniers sont fort différents du pain de référence (100 % blé) (figure 29).

Plus la capacité de rétention d'air dans la pâte est élevée, plus important est le volume du pain. La capacité de rétention de CO₂ est liée à la quantité d'air incorporée lors du pétrissage. En effet, c'est à partir de la poche d'air que le CO₂ produit par la levure va diffuser et faire lever la pâte. Il faut aussi noter que la levure est incapable de produire de nouvelles alvéoles d'air (2).

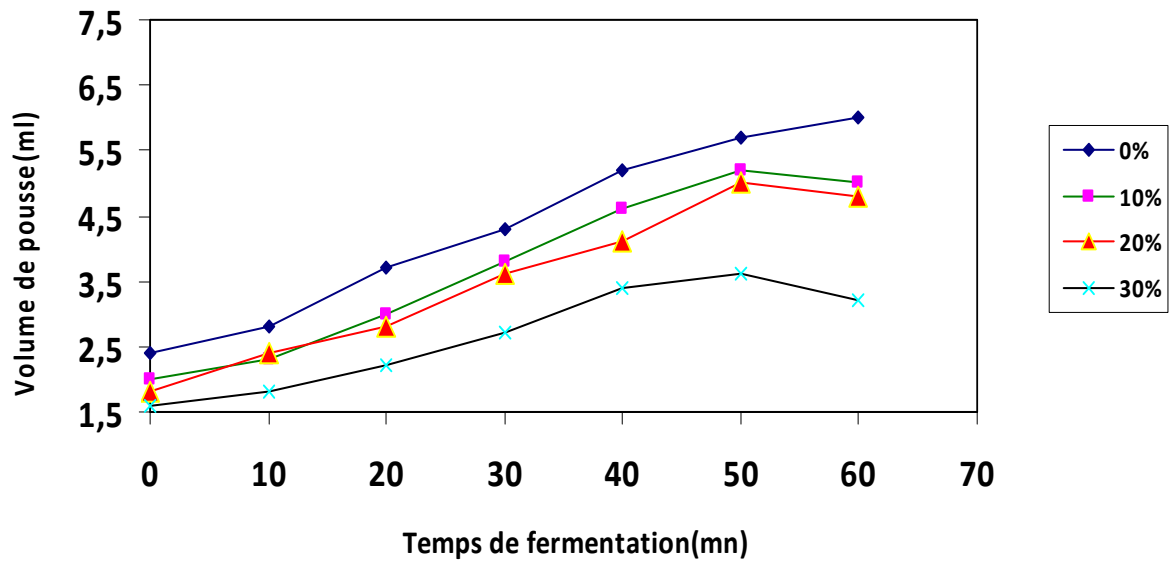


Figure 28 : Influence du taux d'incorporation du germe de blé sur les profils de rétention de gaz des pâtes

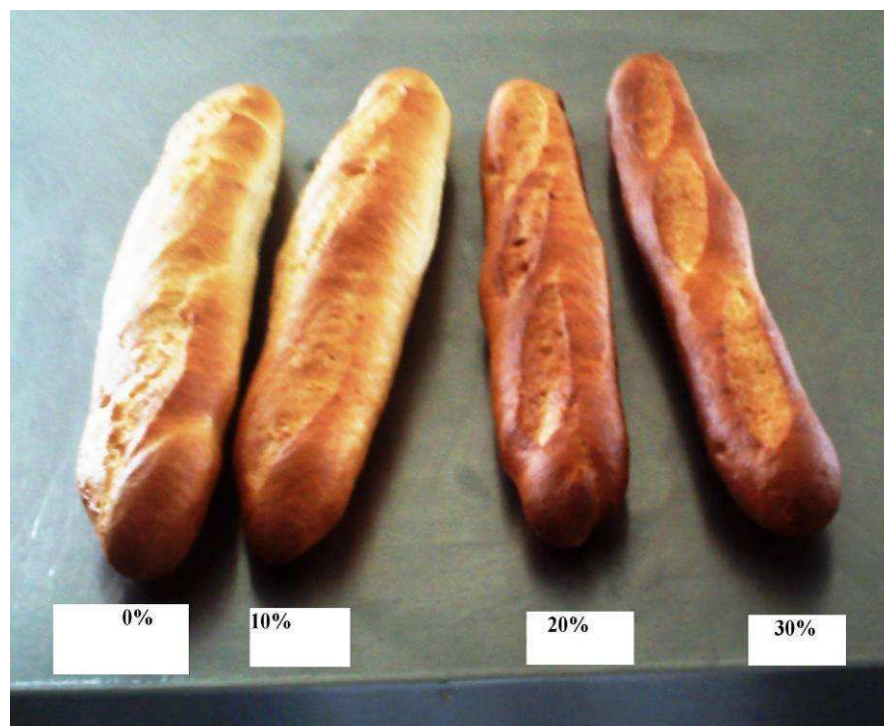


Figure 29 : Comparaison des pains à différents pourcentages de germe de blé

(Cliché : Auteur, 2008)

1.2.3. Sur la mie

Selon la figure 29, la structure de la mie des pains à 10% de germe semble régulière et aérée ; la cohésion de leurs alvéoles est suffisante. Les aspects de la mie se dégradent avec l'incorporation du germe. A partir de 20% de substitution, la structure de la mie est devenue serrée et compacte

et les alvéoles sont plus ou moins homogènes. Les pains (30/70) présentent une mie compacte et humide. En outre, la cohésion est jugée insuffisante et cela se traduit par une insuffisance de régularité de l'alvéolage à cause d'une alternance de grosses et petites alvéoles. Pour les pains à forte proportion de germe, l'élasticité est jugée insuffisante car leur mie exécute un retour lent après pressions des doigts.

La couleur de la mie des pains sans germe est jugée « insuffisante », elle est blanche. La couleur est influencée par la présence de germe ce qui donne aux pains une couleur jaunâtre. Ainsi, à partir de 20% d'incorporation, la mie prend une couleur jaune, jugée en excès pour le type de pain à 30% de germe.

La figure 30 illustre la comparaison des mies des trois types de pain au germe de blé.

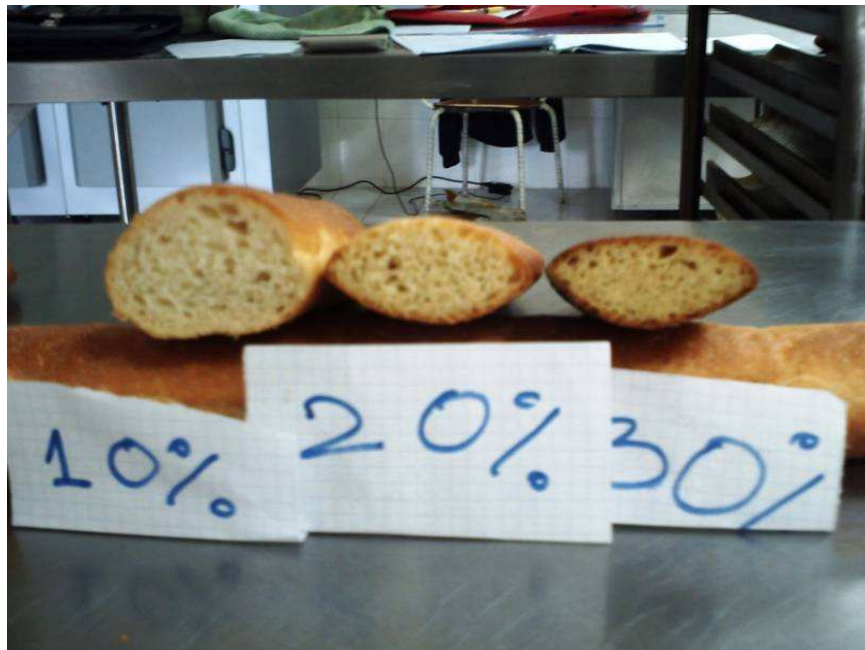


Figure 30 : Structure de la mie des pains à différents pourcentages de germe de blé

(Cliché : Auteur, 2008)

Les alvéoles sont également grandes à cause de l'expulsion des gaz (figure 31). Lorsque le taux d'incorporation de germe de blé augmente, la résistance des pâtes à la poussée des gaz à l'intérieur diminue de plus en plus.

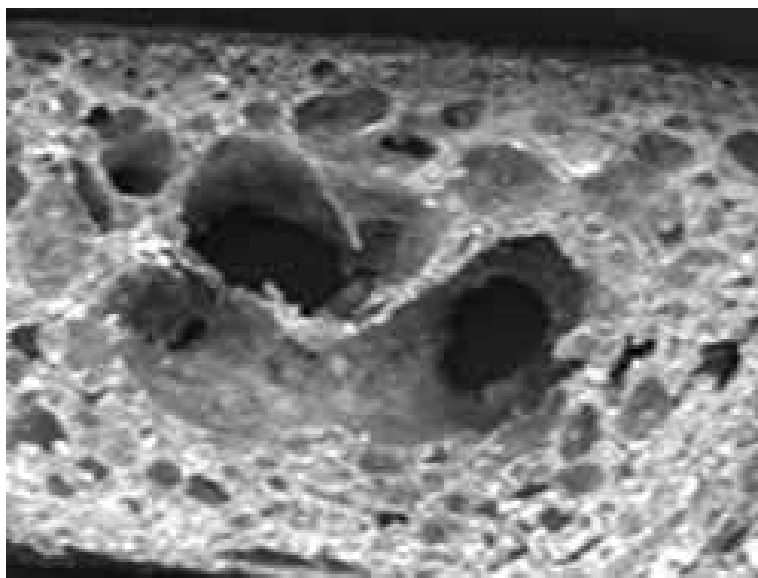


Figure 31 : Trous de fermentation résultant du dégagement de CO₂ dans la mie des pains (30/70)

(Cliché : Auteur, 2008)

Le tableau 13 récapitule la qualité de la mie des différents pains selon les critères d'appréciation retenus.

Tableau 13 : Comparaison de la mie des différents pains

Critères d'appréciation de la mie	Composition germe/farine de blé			
	0/100	10/90	20/80	30/70
Structure (/10)	9	8	7	5
Cohésion (/7)	7	6	5	4
Elasticité (/8)	8	6	4	3
Couleur (/5)	1	3	4	5
Total (/30)	25	23	20	17

Les pains sans germe de blé présentent les notes les plus élevées et les pains à 30% de germe obtiennent les notes les plus basses. Le germe de blé a donc une influence remarquable sur la qualité de la mie des pains. En effet, la modification est notamment remarquable d'abord au niveau de la structure de la mie, ensuite son élasticité et enfin au niveau de sa couleur. Plus le

taux de germe augmente, plus la mie des pains devient aérée à cause des alvéoles de tailles différentes. En plus, elle perd de plus en plus son élasticité car le germe endommage le réseau glutineux au niveau de l'ensemble de la mie.

1.2.4. Sur le goût

Le critère goût est évalué par des tests sensoriels effectués par les 30 candidats sur 3 types de pains qui sont différents par leur pourcentage de germe incorporé.

a- Test triangulaire

29 sujets sur 30, soit un pourcentage de 96,66%, ont réussi à distinguer les deux types de produits proposés. Nous pouvons donc en déduire que la différence entre le pain au germe de blé et le pain 100% farine blanche est bien perceptible.

