



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Hassiba Ben Bouali- Chlef

Faculté des sciences

THESE DE DOCTORAT LMD

Présentée par

NEMAR Fawzia

Spécialité

Sciences Alimentaires et Nutrition

Option

Sciences des Aliments

**Potentiel nutritionnel et de panification d'une farine à
pourcentage élevé en fécule de pomme de terre**

Soutenu le, 15 Décembre 2015

Devant le jury

Présidente : ALLEM Rachida Professeur UHB-Chlef.

Directeur de thèse : DILMI BOURAS AbdElkader Professeur UHB-Chlef.

Examineur : RIAZI Ali Professeur U.A.B. Mostaganem

Examineur : BENALI Mohamed Professeur U.D.L.Sidi-Bel-Abbes

Examineur : KOICHE Malika MCA UHB-Chlef.

Invité : ASSAL Nasser Eddine Docteur (Président Groupe Lactamel)

Année universitaire: 2015-2016.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie **Dieu** le tout puissant de m'avoir montré la voie, guider et donner le courage de surmonter tous les problèmes rencontrés dans la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à remercier sincèrement les membres jury de cette thèse :

Pr. DILMI BOURAS Abdelkader, Professeur à la faculté des sciences, Université Hassiba BEN BOUALI de Chlef qui, en tant que promoteur, s'est toujours montré à l'écoute et sa disponibilité tout au long de la réalisation de cette thèse pour l'inspiration, ses précieux conseils et ses encouragements et le temps qu'il a bien voulu me consacrer,

Pr. ALLEM R., Professeur à la faculté des sciences, Université Hassiba BEN BOUALI de Chlef d'avoir bien voulu nous faire l'honneur de présider ce jury.

Pr. RIAZI A., Professeur à l'université de Mostaganem, et **Pr. BENALI M.**, Professeur à l'université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, d'avoir accepté, malgré leurs nombreuses occupations, de se rendre à Chlef, pour juger et évaluer cette thèse.

Dr. KOICHE. M., Maître de conférences A à la faculté des sciences, Université Hassiba BEN BOUALI de Chlef, pour son aide, malgré ses charges, et d'avoir accepté d'être membre de jury de ce travail.

Dr. ASSAL Nasser-eddine, Président du Groupe **Lactamel** de Sidi Bel-Abbès, pour son aide matériel, financier et scientifique et la confiance qu'il nous a attribué pour la réalisation de ce projet.

PRODHOMME Joël, spécialiste français en panification, Groupe **Lactamel** de Sidi Bel-Abbès, pour son aide dans la réalisation des essais au niveau des boulangeries.

Je tiens à exprimer mes plus vives reconnaissances au directeur de la société **SARL LES MOULINS NAKHLA**, Monsieur **MESTFAOUI** qui m'a donné libre accès à son laboratoire, ainsi qu'à Mlle **AMRANE Siham**, responsable technique de laboratoire **DE SARL**, pour son aide et ses encouragements pour la réalisation des analyses au niveau de leur laboratoire.

Mes remerciements s'adressent au **Dr. AICHOUNI A.**, **Dr. MAHMOUDI H.** et **Mme TABTI M.** pour leur aide et leurs conseils et encouragements.

Mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cette thèse et à tous les amis (es), collègues et doctorants (es).

« Nous pensons que la vie est une chance, utilisant donc chaque seconde, chaque minute et chaque jour pour rendre service à notre famille, notre communauté, notre pays, au monde entier et si possible à l'univers tout entier... »

Dédicaces

*A ceux qui ont sacrifié leurs vies pour moi à ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir,
à ceux que leur amour m'a donné la volonté pour aller toujours en avant,
Mes très chers Parents, que dieu le tout puissant les protège, Ce travail est le fruit de vos sacrifices que
vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.*

Au roi de la famille, mon très chère frère : Mohamed

A mes très chères frères : Qawider, AbdAllah, Ali, Ahmed,

*A mes très chères sœurs : Leyla, Abla, Aicha, Meriem, Ibtissam, Malika, Hiba, Meriem, Meriem, Amel,
Fatima, Zayneb.*

A la joie de ma famille, mes nièces et neveu : Tasnim, Siham et AbdEbrahmane

A tous les membres de ma famille

*A tous mes amis (es) qui ont rendu ma vie agréable et pleine de bons souvenirs. A ceux qui m'encourageaient
dans les moments difficiles, à ceux qui m'ont aidé et m'ont écouté dans les moments difficiles*

Je dédie ce modeste travail.