83,33% des sujets ont noté que les différences entre les deux types de produits se trouvent au niveau du goût et de la flaveur. A cet effet, selon les observations faites par les consommateurs, ils ont constaté un goût rappelant celui du cake, et pour la flaveur un arôme biscuité a été perçu

b- Test de préférence

Le test de préférence vise à évaluer l'appréciation des sujets des goûts respectifs des 4 types de pain proposés. Il s'agit des pains P0 (0% germe de blé), P1 (10% germe de blé), P2 (20% germe de blé, et P3 (30% germe de blé). La figure 32 montre les résultats de ces analyses hédoniques.

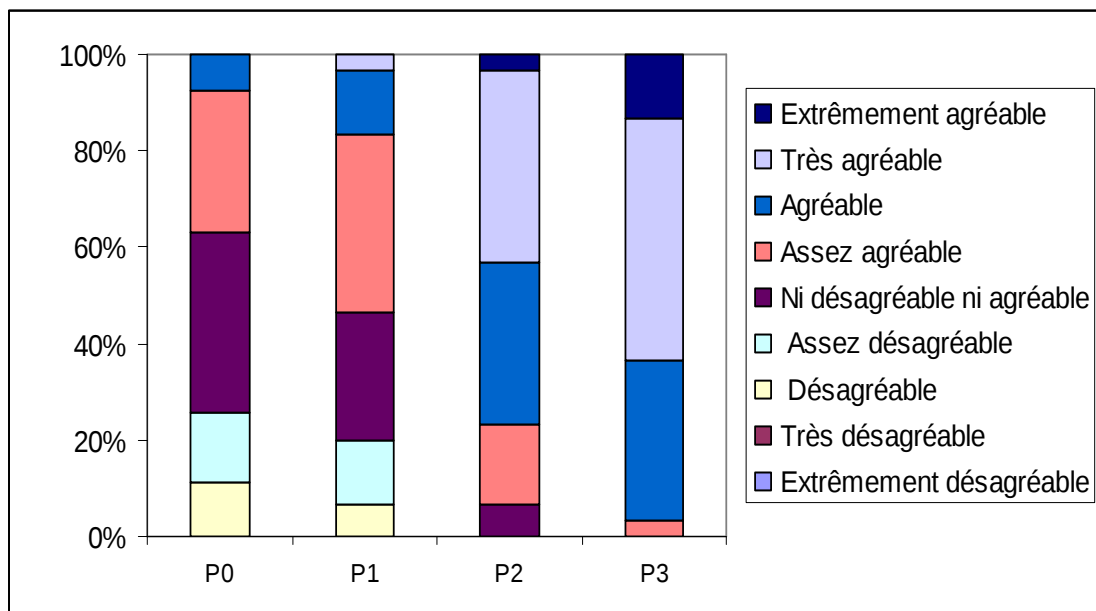


Figure 32 : Analyses hédoniques des 4 types de pain.

Pour le type de pain (P0), la majorité des sujets l'ont jugé ni agréable ni désagréable avec 33,33% de voix. Seulement 6% des candidats l'ont trouvé Agréable et la mention Très agréable n'a obtenu aucune note.

Les avis sont partagés pour le type de pain (P1) car 42% des sujets ont pensé qu'il est « ni désagréable ni agréable » et 36% des sujets l'ont trouvé Agréable. Seuls 3% ont noté qu'il est Très agréable ; ceci explique qu'à 10% d'incorporation, l'effet du germe de blé n'est pas encore très remarquable.

A 20% d'incorporation, l'action du germe au niveau du goût est perceptible. Ainsi, le type de pain (P2) est plus apprécié que (P1) car 40% des sujets ont trouvé P2 Très agréable. En plus, seuls 6% des candidats l'ont constaté ni désagréable ni agréable. Et 3% ont constaté que ce type de pain est Extrêmement agréable.

Le pain (P3) a été le plus apprécié lors de ce test. Ce type de pain a obtenu le pourcentage d'acceptabilité le plus élevé car 50% des sujets ont l'apprécié par la mention Très agréable et 33% la mention Agréable. Pour ce type de pain, seuls 3% des sujets l'ont cru Assez agréable et aucun jugement des consommateurs ne sont plus faits en dessous de la note Assez agréable.

c- Test de classement

Les résultats du test de classement ont permis de conclure que le pain à 30% d'incorporation de germe (P3) est le plus préféré par les candidats. 50% des sujets l'ont mis en première place ; ensuite le pain à 20% d'incorporation de germe (P2) avec 38%. Ensuite, le type de pain à 10% de germe tient la troisième place avec 12% de choix. Et le pain 100% farine de blé (P0) a été le moins préféré lors de ce test. La figure 33 illustre les pourcentages des sujets ayant classé chaque type de produit en fonction de leur appréciation.

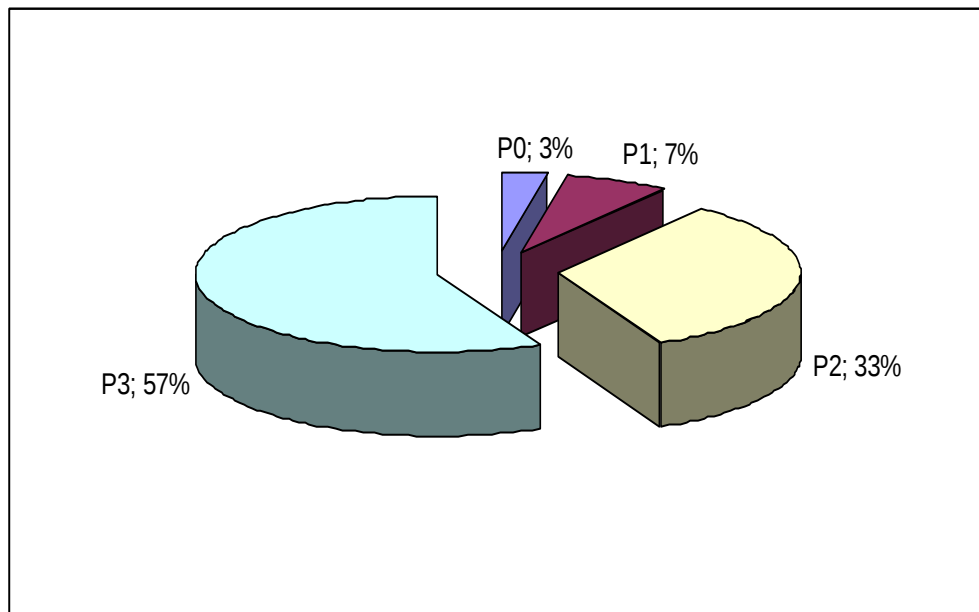


Figure 33 : Taux de classement des 3 types pain.

La moyenne pondérée de chaque type de pain, affichée dans le tableau 14 a permis de déduire le classement général des 4 échantillons. La moyenne pondérée du rang de P3 est égale à 1,5, valeur qui est la plus proche du premier rang. Le classement est comme suit : P3- P2- P1- P0. Ainsi, par ordre de préférence générale, P3 est toujours le type de pain le plus apprécié et P0 le moins.

Tableau 14 : Moyenne pondérée de chaque échantillon

Échantillons	P0	P1	P2	P3
Moyenne pondérée	2,8	2,5	1,83	1,5

En résumé, jusqu'à 10% d'incorporation, le germe de blé ne fait pas encore sentir sur le plan sensoriel. Par conséquent, il n'y a pas encore de changement notable au niveau du goût des pains produits avec ce taux d'incorporation. Par ailleurs, les analyses sensorielles montrent que le goût s'améliore avec l'incorporation du germe de blé. Ce fait est senti manifestement pour les pains à 30% de germe de blé.

1.2.5. Sur les aspects extérieurs

Les aspects extérieurs sont très influencés par l'utilisation du germe dans la formulation du pain produit pour cette étude. En effet, ce sont la couleur, l'épaisseur de la croûte et le volume qui ont subi des modifications notables après incorporation du germe.

Le tableau 15 enregistre les qualités des pains et les points y correspondants selon le taux de substitution de germe de blé dans les matières premières.

Tableau 15 : Notes obtenues par les aspects extérieurs.

Critères d'appréciation	Types de pain			
	0/100	10/90	20/80	30/70
Couleur de la croûte (/5)	1	3	5	5
Epaisseur de la croûte (/5)	5	5	4	3
Volume (/30)	18	15,3	13	12,6
Total (/40)	24	23,3	22	20,6

D'après le tableau 15, la couleur de la croûte des pains est modifiée par l'incorporation du germe de blé. A 10% de germe, la couleur est notée insuffisante avec des teintes pâles. A partir de 20% de germe, la couleur de la croûte des pains commence à changer de couleur et à 30% de germe, la couleur de la croûte des pains est jugée « en excès » avec des teintes rouges comme le montre la figure 34.

A 10% de germe, la croûte est tendre, lisse, et son épaisseur est jugée « normale » avec une épaisseur d'environ 1mm. Tandis que les croûtes sont moins épaisses, molles, et ne sont pas lisses à cause des petits trous sur toutes les parois pour les pains à 20 et 30% germe de blé

A moindre taux, l'incorporation du germe n'a pas d'effet remarquable sur le volume des pains. C'est pourquoi à 10% d'incorporation, les pains obtenus sont encore bien gonflés. Lorsque le taux de germe dans les matières premières augmente, le réseau glutineux devient moins élastique et vulnérable à la poussée des gaz à l'intérieur des alvéoles. Ce qui donne des pains peu volumineux (cf. tableau 15). Ainsi, à 30% de germe, les pains obtenus sont extrêmement plats. Du fait de leur volume faible, la chaleur du four envahit très vite l'intérieur des pâtons et les croûtes sont trop cuites voire quasi brûlées (figure 34).



Figure 34 : Aspects extérieurs des pains à différents pourcentages de germe

Cliché : Auteur, 2008.

Dans l'ensemble, pour les pains témoins la somme des points regroupés est la plus élevée. Ce sont surtout les aspects extérieurs qui ont influencé ces points. Cependant, leur qualité organoleptique sont légèrement dépréciées par rapport à celles des autres types pains.

Les pains à 30% de germe de blé correspondent aux notes les plus basses. C'est au niveau du volume et les qualités extérieures des pains que les défauts sont détectés. Pour corriger ces défauts et améliorer la qualité des pains à forts taux de substitution, l'ajout d'émulsifiants a été envisagé dans la formulation, et les résultats en sont rapportés dans les paragraphes suivants.

1.3. Influence d'émulsifiants sur la qualité des pains composés

L'influence des deux émulsifiants DATEM (esters diacétyl-tartarique de mono et de diglycérides d'acides gras) et SSL (stéaroyl-2-lactilate de sodium) sur la qualité des pains à base de germe de blé a été étudiée. Le DATEM et le SSL sont les émulsifiants les plus couramment utilisés en boulangerie. Ils agissent en tant qu'agent renforceur de la structure de la pâte et aussi du moelleux de la mie (25). Ces émulsifiants exercent leur effet durant tout le processus de la panification. Ils ont été utilisés à raison de 0,5% du poids de la farine composite (25).

1.3.1. Sur les aspects extérieurs

Le volume des pains en présence des deux émulsifiants ne varie presque pas. Ainsi, les pains avec émulsifiants apparaissent nettement de même volume que le pain témoin (cf. figure 35). Les émulsifiants utilisés ne sont pas alors efficaces sur la levée de la pâte lors de la fermentation. Ceci peut s'expliquer par la dose utilisée qui peut être jugée insuffisante. La figure 35 illustre les aspects des pains avec ou sans émulsifiants.

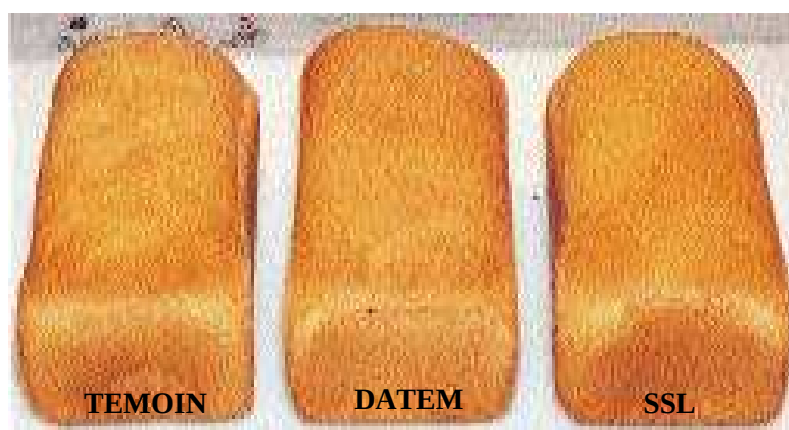


Figure 35 : Influence des émulsifiants sur les pains (20/80)

(Cliché : Auteur, 2008)

Le tableau 16 résume l'appréciation des aspects extérieurs des pains avec ou sans utilisation d'émulsifiants.

Tableau 16 : Influence des 2 types d'émulsifiants sur les aspects extérieurs du pain (20/80)

Aspects extérieurs	Témoin	DATEM	SSL
Volume (/30)	13	13	13
Couleur de la croûte (/5)	4	5	5
Epaisseur de la croûte (/5)	5	3	3
Total (/40)	22	21	21

A part le volume, il est à remarquer que la couleur de la croûte n'est pas aussi affectée par l'utilisation des émulsifiants. Toutefois, l'ajout des émulsifiants a entraîné une modification positive au niveau de la croûte. En outre, selon la figure 34, les aspects des pains sont lisses et régulier, comparables à ceux des pains à 10% d'incorporation. L'aspect bénéfique de ces améliorants est supposé dû à une réduction de la tension interfaciale au sein de la pâte.

Ce qui a pour effet une incorporation plus importante et une réduction de la taille des alvéoles d'air lors du pétrissage (10).

1.3.2. Sur la qualité de la mie

Il apparaît que pour cette dose de 0,5 %, des modifications positives au niveau de la structure de la mie des pains ont été observées. En effet, un déchirement moindre de la mie lors de l'expansion au four, particulièrement avec le DATEM, est noté. Au toucher, la mie contenant cet émulsifiant est moins collante et moins humide. Le tableau 17 résume les qualités de la mie des pains obtenus avec et sans émulsifiants.

Tableau 17 : Influence des émulsifiants sur la mie.

Critères d'appréciation	Témoin	DATEM	SSL
Structure (/10)	7	8	8
Cohésion (/7)	5	6	5
Elasticité (/8)	4	6	6
Couleur (/5)	4	4	4
Total (/30)	20	24	23

D'après le tableau 17, la structure de la mie est améliorée grâce à l'action des émulsifiants. Elle devient moins serrée avec le DATEM ainsi qu'avec le SSL. En outre, l'action des émulsifiants a des impacts sur les alvéoles. Les émulsifiants, notamment le DATEM, ont en effet contribué à uniformiser la taille des alvéoles. Les résultats obtenus avec les deux types d'émulsifiants sont identiques au niveau de l'élasticité qui donne aussi des résultats positifs. Quant à la couleur, aucun changement n'a été remarqué après utilisation d'émulsifiants.

2. Rassisement et valeur nutritionnelle

2.1. Profil du vieillissement des pains sans émulsifiant

Pour cette expérimentation, aucun émulsifiant n'a été utilisé. C'est le profil de vieillissement des quatre types de pain différents par le taux de substitution qui a été étudié.

Le rassisement est l'une des propriétés texturales les plus importantes liées à la qualité des pains. Le rassisement est un terme qui traduit la décroissance d'acceptabilité d'un produit de cuisson, en raison de modifications de la mie autres que celles résultant d'une action de micro-organismes (9). Le profil de rassisement est déterminé par la mesure de la dureté de la tranche des pains (exprimée en Newton) en fonction du temps écoulé après fabrication des pains (exprimé en jour). La figure 36 représente les différents profils de fermeté obtenus en fonction du taux de substitution de germe de blé.

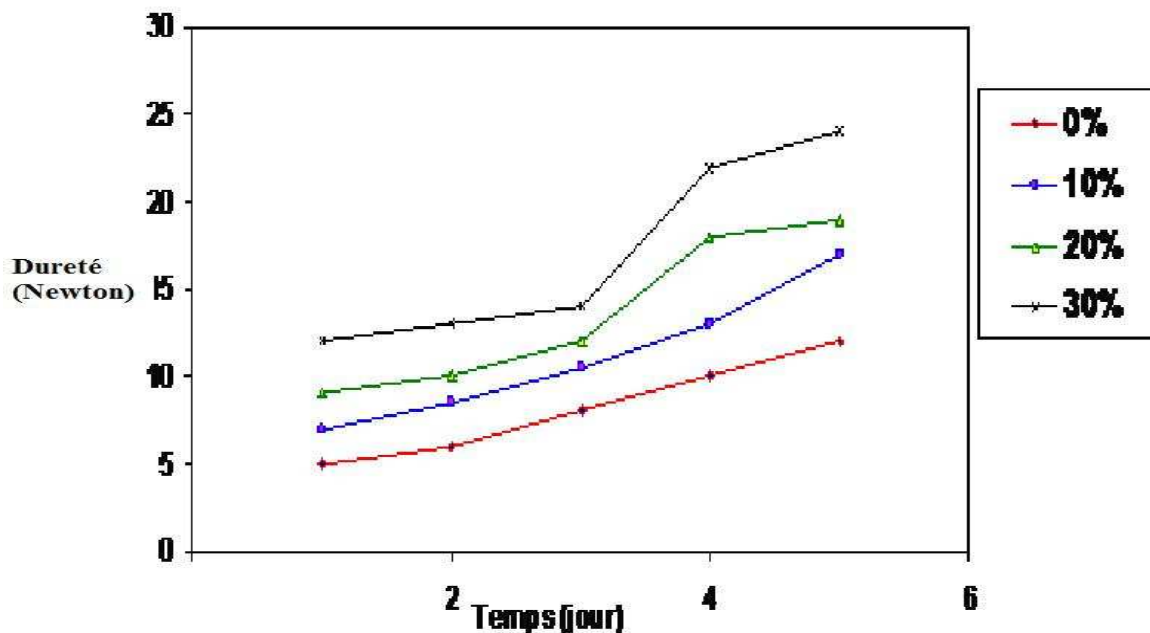


Figure 36 : Profils de vieillissement des pains composites en fonction du taux d'incorporation de germe de blé.

La figure 36 indique qu'au fil des jours, la fermeté de chaque pain augmente, car les tranches de pain durcissent. Dès le premier jour, les pains incorporant plus de 10% de germe de blé présentent un niveau de durcissement plus important que celui du pain 100% farine ; tandis que ceux à 10% ont presque le même niveau de fermeté. L'état de rassisement évolue très vite et surtout à partir du 3^{ème} jour pour les forts taux d'incorporation. Les pains incorporant une grande quantité de germe de blé durcissent plus vite.

Les pains à 20% et à 30% de germe ont perdu toute fraîcheur après 4 jours. Au-delà du 3^{ème} jour le test de compression donne des valeurs supérieures à 15Newtons, ce qui représente le seuil d'acceptabilité de la dureté des pains conformes à la consommation (25). Donc, les pains à forte incorporation de germe de blé ne se conservent que 3 jours au maximum. Quant aux pains à 10% de germe de blé, ils restent consommables jusqu'au 4^{ème} jour. A partir du 5^{ème} jour de conservation, on constate un niveau de durcissement supérieur au seuil d'acceptabilité.

2.2. Influence des émulsifiants sur le profil de vieillissement

L'ajout des émulsifiants diminue le taux de rassissement. Ce retardement du vieillissement est observé au niveau des pains (20/80). En effet, les pains à 20% germe de blé conservent sa fraîcheur jusqu'au 4^{ème} jour après ajout d'émulsifiants. L'émulsifiant SSL arrive même à garder les qualités des pains jusqu'à 5 jours (cf. figure 37).

Les émulsifiants favorisent en général la réduction de l'humidité de la mie lors de la conservation des pains. Lors de la cuisson, les émulsifiants interagissent avec les molécules d'amidon et diminuent de ce fait leur gélatinisation. La diminution de la solubilisation de l'amylose durant la panification et de la rétrogradation d'amylopectine durant le vieillissement par les émulsifiants et les lipides, contribue à la fraîcheur de la mie et au retardement du rassissement.

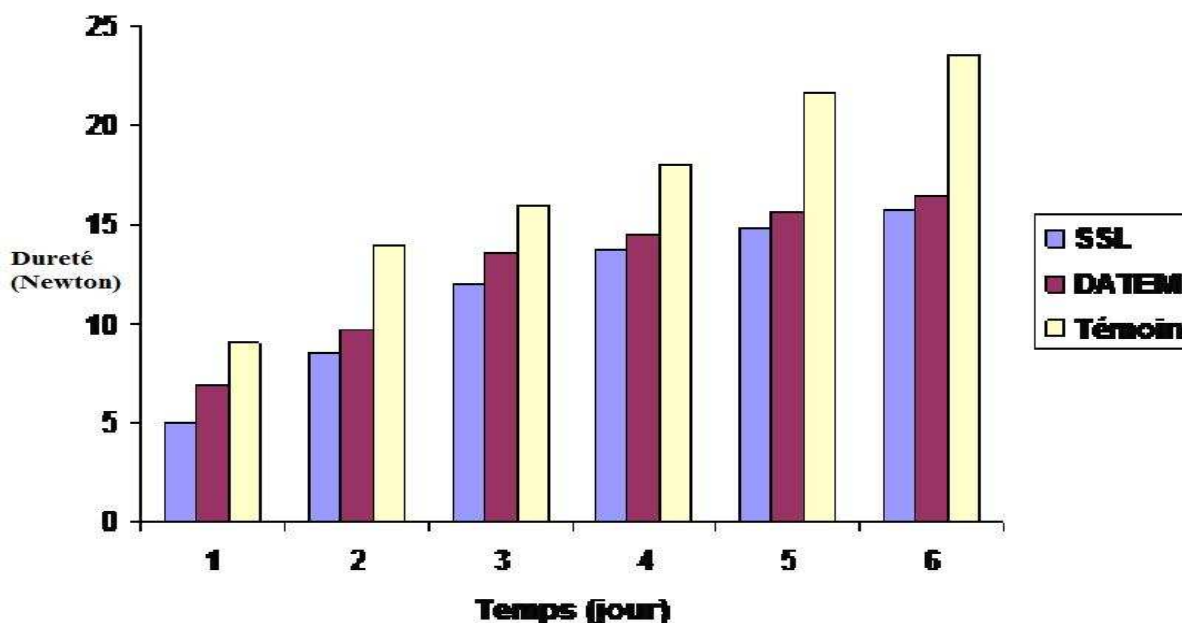


Figure 37 : Influence des émulsifiants sur le vieillissement des pains (20/80)

2.3. Influence du germe de blé sur la valeur nutritionnelle des pains

Après les appréciations des qualités des pains au germe de blé, l'étude s'est achevée par les mesures des valeurs nutritionnelles des pains au germe de blé afin de pouvoir comparer ces derniers au pain 100% farine de blé. Cette comparaison est enregistrée dans le tableau 18.