RESUME

Le blé est l'une des céréales les plus consommées au monde et l'une des principales ressources alimentaires pour l'humanité. Le pain qui en résulte constitue l'aliment le plus régulièrement consommé dans le monde et en Algérie, en particulier. Le marché international de blé, denrée stratégique, subit une forte pression : démographie et changement des habitudes alimentaires. Les prix sont sans cesse croissants. Des dispositions immédiates doivent être prises afin de nous préparer à relever ce déficit majeur qu'est la sécurité alimentaire. Dans ce contexte, des essais de substitution de la farine de blé tendre par la fécule de pomme de terre ont été réalisés dans ce travail. La composition approximative et les caractéristiques rhéologiques et organoleptiques des différentes farines utilisées ainsi que celle des pâtes et pains préparés ont été déterminés par des méthodes standards. Selon les résultats d'alvéographe, la ténacité, l'extensibilité et l'énergie de déformation diminuent avec l'augmentation du taux d'incorporation en féculs de pomme de terre. Cette diminution peut être corrigée par l'ajout de gluten vital. Les essais de panification montrent que les pains peuvent être préparés avec un pourcentage de 80% de féculs (avec l'ajout du gluten). Les résultats d'analyses physicochimiques ont montré une diminution du taux de protéines, une augmentation du taux d'humidité (environ de 2%) et du taux de sucre. Cela est dû à la composition de la fécule de pomme de terre. Cependant, l'analyse organoleptique ($p \leq 0.05$) a montré que l'addition de la fécule de pomme de terre à raison de 80% et de gluten conduit à un pain avec des caractéristiques meilleures : goût, couleur et odeur. Nous avons réussi à fabriquer des pains, avec des pourcentages élevés en féculs de pomme de terre, de qualité nutritionnelle et organoleptique acceptables et très proches du pain à base de farine de blé.

Mots clés : Pain, fécule, pomme de terre, farine, blé, substitution.

ABSTRACT

Wheat bread constitutes the most regularly consumed food in the World and one of the main food resources for humanity. The resulting bread is the most regularly consumed food in the world and in Algeria in particular. The international market of wheat, strategic commodity, undergoes strong pressure: demographic and changing and eating habits. Prices are unceasingly increasing. Immediate steps must be taken to prepare to meet this major challenge that is food security. In this context, alternative tests of wheat flour by potato starch have been made in this work. The approximate composition and the rheological and organoleptic characteristics of the various flours used and also of pasta and bread were determined by standard methods. According to the results of alveograph, tenacity, extensibility, and strain energy decrease with increasing the rate of incorporation of potato starch. This decrease can be corrected by adding vital gluten. Baking tests show that the rolls can be prepared with a percentage of 80% starch (with the addition of gluten). The results of the physicochemical analyzes showed a decrease in protein levels, an increase in moisture content (about 2%) and carbohydrates levels due to the composition of potato starch. However, sensory analysis ($p \leq 0.05$) showed that the addition 80% of potato starch leads to bread with better characteristics: taste, colour and odour. We have successfully made breads with high potato starch percentages, of quality nutritional and organoleptic acceptable and very close to the bread containing flour.

Key words: Bread, potato starch, wheat, flour, substitution.

الملخص

يعد القمح من بين أهم الحبوب الأكثر استهلاكًا في العالم ومن بين المصادر الرئيسية للموارد الغذائية الأساسية للإنسان، ويعتبر الخبز مصدر لحياة الإنسان لأنه الأكثر استهلاكًا في جميع أنحاء العالم وعلى وجه الخصوص الجزائر، ويعتبر القمح سلعة إستراتيجية ذات تداول في السوق الدولية نتيجة زيادة الضغط الناتج عن التركيبة السكانية وهذا ما يجعلها تخضع للمضاربة في الأسواق مما يساهم في زيادة الأسعار التي تكون مكلفة بالنسبة للدول. لذا وجب إعداد إستراتيجية لمواجهة التحدي الرئيسي وهو الأمن الغذائي . وفي هذا السياق سعت هذه الدراسة إلى استبدال القمح بنشاء البطاطا ، فمن خلال هذه الدراسة تم تحديد التكوين التقريبي للدقيق المستخدم وكذا خبز القمح وخبز البطاطا وفقطرق قياسية ، حيث أسفرت نتائج التحليل الفيزيوكيميائية انخفاض في مستويات البروتين ، وزيادة نسبة الرطوبة حوالي 02 % والسكر ويرجع ذلك إلى مكونات نشاء البطاطا ومع ذلك، أظهر التحليل الحسي أن إضافة 80% من نشاء البطاطا أدى إلى إعطاء خبز بخصائص أفضل: من حيث الطعم واللون والرائحة. وخلص إلى أنه من الممكن الحصول على الخبز المصنوع من نشاء البطاطا مقبولة وتشبه إلى حد كبير الخبز المصنوع من دقيق القمح.