Tableau 18 : Comparaison des valeurs nutritionnelles des deux types de pain

Eléments	Pain à 100% farine de blé	Pain à 20% germe de blé
Protide (%)	7	30,64
Lipide (%)	1	3,41
Glucide (%)	54	43,71
Phosphore (mg/100g)	100	153
Fer (mg/100g)	3,78	92
Calcium (mg/100mg)	8	10
Valeur énergétique (Kcal/100g)	259	325

L'enrichissement du pain avec le germe de blé permet d'obtenir un pain à haute valeur nutritionnelle. En comparaison avec du pain 100% farine de blé, ce pain est particulièrement riche en protides, phosphore, et fer, avec une valeur énergétique élevée.

Il est à rappeler que la fonction principale des protéines est de participer à la construction des tissus, la synthèse des enzymes et de certaines hormones, ainsi que d'autres substances complexes impliquées dans les processus vitaux. Ensuite, le phosphore joue un rôle important dans le métabolisme énergétique des cellules impliquant les glucides, les lipides et les protéines. Quant au fer, il est nécessaire à la formation des cellules sanguines et au transport de l'oxygène dans les cellules. (20). Du point de vue nutrition, la consommation du pain au germe de blé pourrait donc être suggérée dans la liste des aliments pour la lutte contre la malnutrition.

3. Recommandations

Avant d'émettre les recommandations tirées de cette étude, il est nécessaire de vérifier les hypothèses posées dans la partie introduction. Les résultats ont montré que l'aspect extérieur des pains fabriqués à partir de la pâte composite se dégrade et se conserve mal au fur et à mesure que le taux de substitution augmente. Inversement, les qualités organoleptiques s'améliorent avec l'incorporation du germe de blé. Donc, la première hypothèse qui veut admettre que le germe de blé convient à la panification, est à moitié vérifiée.

Par ailleurs, la deuxième hypothèse supposant que le pain fabriqué avec du germe de blé est riche nutritionnellement, est confirmée. Les échantillons des pains composites analysés ont quasiment gardé les valeurs nutritionnelles du germe du blé. L'utilisation du germe de blé est délicate du fait de ses caractéristiques physiques et ses comportements durant le processus de fabrication. De ce fait, il faut noter que la panification au-delà de 30% de germe de blé est difficilement faisable et les points suivants sont recommandés.

3.1. Sur la préparation du germe de blé

Pour être bien incorporé avec le mélange des matières premières, et surtout pour accroître la capacité de gonflement de la pâte pendant la fermentation, le germe devrait subir un broyage, un tamisage jusqu'à l'obtention de la granulométrie de la farine de blé. Si le germe n'est pas ainsi traité, les CO₂ s'échappent facilement à travers les grains de germe lors de la levée de la pâte. Cette dernière s'affaisse, et on aura du pain de faible volume.

3.2. Sur la conduite du processus de fabrication

Il est aussi recommandé de procéder à l'hydratation séparée des matières premières de base (farine de germe de blé et farine de blé). Cette technique favorise la réussite de la fermentation par obtention de pâtons volumineux grâce à la capacité de rétention de gaz.

En dépit que les pains à fort taux de germe sont plats et qu'ils ont des aspects extérieurs médiocres, ils ont d'excellentes qualités organoleptiques. Pour corriger ces défauts, l'intégration d'émulsifiant dans la formulation est suggérée. Sur ce, les résultats obtenus particulièrement avec le DATEM sont encore meilleurs avec une mie moins collante, moins humide et qui se déchire peu lors de l'expansion au four.

Concernant le redressement du défaut en volume des pains, puisque les émulsifiants DATEM et SSL à 0,5%, n'agissent pas sur le volume, un apport d'améliorant et/ou de gluten supplémentaire s'avère indispensable.

3.3. Sur le profil de rassisement

Les mesures de la texture de la mie des pains confirment que la durée de conservation des pains (20/80 et 30/70) n'excède pas 3 jours par défaut de fraîcheur. Les émulsifiants pourraient retarder le phénomène de rassisement en réduisant l'humidité de la mie lors de la conservation. En effet, ces pains à forte proportion de germe se conservent 4 jours après fabrication et même 5 jours avec le SSL. L'utilisation de l'émulsifiant SSL à 0,5% dans la formulation résout donc le problème de rassisement.

4. Conclusion partielle

Il apparaît que l'hydratation séparée préalable des farines est préférable à l'hydratation commune du mélange des deux farines. Les qualités sensorielles du pain s'améliorent avec l'augmentation du taux d'incorporation du germe de blé. Les pains à forts taux d'incorporation (30 % de germe) sont les plus appréciés d'après les analyses sensorielles.

Toutefois, au-delà du taux de substitution de 20%, les pains présentent certaines imperfections tels volume faible et mauvaise structure de la mie. En plus, ces pains ne se conservent que 3 jours au maximum. L'ajout d'émulsifiants tels le DATEM et le SSL n'a pas permis de corriger les volumes des pains. C'est surtout dans l'amélioration de la qualité de la mie et des aspects extérieurs (aspect lisse, qualité de la croûte) que ces émulsifiants ont trouvé leur effet bénéfique. Les pains au germe de blé conservent leur fraîcheur jusqu'à 4 jours grâce à l'action des émulsifiants ; le SSL retarde même le rassissement complet des pains pendant 5 jours. Les analyses nutritionnelles confirment que le pain au germe de blé est un aliment énergétique. Riche en protéine, lipide, phosphore et fer, sa consommation pourrait aider dans la lutte contre la malnutrition.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de la recherche étant d'utiliser le germe de blé, réputé pour ses richesses en valeurs nutritionnelles, nombreuses analyses ont été menées grâce à l'existence de nombreux matériels sophistiqués au laboratoire de MANA. Les expérimentations sur la substitution ont été focalisées sur trois types de pain respectivement à 10%, à 20% et à 30% germe de blé. Au sujet des autres essais de panification, la pâte à 20% de germe de blé a été choisie.

Les essais sur le type d'hydratation confirment la nécessité d'effectuer une hydratation séparée du germe et de la farine de blé avant le mélange pour obtenir des pâtes ayant une bonne extensibilité. Donc, cette technique contribue au processus de gonflement des pâtons lors de la fermentation. Tandis que les pâtons se déchirent facilement lors de la fermentation et sont moins volumineux si les matières premières de base sont mélangées préalablement. Ce phénomène est dû à la dilution du gluten dans le milieu farineux, empêchant ainsi la formation de réseau viscoélastique. Sur les aspects extérieurs, les pains obtenus par type d'hydratation séparée montrent une belle structure de la mie par rapport à celle obtenue par type d'hydratation commune.

Sur les propriétés rhéologiques, les mesures à l'Alvéographe Chopin du mélange des matières premières affirment que la présence du germe de blé nuise à la capacité d'hydratation du mélange. Et les pâtes sont devenues de plus en plus mal hydratées proportionnellement avec l'augmentation du germe.

Concernant la substitution, les pâtons incorporant 10% de germe lèvent bien pendant la fermentation et ont des volumes comparables à ceux des pains 100% farine blanche. Les pains 20% et 30% de germe sont moins volumineux car les pâtons se sont affaissés après expulsion des gaz carbonique. En outre, de 10% à 20% d'incorporation, la mie des pains montre des alvéoles homogènes et réguliers. La qualité de la mie se détériore avec l'augmentation du taux de germe dans les pains. Ainsi, à 30% de germe les pains ont une mie compacte et leurs alvéoles sont de taille différentes.

Sur le plan organoleptique, les analyses sensorielles confirment que le germe de blé exerce un effet bénéfique sur le goût des pains. En effet, plus le taux de germe de blé incorporé est élevé, plus les profils sensoriels des pains obtenus s'améliorent. A part cela, la présence du germe de blé change aussi la couleur externe des pains, et par conséquent à 30% de substitution, l'action du germe sur la couleur des pains est déterminante par apparition des croûtes de teintes rouges.

L'utilisation des émulsifiants DATEM et SSL à 0,5% s'avère nécessaire pour la correction des défauts de volume et de l'aspect extérieur des pains au germe de blé. Grâce au témoin, les volumes des pains ne sont pas affectés par l'action des deux émulsifiants. C'est au niveau de la structure de la mie, de l'aspect externe et de la croûte des pains que les résultats ont été positifs surtout avec le DATEM.

Les mesures de la texture avec l'analyseur TAXT Micro System a permis d'obtenir des informations sur le profil de vieillissement des pains. Les pains 20/80 et 30/70 rassissent plus vite et ne se conservent pas plus de 3 jours car ils sont devenus très durs. Quant aux pains 10/90, ils gardent leur fraîcheur jusqu'au 4^{ème} jour de conservation, le seuil d'acceptabilité de fraîcheur est atteint après 5 jours de fabrication. Les émulsifiants DATEM et SSL retardent le rassissement des pains au germe de blé. Les pains (20/80) sont encore frais jusqu'à 4 jours et avec le SSL, la durée de conservation est prolongée jusqu'à 5 jours. Ces émulsifiants favorisent la réduction de l'humidité de la mie lors de la conservation des pains.

Enfin, les analyses des compositions chimiques des pains (20/80) révèlent l'existence des éléments indispensables à la croissance et à l'équilibre de la santé de l'homme. Riches en protéines, glucides, lipides, fer, phosphore, et à haute valeur énergétique, le pain au germe de blé est un nouveau type d'aliment pouvant lutter contre la malnutrition et pouvant être adapté à la consommation des malgaches vu ses formes de présentation.