الكلمات المفتاحية: الخبز ، نشاء البطاطا ، القمح ، الاستبدال

Liste des travaux réalisés dans le cadre de la thèse (publications et communications)

Communications affichées

Nemar F., Dilmi Bouras A ., Koiche M et Assal N-E. *Essai d'incorporation de la fécule de pomme de terre dans la fabrication des pains*. Journées scientifiques du 40^{ème} anniversaire de la création de l'U.S.T.H.B. 20-24 Avril 2014. Alger.

Nemar F., Dilmi Bouras A ., Koiche M et Assal N-E. Prodhomme J. *Incorporation de fécule de pommes de terre dans la fabrication des pains*. 5^{ème} journées scientifiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie. 07 et 08 Mai 2014. Université ABDELHAMID IBN BADIS de Mostaganem.

Nemar F., Dilmi Bouras A ., Koiche M et Assal N-E. *Potato starch incorporation in bread manufacture*. Séminaire International sur les Sciences Alimentaires (SISA). 14-16 Octobre 2014. INATAA, Constantine.

Nemar Fawzia, Dilmi Bouras Abdelkader et Assal Nasser-Eddine. *Potentiel nutritionnel et de panification d'une farine à pourcentage élevé en fécules de pomme de terre*. Salon National de la Valorisation des Projets Nationaux de Recherche, les 07– 08 Avril 2014, Centre de Conventions, Oran.

Dilmi Bouras Abdelkader, **Nemar Fawzia** et Assal Nasser-Eddine. *La fécule de pomme de terre comme substitut de l'amidon de céréales dans la fabrication de pain*. Salon National de la Valorisation des Projets Nationaux de Recherche, les 07– 08 Avril 2014, Centre de Conventions Oran.

Exposition des résultats dans trois salons

- 4^{ème} Salon International de l'Agro-Alimentaire, le 5, 6 et 7 Février 2013 au Centre des Conventions du Méridien d'Oran;
- Grande Exposition de l'Agriculture et du Développement Rural, 18 – 24 Février, 2013, Alger : par la dégustation des pains et autres produits issus de la farine à 80 % de fécules de pomme de terre;
- Plusieurs articles dans les journaux nationaux (Quotidien d'Oran, Liberté, El-Khabar, El-Watan, El-Moudjahid...);
- Interviews à la chaîne 1, chaîne 3 et Canal-Algérie;

- Réalisation d'un film par l'ENTV, dans notre laboratoire et fabrication en directe de notre pain, passage du film aux différentes chaînes de télévision algériennes.
- Participation au Salon National de la Valorisation des Projets Nationaux de Recherche les 07 et 08 Avril 2014 ;
- Prix du meilleur Doctorat innovant 2014 au Salon National de la Valorisation des Résultats de Projets Nationaux de Recherche, Centre de convention d'Oran.

Liste des publications internationales

Proceeding internationaux

Nemar F., Dilmi Bouras A., Koiche M., Prodhomme J. et Assal N-E. *Quality Of Potato Starch Bread*. 7-9 Juin, ISITES 2013, Sakarya, Turkey.

Koïche M, Dilmi Bouras A, **Nemar F.**, Kassoul S., Saiahhabbaze A., and Kheddia H. *Manufacture of a bread containing potato starch and whole potato to replace the cereals bread and study of its behavior during the conservation*. May 27-28, Biological and Environmental Engineering (CBEE-2014), Istanbul, Turkey.