Pour être commercialisable, le pain au germe de blé devrait répondre à certains critères. Le volume devrait être similaire à celui du pain habituel, l'aspect extérieur devrait répondre aux normes. Toutefois, pour obtenir du pain au germe de volume commercial, il faudrait utiliser plus d'améliorant et/ou de gluten dans la formulation. Ce nouvel apport représente plus de coût de revient ce qui rend indispensable une autre étude de faisabilité pour optimiser la production des pains au germe de blé. Pareillement, afin de compléter la présente étude, des tests de panification sont à réaliser avec des taux d'incorporation de germe supérieurs à 30%.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- AFNOR, 1980, Recueil des normes françaises, contrôle de la qualité des produits alimentaires, conservation et stockage des grains, Paris, 173p.
- 2- BAKER J., MIZE M., 1941, The origin of the gas cell in bread dough, Cereal Chemistry, 194p.
- 3- BECHETEL W.G., MEISNER D., 1953, The effect of crust on the staling of bread. Cereal Chemistry, 214p.
- 4- BIPEA, 2000, Avant projet de norme: Essai de panification type pain français, réf 166- 0006, 148p.
- 5- CALVEL R., 1962, Boulangerie moderne, Edition Eyrolles, 187p+annexes.
- 6- CHOPIN, 2001, Manuel d'utilisation de l'Alvéographe NG Consistographe, 120p.
- 7- CIRAD-GRET, 2002, Mémento de l'agronome, 1191p.
- 8- Codex Alimentarius, 1991, Volume 1A, Rév. 1.
- 9- GEOFFROY R., 1950, Le blé, la farine et le pain Edition DUNOD Paris.
- 10- HOSENEY R., 1994, Principles of Cereal Science and Technology. 2nd edition. St Paul, American Association. Cereal Chemistry, 214p.
- 11- HUBERT P, 1987, Recueil de fiches techniques d'Agriculture Spéciale, 216p.
- 12- GARNIER J., LESJEAN P., 1992, Le livre du boulanger, Editions Jacques Lamore, 173p.
- 13- INSTAT, MANA Madagascar, 2007, Production et consommation de farine à Madagascar, , 75p.
- 14- KIGER J.L et KIGER J.C, 1967, Techniques modernes de la Biscuiterie-Pâtisserie-Boulangerie industrielle et artisanale et des produits de régime, Edition Dunod, 351p.
- 15- KNIGHTLY W.H., 1988, Surfactants in baked foods: Current practice and future trends, Cereal Foods World, 263p.
- 16- KROG N., 1981, Theoretical aspects of surfactants in relation to their use in breadmaking, Cereal Chemistry. 284p.
- 17- LANORE L., 1991, Mon métier boulanger, Confédération nationale de la boulangerie et pâtisserie française, 286p.

- 18- LECOQ R., 1987, Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles, 108p.
- 19- LENARTZ J., 2008, Les co-produits du secteur « Meuneries industrielles » Moulins de Statte SA, Gembloux France, 141p.
- 20- MARTIN M., ZELZNAK K.J., 1991, A mechanism of bread firming. I: Role of starch swelling, Cereal chemistry, 373p.
- 21- MICROSOFT CORPORATION, ENCARTA 2008, Encyclopédie.
- 22- MOUHARTEM A.B., 1988, Introduction des procédés et techniques améliorées dans la fabrication du pain à partir des matières premières locales. Mémoire de fin d'étude de diplôme d'ingénieur en agronomie, département IAA ; ESSA AGRO Ankatso, Université d'ANTANANARIVO; 115p.
- 23- RAKOTONDRAMANANA H., 1984, Le blé et la pomme de terre, Production et contraintes, compte rendu de la conférence internationale, 105p.
- 24- RAMBELO F., 1995 , Caractérisation de l'huile de germe de blé sous produit de minoterie en vue d'une valorisation, Mémoire de fin d'étude de diplôme d'ingénieur en agronomie, département IAA ; ESSA AGRO Ankatso, Université d'ANTANANARIVO; 151p + annexes.
- 25- RANDRIAMIHARISON D.A.S, 1984, Contribution à l'étude des problèmes de conservation de blé à Madagascar, Mémoire de fin d'étude de diplôme d'ingénieur en agronomie, département IAA ; ESSA AGRO Ankatso, Université d'ANTANANARIVO; 145p + annexes.
- 26- RANDRIANASOLO S., 1986, Contribution à l'étude des aptitudes meunières et boulangères des blés vulgarisés à Madagascar, Mémoire de fin d'étude de diplôme d'ingénieur en agronomie, département IAA ; ESSA AGRO Ankatso, Université d'ANTANANARIVO; 85p + annexes.
- 27- STAMPLFLI L., 1995, Emulsifiants in bread making; Food Chemistry, 273p.
- 28- STEPHAN R, 2001, Brot pain, 251p.
- 29- TORRES B., 1990, La panification des céréales tropicales: mise au point de recettes de brios à dominance de maïs ou de mil aisément transférables en Afrique noire. Rapport de fin de programme. Paris : Ministère de la coopération et du développement, 64p.

Webographie

- 30- BUREAU INTERPROFESSIONNEL D'ETUDES ANALYTIQUES, 2000, Guides pratiques des tests d'appréciation des qualités des pains type français, <http://www.bipéa.com>
- 31- COMMISSION FRANÇAISE DE LA NUTRITION ET EXPERTS EN DIETETIQUES, 2008, Les vertus incomparables du Germe de Blé, <http://www.nutritionetsante.fr>
- 32- CROQUET M., 2007, Le germe de blé, un ingrédient de plus en plus utilisé, ENSIAA Nancy, <http://www.creapharma.ch/germedeble.htm>
- 33- EUROGERM, 2007, Performance et personnalisation des produits finis, <http://www.eurogerm.fr/index.php?lang=L2&clang=yes>
- 34- FAO, 2007, Les caractéristiques sociales et économiques des pays sous développés : cas de Madagascar, <http://faostat.fao.org>
- 35- GERBLE, 2007, Germe de blé, le trésor nutritionnel de l'homme, <http://www.dietboutique.com/default.asp?fonction=prod&ref=GER99245>
- 36- MOSINIAK M., PRAT R., 2006, Les comportements technologiques du pain, Université Pierre Marie Curie France, <http://www.snv.jussieu.fr>
- 37- VIARD J, OLIVIER F, 2007 ; Le livre d'or du Boulanger, <http://www.boulangerie.net>
- 38- WIKIPEDIA, 2008, Encyclopédie libre, Le blé; <http://fr.wikipedia.org/wiki/Blé>

PARTIES EXPERIMENTALES

1. Dosage de l'humidité (norme ISO 712 basée sur la norme 110 l'Association Internationale de Chimie Céréalière)

APPAREILLAGE

- balance analytique
- capsule en verre avec couvercle
- étuve isotherme réglée à $103 \pm 2^\circ\text{C}$
- dessiccateur avec un déshydratant

MODE OPERATOIRE

- Peser la capsule avec son couvercle, préalablement séchée à l'étuve à 103°C
- Placer la capsule contenant la prise d'essai, couvercle enlevé, dans l'étuve préalablement réglée à 103°C
- Après une heure de séjour, placer la capsule, maintenue fermée, dans le dessiccateur
- Dès que la capsule est refroidie à la température ambiante, la peser
- Remettre la capsule, couvercle enlevé à l'étuve pendant une heure et opérer comme précédemment
- Si la différence entre 2 pesées consécutives est inférieure à 5 mg pour une prise d'essai de 5g, considérer l'opération comme terminée sinon effectuer des séjours successifs à l'étuve de 1 heure.
- La teneur en eau et matières volatiles en pour cent en masse de l'échantillon est :

$$H\% = 100 \frac{(M_1 - M_0)}{(M_2 - M_1)}$$

M_0 : masse, en gramme de la capsule vide

M_1 : masse en g de la capsule avec la prise d'essai avant étuvage

M_2 : masse en g de la capsule avec la prise d'essai après étuvage

2. Dosage des cendres brutes (Méthode AFNOR NV- 03- 760)

La méthode permet de déterminer la teneur en cendres brutes des aliments. Comme principe, l'échantillon est incinéré à 500 °C, et le résidu obtenu est pesé. Une solution à 20% (P/V) de nitrate d'ammonium est employée comme réactifs

APPAREILLAGE

- plaque chauffante
- four à moufle électrique avec thermostat
- creusets à incinération en platine ou en alliage de platine et or.(10% Pt, 90% Au), rectangulaires (60x40x25mm) ou ronds(diamètre : 60 à 75mm, hauteur : 20 à 25mm).

MODE OPERATOIRE

Peser à 1 mg près 5g environ d'échantillon (2,5 g pour les produits ayant tendance à gonfler) dans un creuset à incinération préalablement calciné et taré. Placer le creuset sur la plaque chauffante et chauffer progressivement jusqu'à l'obtention de cendres blanches, gris clair ou rougeâtres, apparemment dépourvues de particules charbonneuses. Placer le creuset dans un dessiccateur, laisser refroidir et peser immédiatement.

3. Dosage des matières grasses (Méthode AFNOR NV- 03- 340)

Les matières grasses sont localisées dans le germe et dans les enveloppes. La quantité de germe présente dans une farine est liée à l'élévation du taux d'extraction du blé. Plus ce dernier sera élevé, plus le taux de matières grasses sera important. Celles-ci se transforment en partie au cours du vieillissement de la farine et provoquent la libération d'acide gras, phénomène entraînant le rancissement de la farine. Le dosage est obtenu par épuisement à l'éther.

MODE OPERATOIRE

Utiliser une allonge cylindrique en verre effilée à sa partie inférieure, au fond de laquelle 15g de farine sont disposés sur un tampon de coton. L'allonge est ensuite remplie d'éther. Le solvant traverse la farine et dissout les matières grasses qui sont entraînées vers un ballon.

On évapore alors l'éther du ballon et le poids du résidu multiplié par 20 donne le pourcentage recherché.

4. Dosage de l'acidité

Le titrage s'effectue sur l'extrait alcoolique au moyen d'une solution alcaline titrée en présence de phénophtaléine (indicateur). On retranche du résultat trouvé l'acidité apportée par le solvant et titrée conjointement (95°).

APPAREILLAGE :

- alcool éthylique à 95°
- solution de phénophtaléine à 1%.
- solution 0,05N de Soude décarbonatée (NaOH N/20)
- flacons de 100ml en verre pyrex.

1ml de soude correspond à 0,00245g d'acide sulfurique.

MODE OPERATOIRE :

- Introduire dans le flacon 10g de farine pesée à 2 ou 3g près sur une feuille de papier glacé.
- Ajouter 50ml d'alcool à 95°
- Boucher après avoir enduit le bouchon d'une mince couche de vaseline.
- Effectuer cinquante séries de retournements brusques.
- Renouveler six fois l'opération pendant la journée avec un minimum d'une heure d'intervalle entre chaque agitation.
- Pendant cette période, laisser reposer le flacon dans une position inclinée. Après la dernière opération, laisser le flacon reposer pendant 24h.
- Pour le titrage, introduire 20ml de la solution alcoolique (soutirage du liquide jaune qui surnage) parfaitement limpide et ajouter 5 gouttes de phénophtaléine.
- Titrer l'acidité au moyen de la soude N/20 jusqu'au virage rose.

20ml de la solution alcoolique correspond à 4g de farine. Effectuer ensuite le titrage de l'acidité apportée par l'alcool en déterminant la quantité de soude N/20 utilisés pour neutraliser respectivement l'acidité des 20ml d'extrait alcoolique et celle des 20ml d'alcool (réaction faite à blanc).

L'acidité, en gramme, s'obtient par la formule suivante :

$$\frac{0,06125(n - n_0) 100}{100 - H}$$

Avec H désigne l'humidité de la farine en pourcent.

5- Dosage du gluten

Principe et but :

Le gluten, recueilli par malaxage sous un filet d'eau, d'un pâton de farine, représente la fraction insoluble des protéines de cette farine, augmentée de substances non azotées (grasses, minérales, etc.)

Ce dosage constitue un moyen approximatif simple d'appréciation de la quantité et de la qualité des protéines insolubles. Il permet en outre de détecter des altérations que ne révèlent pas les analyses chimiques.

Au point de vue quantitatif, la détermination des matières azotées fournit des résultats plus précis.

APPAREILLAGE :

- mortier de porcelaine de diamètre 10 à 12 cm
- spatule de 20 à 25cm de longueur
- tamis de toile de cuivre
- verres de montre
- étuve de dessiccation réglée à 102°C
- solution de chlorure de sodium à 1g/l d'eau distillée

MODE OPERATOIRE :

Peser 33,33g de farine, la verser dans le mortier en porcelaine. Ajouter environ 17 cm³ de solution de chlorure de sodium. A l'aide d'une spatule, faire une pâte homogène qui au bout de 2 à 3 minutes de pétrissage ne doit plus adhérer au mortier. Prendre la pâte et la malaxer dans les mains pour la transformer en pâton homogène.

Malaxer le pâton sous filet d'eau discontinu, en la comprimant légèrement et en renouvelant constamment les surfaces avec les doigts. L'eau extrait l'amidon dans la terrine, les sons restent sur le tamis, le gluten se soude à lui-même.

Accroître alors le débit d'eau jusqu'à l'obtention d'un mince filet continu et laver le gluten.

Lorsque l'eau qui s'écoule n'est plus qu'à peine bouchée, arrêter le lavage qu'il faut éviter de prolonger.

Essorer le gluten en le comprimant à plusieurs reprises dans la main jusqu'à ce qu'il commence à adhérer à la peau.

Disposer le gluten humide sur un verre de montre légèrement vaselinée et tarée préalablement.

Peser le gluten humide rapidement (GH).

Sécher à l'étuve à 102 à 105°C.

Faciliter la dessiccation du gluten en incisant en croix la croûte du gluten. Peser le gluten sec (GS).

Rapporter le taux de gluten humide et sec à 100g de farine sèche. Et calculer la capacité d'hydratation selon la formule suivante :

$$C = (GH - GS) \cdot 100 / GH$$

6- Méthodes de mesures alvéographiques

1- Préparation de l'échantillon

Mélangez et homogénéisez l'échantillon de farine avant l'essai au moyen d'un tamis très couvert, l'échantillon que l'on va tester doit être à la température du laboratoire (entre 18 et 22°C).

2- Détermination de la teneur en eau de la farine

Utilisez la méthode officielle actuelle, la norme AFNOR / ISO V03- 701 ou Norme ICC N°110. Etuvage 1h30 à 130°C dans les conditions fixées par la méthode.

Le soin apporté à cette détermination et sa précision sont très importants pour la valeur des résultats alvéographiques. L'utilisation des doseurs rapides , quels qu'ils soient , n'est possible que dans la mesure où ceux-ci fournissent des résultats ne s'éloignant en aucun cas à $\pm 0,2\%$ des déterminations obtenues avec la méthode officielle.

3- Calcul de la quantité d'eau salée à ajouter à la farine

Notons que pour la prise d'essai, pesez 250g de farine à $\pm 0,5g$ près. L'eau salée est une solution NaCl à 2,5% dans l'eau distillée. Prenez soin de vérifier que l'eau ne soit pas anormalement acide ou permutée (vérifiez que le filtre cartouche ne soit pas saturé). Pesez 25g de chlorure de sodium ou de sel de cuisine pur et fin. Introduisez les dans un flacon jaugé à 1000ml et compléter avec de l'eau jusqu'à ce volume.

La quantité d'eau salée à utiliser est indiquée soit par la burette spéciale ICC graduée directement en pourcentage de la teneur en eau (ou une éprouvette pour les farines ayant une teneur en eau inférieure à 10, 6%, soit par le tableau ci-dessous.

Il est essentiel que la mesure de la quantité d'eau ajoutée soit faite avec précision, et que l'eau ajoutée soit à la température du laboratoire.

Tableau d'addition d'eau au pétrissage de l'essai alvéographique (respecter une précision inférieure à 1%)

Teneur en eau % de la farine	Volume à ajouter ml	Teneur en eau %	Volume à ajouter ml	Teneur en eau	Volume à ajouter ml
8,0	156,1	12,0	138,3	16,0	120,6
8,2	155,2	12,2	137,5	16,2	119,7
8,4	154,4	12,4	136,6	16,4	118,8
8,6	153,5	12,6	135,7	16,6	117,9
8,8	152,6	12,8	134,8	16,8	117,0
9,0	151,7	13,0	133,9	17,0	116,1
9,2	150,8	13,2	133,0	17,2	115,2
9,4	149,9	13,4	132,1	17,4	114,3
9,6	149,0	13,6	131,2	17,6	113,4
9,8	148,1	13,8	130,3	17,8	112,5
10,0	147,2	14,0	129,4	18,0	111,7
10,2	146,3	14,2	128,6	18,2	110,8
10,4	145,5	14,4	127,7	18,4	109,9
10,6	144,6	14,6	126,8	18,6	109,0
10,8	143,7	14,8	125,9	18,8	108,1
11,0	142,8	15,0	125,0	19,0	107,2
11,2	141,9	15,2	124,1	19,2	106,3
11,4	141,0	15,4	123,2	19,4	105,4
11,6	140,1	15,6	122,3	19,6	104,5
11,8	139,2	15,8	121,4	19,8	103,7

4-Expression des résultats

Les résultats sont mesurés ou calculés à partir des cinq courbes (ténacité P, extensibilité L ou G, force boulangère W, pression au point de rupture p, et indice d'élasticité Ie) obtenues à l'Alvéolink (écran de l'appareil). Toutefois, si l'un 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.

5-Précision des résultats

Les résultats doivent être considérés comme ceux d'un test technologique et exprimés de la façon suivante :

- P, L et p à l'unité près (sans fraction décimale des millimètres)
- G à 0,1 unité près(par exemple 23- 23,1- 26,5- 26,6-...)
- W à 1 unité près (par exemple échelle des valeurs 150- 151- 160- 161)

6- Reproductibilité et répétabilité

La reproductibilité des résultats dépend de trois facteurs essentiels :

- exactitude de la teneur en eau de la farine retenue lors de la préparation de la pâte.
- Respect strict des modalités expérimentales et des contrôles détaillés dans les instructions d'emploi fournies avec l'appareil.
- Bon état mécanique des différents organes de l'appareil.

A titre indicatif, les conditions étant normales, appareils, laboratoires et opérateurs étant différents, la reproductibilité peut notablement inférieures à celles indiquées ci-dessus.

7- Calcul au moyen de l'Alvéolink

L'utilisation de l'Alvéolink NG permet de faciliter nombreuses tâches liées aux mesures notamment :

- visualisation sur écran tactile couleur, en temps réel, des courbes alvéographiques ;
- Calcul automatique de la valeur moyenne de chaque paramètre (P, L, G, W, P/L, Ie), avec la possibilité d'écarter ou de réincorporer une ou plusieurs des cinq courbes jugées anormales ;
- Sauvegarde des bulletins d'analyses ;
- Comparaison de deux bulletins d'analyses directement à l'écran (exemple : échantillon testé et référence)
- Impression en couleur des bulletins d'analyses.
- Transfert des résultats d'essais vers un PC pour traitement sur tableur (excel, lotus,...)
- Connexion d'un deuxième Alvéographe CHOPIN pour un travail en simultané.

ANNEXES

Annexe 1 : Méthode d'appréciation des caractéristiques du pain

1. Aspect de la mie

Son appréciation se fait après section du pain dans le sens longitudinal.

Structure :

Elle est évaluée visuellement ; elle peut être régulière et aérée, dans ce cas elle obtient une note de 10 points. La note diminue avec la dégradation de cette structure. Ainsi, une mie à structure compacte et serrée est notée à 0 point.

Cohésion :

Elle est évaluée en fonction de l'uniformité des alvéoles présentes sur les parois de la mie.

La cohésion est jugée « suffisante » lorsque les alvéoles sont uniformes et la paroi de la mie ne présente pas trop de alvéoles. Dans ce cas, 7 points sont attribués à la cohésion.

La cohésion est jugée « insuffisante » quand il y a alternance de grosses et petites alvéoles sur la paroi de la mie. L'intensité des défauts peut être jugée par rapport à une gamme de photos témoins.

Elasticité :

L'élasticité est la propriété que possède la mie à reprendre sa position initiale après déformation constante. Elle se mesure par l'aptitude de la mie à reprendre plus ou moins rapidement sa position initiale après de faibles pressions des doigts identiques et successives.

Un retour rapide jugé en « excès » est noté sur 8 points et un retour lent est jugé « insuffisant » et noté sur 0 point.

Couleur :

La couleur est notée sur 5 points. Elle s'apprécie visuellement et évalué selon la méthode suivante :

- une mie blanche est jugée « insuffisante » et noté 0 point
- une mie crème est considéré comme caractère « normal » et noté 2,5 points.
- une mie de couleur jaune est jugée en excès et obtient 5 points

2. Aspects extérieurs du pain

L'appréciation des pains doit être réalisée une heure au moins et deux heures au plus après leur sortie du four et sur l'ensemble des quatre pains.

Epaisseur de la croûte :

Cette appréciation doit être effectuée après la mesure du volume des pains. L'épaisseur s'apprécie visuellement sur les côtés du pain après section transversale et médiane. L'épaisseur

« normale » est d'environ 1mm et notée 5 points. Lorsque l'épaisseur de la croûte augmente, les notes diminuent.

Couleur de la croûte

Elle s'apprécie visuellement. Pour des teintes pâles, le défaut est jugé en « insuffisant » et obtient 0 points. La couleur est jugée en « excès » pour les teintes rouges avec une pondération de 5 points

Annexe 2 : Base de calcul pour la notation du volume du pain.

Volume en cm3	Note / 30	Volume en cm3	Note / 30
< 1200	0,0	1700 à 1709	15,0
1200 à 1209	0,0	1710 à 1719	15,3
1210 à 1219	0,3	1720 à 1729	15,6
1220 à 1229	0,6	1730 à 1739	15,9
1230 à 1239	0,9	1740 à 1749	16,2
1240 à 1249	1,2	1750 à 1759	16,5
1250 à 1259	1,5	1760 à 1769	16,8
1260 à 1269	1,8	1770 à 1779	17,1
1270 à 1279	2,1	1780 à 1789	17,4
1280 à 1289	2,4	1790 à 1799	17,7
1290 à 1299	2,7	1800 à 1809	18,0
1300 à 1309	3,0	1810 à 1819	18,3
1310 à 1319	3,3	1820 à 1829	18,6
1320 à 1329	3,6	1830 à 1839	18,9
1330 à 1339	3,9	1840 à 1849	19,2
1340 à 1349	4,2	1850 à 1859	19,5
1350 à 1359	4,5	1860 à 1869	19,8
1360 à 1369	4,8	1870 à 1879	20,1
1370 à 1379	5,1	1880 à 1889	20,4
1380 à 1389	5,4	1890 à 1899	20,7
1390 à 1399	5,7	1900 à 1209	21,0
1400 à 1409	6,0	1910 à 1219	21,3
1410 à 1419	6,3	1920 à 1229	21,6
1420 à 1429	6,6	1930 à 1939	21,9
1430 à 1439	6,9	1940 à 1949	22,2
1440 à 1449	7,2	1950 à 1959	22,5
1450 à 1459	7,5	1960 à 1969	22,8
1460 à 1469	7,8	1970 à 1979	23,1
1470 à 1479	8,1	1980 à 1989	23,4
1480 à 1489	8,4	1990 à 1999	23,7
1490 à 1499	8,7	2000 à 2009	24,0
1500 à 1509	9,0	2010 à 2019	24,3
1510 à 1519	9,3	2020 à 2029	24,6
1520 à 1529	9,6	2030 à 2039	24,9
1530 à 1539	9,9	2030 à 2339	25,2
1540 à 1549	10,2	2040 à 2049	25,5
1550 à 1559	10,5	2050 à 2059	25,8
1560 à 1569	10,8	2060 à 2069	26,1
1570 à 1579	11,1	2070 à 2079	26,4
1580 à 1589	11,4	2080 à 2089	26,7
1590 à 1599	11,7	2090 à 2099	27,0
1600 à 1609	12,0	2100 à 2109	27,3
1610 à 1619	12,3	2110 à 2119	27,6
1620 à 1629	12,6	2120 à 2129	27,9
1630 à 1639	12,9	2130 à 2139	28,2
1640 à 1649	13,2	2140 à 2149	28,5
1650 à 1659	13,5	2150 à 2159	28,8
1660 à 1669	13,8	2160 à 2169	29,1
1670 à 1679	14,1	2170 à 2179	29,4
1680 à 1689	14,4	2180 à 2189	29,7
1690 à 1699	14,7	2190 à 2199	30,0

Annexe 3 : Questionnaires pour les analyses sensorielles

1- Questionnaire pour le test triangulaire et le test de préférence

Date :

Nom de l'expérimentateur

Numéro du sujet	Rang du test	CODES			Pain comme différent ?	Pain préféré ?	Observation
	TEST1						
	TEST2						
	TEST3						
	TEST4						
	TEST1						
	TEST2						
	TEST3						
	TEST4						
	TEST1						
	TEST2						
	TEST3						
	TEST4						

2- Questionnaire pour le test de classement :

Numéro du sujet				
Rang du pain	1° (le plus agréable)	2°	3°	4° (le moins agréable)
CODES				
Pourquoi ce pain en premier ?				
Pourquoi ce pain en dernier ?				
Numéro du sujet				
Rang du plat	1° (le plus agréable)	2°	3°	4° (le moins agréable)
CODES				
Pourquoi ce pain en premier ?				
Pourquoi ce plat en dernier ?				
Numéro du sujet				
Rang du pain	1° (le plus agréable)	2°	3°	4° (le moins agréable)
CODES				
Pourquoi ce pain en premier ?				
Pourquoi ce pain en dernier ?				

Annexe 4 : Normes codex pour la farine de blé

1. CHAMP D'APPLICATION

La présente norme s'applique à la farine de blé destinée à la consommation humaine et dérivée du blé ordinaire, *Triticum aestivum* L., ou de blé ramifié, *Triticum compactum* Host., ou tous mélanges de ces derniers, préemballée et prête à la vente aux consommateurs ou destinée à être utilisée dans d'autres produits alimentaires.

Elle ne s'applique pas:

- à un produit préparé à partir de blé dur, *Triticum durum* Desf., seul ou avec d'autres blés;
- à la farine complète de blé ou semoule moulue et dérivée de blé commun, *Triticum aestivum* L., ou de blé ramifié *Triticum compactum* Host., ou de tous mélanges de ces derniers;
- à la farine de blé destinée à un emploi d'adjuvant de brasserie ou à la fabrication de féculé et/ou de gluten;
- à la farine de blé destinée à un emploi industriel non alimentaire;
- aux farines dont la teneur en protéines a été réduite ou ayant été soumises, après mouture, à un traitement spécial autre que séchage ou blanchiment, et/ou auxquelles ont été ajoutées des ingrédients autres que ceux mentionnés aux Sections 3.2.2 et 4.

2. DESCRIPTION

La farine de blé est le produit élaboré à partir des grains de blé ordinaire, *Triticum aestivum* L. ou blé ramifié, *Triticum compactum* Host., ou tous mélanges de ces derniers, par procédés de mouture ou de broyage dans lesquels le son et le germe sont partiellement éliminés et le reste réduit en poudre suffisamment fine.

3. FACTEURS ESSENTIELS DE COMPOSITION ET DE QUALITE

Facteurs de qualité - Critères généraux

La farine de blé et tous ingrédients lui étant éventuellement ajoutés doivent être sains et propres à la consommation humaine.

La farine de blé doit être exempte d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants.

La farine de blé doit être exempte de souillures (impuretés d'origine animale, y compris les insectes morts) en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

Facteurs de qualité

La teneur en eau est fixée à 15,5 % m/m maximum. Une teneur moindre en eau peut être exigée pour certaines destinations, compte tenu du climat, de la durée du transport et de celle du stockage. Les gouvernements acceptant la norme sont priés d'indiquer et de justifier les critères applicables dans leur pays.

Les ingrédients suivants peuvent être ajoutés à la farine de blé en des quantités nécessaires à des fins technologiques:

- produits à base de malt à activité enzymatique obtenus à partir du blé, du seigle ou d'orge;
- gluten vital de blé;
- farine de soja et de légumineuse.

4. ADDITIFS ALIMENTAIRES

Les enzymes suivantes sont autorisées à condition de respecter la bonne pratique de fabrication (BPF) :

- Amylase fongique à partir d'*Aspergillus niger*
- Amylase fongique à partir d'*Aspergillus oryzae*
- Enzyme protéolitique à partir de *Bacillus subtilis*
- Enzyme protéolitique à partir d'*Aspergillus oryzae*

Le tableau ci-après illustre la liste des agents de traitement avec leur dose d'emploi respective, cette devrait être respectée sinon des les consommateurs sont exposés à des dangers sur la santé.

Produit	Dose d'utilisation recommandée (mg/kg)
acide-L ascorbique et ses sels de sodium et de potassium	300
Chlorhydrate de L-cystéine	90
Anhydride sulfureux (uniquement dans les farines pour la confection de biscuits et de gâteaux en pâtisserie)	200
Phosphate mono-calcique	2500
Lécithine	2000
Chlore dans les gâteaux à base de farines spéciales	2500
Dioxyde de chlore pour les articles de boulangerie à base de levures	30
Péroxyde de benzoyle	60
Azodicarbonamide pour le pain au levain	45

5. CONTAMINANTS

La farine de blé doit être exempte de métaux lourds en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine.

La farine de blé doit être conforme aux limites maximales de résidus fixées par la Commission du Codex Alimentarius pour ce produit.

La farine de blé doit être conforme aux limites maximales de mycotoxines fixées par la Commission du Codex Alimentarius.

6. HYGIENE

Il est recommandé que le produit visé par les dispositions de la présente norme soit préparé et manipulé conformément aux sections appropriées du Code d'usages international recommandé – Principes généraux d'hygiène alimentaire (CAC/RCP 1-1969, Rév. 2-1985, Codex Alimentarius Volume 1B) et des autres Codes d'usages recommandés par la Commission du Codex Alimentarius applicables à ce produit.

Dans la mesure où le permettent les bonnes pratiques de fabrication, le produit doit être exempt de matières indésirables.

Lorsqu'il est soumis à des méthodes appropriées d'échantillonnage et d'examen, le produit doit être:

- exempt de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé;
- exempt de parasites susceptibles de présenter un risque pour la santé;
- exempt de substances provenant de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

7. CONDITIONNEMENT

La farine de blé doit être emballée dans des récipients préservant les qualités hygiéniques, nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du produit.

Les récipients, y compris les matériaux d'emballage, doivent être fabriqués avec des matériaux sans danger et convenant à l'usage auquel ils sont destinés. Ils ne doivent transmettre au produit aucune substance toxique, ni aucune odeur ou saveur indésirable.

Lorsque le produit est emballé dans des sacs, ceux-ci doivent être propres, robustes et solidement cousus ou scellés.

8. ETIQUETAGE

Le nom du produit déclaré sur l'étiquette doit être "farine de blé". Les renseignements sur les récipients non destinés à la vente au détail doivent figurer soit sur le récipient, soit dans les documents d'accompagnement, exception faite du nom du produit, de l'identification du lot et du nom et de l'adresse du fabricant ou de l'emballeur qui doit figurer sur le récipient. Cependant, l'identification du lot et le nom et l'adresse du fabricant ou de l'emballeur peuvent être remplacés par une marque d'identification, à condition que cette marque puisse être clairement identifiée à l'aide des documents d'accompagnement.

Annexe 5 : Grille de notation Basée sur les méthodes classiques françaises

Essai Panification Mana

NOM DU TEST/CATEGORIE				Germe de blé	
Mélange blé	%	MOUTURE		Repos	
		Date	Type	Jours	
Farine Fanion vert	90		55	8	
Germe de blé séché, moulu	10			8	
et tamisé					
DATE DU TEST	03/09/2008	Code		TEM	
TYPE D'ESSAI	Essai avec 20% de germe de blé				
REMARQUE :	Produits non incisés				
Températures en °C :	Fournil	25	Pâte	20,3	Etuve non
Durée de pétrissage en minuteS	mélange	6	Pétrissage	3,5	Responsable analyse: REBETEZ
	Insuffisant		Excès		
	1	4	7	10	7
	1	4	7	10	7
PETRISSAGE					
LISSAGE					x 0,5 = 5,0
COLLANT DE LA PATE					x 0,5 = 5,0
CONSISTANCE					x 0,5 = 5,0
EXTENSIBILITE					x 0,5 = 5,0
ELASTICITE					x 0,5 = 5,0
RELACHEMENT					x 0,5 = 5,0
POINTAGE					
DETENTE : RELACHEMENT					x 1 = 10 /10
FACONNAGE					
ALLONGEMENT					x 0,5 = 3,5
DECHIREMENT					x 0,5 = 5,0
ELASTICITE					x 0,5 = 3,5
COLLANT DE LA PATE					x 1 = 10
APPRET					
ACTIVITE FERMENTAIRE					x 0,5 = 5,0
PATE : DECHIREMENT					x 0,5 = 5,0
MISE AU FOUR					
COLLANT DE LA PATE					x 1 = 10
TENUE DE LA PATE					x 2 = 20
CARACTERISTIQUES DU PAIN					
SECTION					x 1 = 7
COULEUR					x 2 = 20
EPAISSEUR					x 0,5 = 5,0
CROUSTILLANT					x 0,5 = 3,5
COUPS DE LAME					
DEVELOPPEMENT					x 1 = 7
REGULARITE					x 1 = 7
DECHIREMENT					x 1 = 10
VOLUME					
	1er	2e	3e	4e	Moyenne
VOLUME MOYEN	340,34	369,6	300,3	312,62	331 cm³
MASSE MOYENNE	216	218	212	214	215,0 g
POIDS GRAINES	442	480	390	406	
COULEUR					
TEXTURE					
SOUPLESSE					x 1 = 10
ELASTICITE					x 1 = 10
COLLANT					x 1 = 10
ALVEOLAGE					
REGULARITE					x 1 = 10
EPAISSEUR					x 1 = 10
ODEUR					x 4 = 40
					237 /300

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'x'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.

Version: 05.06.08 Bipea ~ 6 à 14, Avenue Louis-Roche ~ F-92230 GENNEVILLIERS / Tél : + 33 1 47 33 54 60 ~ Fax : + 33 1 40 86 92 59

Annexe 6 : Fiche de résultats des analyses de valeurs nutritionnelles des pains au germe de blé (20/80)

REPOBLIKANT MADAGASIKARA
Tanindrazana-Fahafahana-Fandrosoana

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE SUR
L'ENVIRONNEMENT

BULLETIN D'ANALYSE N° 180/08/CNRE/D₄
BC: du 18/09/0

BP 1739 TSIMBAZAZA
Tel: 2 226469

LABORATOIRE D'ANALYSE DE CONTROLE DE LA QUALITE DES ALIMENTS ET DES EAUX

Analyse demandée par : Mr ANDRIANANJANIALNA Jean S.

Nature d'échantillon : Pain au germe de blé

Nombre : 01

Code d'échantillon : K-523 D-177

Date d'arrivée : 18/09/08

Conditionnement : sachet plastique

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

PARAMETRES	RESULTATS
Protide	30,64%
Lipide	3,41 %
Glucide	43,71 %
Phosphore	1 53,00 mg/100g
Calcium	10 mg/100g
Fer	92 mg/100g
Cendre	3,14%
Valeur énergétique	325 Kcal/ 100g
Humidité	19,10%

Responsable d'analyse: Marcellin-Christine-Naina-Benja

Rapport émis le : 30/09/08

REIC Le Chef de Département



Annexe 7 : Fiche de résultats des analyses de valeurs nutritionnelles des pains sans germe

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana-Fahafàhana-Fandrosoana

MINISTRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE SUR
L'ENVIRONNEMENT
BP 1739 TSIMBAZAZA

BULLETIN D'ANALYSE N°1809
CNRE/D 5 BC du 19/08/08

LABORATOIRE D'ANALYSE DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES ALIMENTS ET DES EAUX

Nombre : 01

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

PARAMETRES	RESULTATS
Protide	7%
Lipide	1%
Glucide	54%
Phosphore	100 mg / 100g
Calcium	8 mg / 100g
Fer	3,78mg/100g
Cendre	1,46%
Valeur énergétique	259 Kcal / 100g

Responsable d'analyse: Marcellin-Christine-Naina-Benja Rapport émis le :
30/09/08



Annexe 8 : Emulsifiant SSL (E481: Stéaroyl-2-lactylate de sodium)**Origine :**

C'est une combinaison d'acide stéarique et d'acide lactique, résultant en mélange de plusieurs composés. L'origine de l'acide stéarique peut être soit des plantes soit animale, bien qu'en pratique les huiles végétales sont presque tout le temps utilisées.

Fonction et caractéristiques :

Emulsifiant et stabilisateur.

Produits :

Produits de boulangerie.

Dose journalière :

Jusqu'à 20 mg/kg de poids corporel.

Effets secondaires :

Aucun, de l'acide lactique ou stéarique n'est normalement produit par le métabolisme humain.

Restriction diététique :

Bien que la plupart des huiles utilisées soient végétales, l'utilisation de corps gras d'origine animale (notamment du porc) ne peut pas être complètement exclue. Plusieurs groupes de personnes tels que les musulmans, les végétaliens et les juifs doivent éviter ces produits. Seuls les fabricants peuvent donner plus de détails sur l'origine de ces acides gras. Chimiquement ces acides gras sont identiques quelque soit leur origine animale ou végétale.

Annexe 9 : Masse de farine nécessaire à l'essai de panification en fonction de sa teneur en eau

Teneur en eau %	Masse de farine (en g) correspondant à 15% de teneur en eau		Teneur en eau %	Masse de farine (en g) correspondant à 15% de teneur en eau	
	1*	2*		1*	2*
11,0	1910	1433	14,1	1979	1484
11,1	1912	1434	14,2	1981	1486
11,2	1914	1435	14,3	1984	1488
11,3	1917	1437	14,4	1986	1489
11,4	1919	1439	14,5	1988	1491
11,5	1921	1441	14,6	1991	1493
11,6	1923	1442	14,7	1993	1495
11,7	1925	1444	14,8	1995	1496
11,8	1927	1446	14,9	1998	1498
11,9	1930	1447	15,0	2000	1500
12,0	1932	1449	15,1	2002	1502
12,1	1934	1451	15,2	2005	1504
12,2	1936	1452	15,3	2007	1505
12,3	1938	1454	15,4	2009	1507
12,4	1941	1456	15,5	2012	1509
12,5	1943	1457	15,6	2014	1511
12,6	1945	1459	15,7	2017	1512
12,7	1947	1460	15,8	2019	1514
12,8	1950	1462	15,9	2021	1516
12,9	1952	1464	16,0	2024	1518
13,0	1954	1466	16,1	2026	1520
13,1	1956	1467	16,2	2029	1521
13,2	1959	1469	16,3	2031	1523
13,3	1961	1471	16,4	2033	1525
13,4	1963	1472	16,5	2036	1527
13,5	1965	1474	16,6	2038	1529
13,6	1968	1476	16,7	2041	1531
13,7	1970	1477	16,8	2043	1532
13,8	1972	1479	16,9	2046	1534
13,9	1974	1481	17,0	2048	1536
14,0	1977	1482			

1*en eau. : Masse de farine correspondant à une prise d'essai de farine de 2000g à 15% de teneur

2* : Masse de farine correspondant à une prise d'essai de farine de 1500g à 15% de teneur

Source : BIPEA



ETUDES DES COMPORTEMENTS TECHNOLOGIQUES DU GERME DE BLE EN PANIFICATION EN VUE DE SA VALORISATION

Présenté par ANDRIANANJANIAINA Jean Sendrahasina

Encadré par le Professeur RAONIZAFINIMANANA Béatrice

FAMINTINANA

Ny germe no singa be otrikaina indrindra ao amin'ny varim-bazaha. Andrana tamin'ny fanamboarana mofo misy germe no natao tamin'ity fikarohana ity, ka 10%, 20% ary 30% no fatran'ny germe nampiasaina. Voamarina ary fa tsara kokoa ny kalitaon'ny mofo raha lemana rano misaraka aloha ireo akora anamboarana mofo vao afangaro. Ankoatr'izay, niharatsy ny bika sy hadirin'ny mofo rehefa nampitomboina ny fatran'ny germe. Antony nahatonga izany ny fahasimban'ny réseau glutineux ka lasa mora rovitra ny pâte. Tsapa anefa fa nanatsara ny tsiron'ireo mofo ny fampiasana ny germe. Ny émulsifiants DATEM sy SSL 0,5% dia tsy nampitombo ny hadirin'ny mofo. Tany amin'ny fanatsarana ny bika sy ny ati- mofo no niasan'ny émulsifiants indrindra ny DATEM. Hita koa fa 3 andro aorian'ny fanamboarana ihany no tsara ny mofo misy germe. Lasa 4 ka hatramin'ny 5 andro izany rehefa nampiasa émulsifiants indrindra ny SSL. Farany, voamarin'ny analizy fa be otrikaina sy mitondra hery ny mofo misy germe. Azo atao noho izany ny mampiasa ity karazana sakafo vaovao ity hiadiana amin'ny tsy fahampian-tsakafo, raha toa ka voatsara hanara-penitra ny fanamboarana azy.

Teny manan-danja: germe, farine, mofo, incorporation, kalitao.

RESUME

Le germe de blé est la partie du grain qui contient le plus d'éléments nutritifs. Sa valorisation en panification est l'objectif global de notre étude. Trois séries de panification ont été réalisées avec respectivement 10%, 20%, et 30% d'incorporation de germe. Les essais sur le type d'hydratation confirment l'importance de l'hydratation séparée avant le mélange dont l'intérêt réside dans l'obtention d'une meilleure pousse de la pâte et des pains de bons aspects extérieurs. Des expérimentations sur le taux de substitution ont conclu que plus l'incorporation de germe est importante, plus la qualité rhéologique des pâtes obtenues diminue. Le germe de blé défavorise la formation du réseau glutineux et les pâtes sont devenues moins élastiques. Toutefois, le germe de blé améliore la qualité organoleptique des pains. L'action des émulsifiants DATEM et SSL à 0,5% sur le volume des pains est imperceptible. Leur intérêt se trouve dans l'amélioration des aspects extérieurs et de la structure de la mie, surtout avec le DATEM. Quant au rassissement, les pains à fort taux de germe de blé vieillissent après 3 jours de fabrication. Les émulsifiants prolongent la durée de conservation de ces pains jusqu'à 4 jours et même 5 jours avec le SSL. Enfin, les analyses des valeurs nutritionnelles montrent que les pains enrichis en germe sont à haute valeur énergétique. Ainsi, il reste l'optimisation de la fabrication du pain à 20 % germe de blé, par ajout d'un surplus d'améliorants ou de gluten, avant de pouvoir mettre au profit de la population les bienfaits de ce produit alimentaire.

Mots clés : germe de blé, farine de blé, pains, incorporation, qualité.

ABSTRACT

The wheat germ is the part of the grain which contains the most nutritive elements. Its valorization in panification is the total objective of our study. Three series of panification were carried out with respectively 10%, 20%, and 30% of incorporation of germ. The tests on the type of hydration confirm the importance of the hydration separated before the mixture whose interest lies in obtaining a better growth of the paste and breads of good appearances. Experiments on the rate of substitution was concluded that the more significant incorporation of germ is, the more the breads are of bad quality. The wheat germ disadvantages the formation of the glutinous network and the pastes became less elastic. However, the corn germ improves organoleptic qualities of the breads. The action of emulsifiers DATEM and SSL with 0,5% on the volume of the breads is unperceivable. Their interest is in the improvement of the appearances and the structure of the crumb, especially with the DATEM. As for rassissement, the breads with high rate of wheat germ age after 3 days of manufacture. The emulsifiers prolong the shelf life of these breads up to 4 days and even 5 days with the SSL. Lastly, the analyses of the nutritional values show that the breads with germ are with high energy value. Thus, there remains the optimization of the manufacture of the bread to 20 % wheat germ, by addition of a surplus of improving or gluten, before being able to put at the profit of the population the benefits of this foodstuff.

Key words: Wheat germ, wheat flour, breads, incorporation, quality