Publication Internationale

Nemar F., Dilmi Bouras A., Koiche M., Assal N-E., Mezaini A and Prodhomme J. bread quality substituted by potato starch instead of wheat flour. *Ital. J. Food Sci.*, 27: 3, p. 345-350, sep. 2015. Available at: <<http://www.chirotteditori.it/ojs/index.php/ijfs/article/view/277>>

Liste d'Abbreviations

% : Pour cent

°C : Degré Celsius

Cm³ : Centimètre cube

g : Gramme

h : Heure

ha : Hectare

kg : Kilogramme

km : Kilomètre

m : Mètre

min : Minute

mL : Millilitre

mm : Millimètre

µg : Microgramme

µm : Micromètre

nm : Nanomètre

Liste des tableaux

Tableau I: Taxonomies de la pomme de terre(Acquaah, 2007).....	03
Tableau II: Classification des espèces sauvages de pomme de terre « <i>Solanum</i> » faite Hawkes (1990) et Spooner et Salas (2006)(Bradshaw and Bonierbale, 2010).....	04
Tableau III : Teneur (pour 100g) en vitamines et minéraux des pommes de terre (Bonierbaleet <i>al.</i> , 2010).....	05
Tableau IV: Les principaux pays producteurs de pomme de terre (FAOSTAT, 2015)	06
Tableau V : Production de pommes de terre en l’Algérie 2007-2013(FAOSTAT, 2015).....	07
Tableau VI: Les principaux pays consommateurs de pomme de terre, par région, 2005 FAOSTAT (2015).....	08
Tableau VII : Composition moyenne de pomme de terre féculière(Rousselle et <i>al.</i> , 1996).....	09
Tableau VIII : Composition et caractéristiques de fécule de pomme de terre, amidon de maïs et de farine(Grommers et Krogt, 2009).....	12
Tableau IX: Taxonomies de blé tender(Feillet, 2000).....	14
Tableau X: Production de blé dans le monde 2010-2013 (FAOSTAT, 2015).....	15
Tableau XI: Production de blé en Algérie 2009-2013 (FAOSTAT, 2015).....	16
Tableau XII : Évolution de la production et de la consommation mondiale de céréales (millions de tonnes)(FAO, 2015).....	17
Tableau XIII : Consommation de pain et de semoule selon la strate d’habitat (en Kg/Habitant/An) (Bencharifet <i>al.</i> , 1996).....	18
Tableau XIV : Estimation de consommation de blé en Algérie (en Kg/Habitant) (FAPRI, 2012).....	18
Tableau XV : Composition chimique de grain de blé (en pourcentage de grain humide) (Godon et Willm, 1991).....	19
Tableau XVI: Correspondances entre taux d’extraction et types de farines homologuées(Chene, 2001).....	20
Tableau XVII : Les agents de fermentation et leurs rôles dans la panification (Larpent, 1990).....	23
Tableau XVIII: Exemples de produits d’addition utilisés dans la fabrication des produits de panification(Lassoued, 2005)	25

Tableau XIX: Composition nutritionnels de certains types de pain(Bourre <i>et al.</i> 2008)	27
Tableau XX : Rapport de mélange (%) de farine de blé et la féculé de pomme de terre	36
Tableau XXI : Formulation des pâtes Témoins.....	46
Tableau XXII : Les caractéristiques boulangères des farines composites.....	56
Tableau XXIII : Caractéristiques rhéologiques des farines composites : féculé de pomme de terre / farine de blé avec (+) ou sans (/) ajout de gluten vital	58
Tableau XXIV: Influence du taux de substitution de la féculé de pomme de terre sur les caractéristiques rhéologiques des pâtes de farines utilisées.....	62
Tableau XXV : Influence du taux de substitution la féculé de pomme de terre sur la qualité organoleptique du pain.....	66
TableauXXVI: Influence du taux d'incorporation de gluten vital sur les caractéristiques rhéologiques des pâtes de farines utilisées.....	69
Tableau XXVII : Influence de l'ajout d'améliorant sur le comportement de la pâte et du pain à la féculé de pomme de terre.....	74
Tableau XXVIII : Composition nutritionnelle des pains.....	82
Tableau XXIX : Conservation des meilleurs pains à l'air libre.....	85
Tableau XXX : Conservation des meilleurs pains à la réfrigération.....	85

Liste des figures

Figure 1 : Les étapes de fabrication de la fécule de pomme de terre (Grommers et Krogt, 2009).....	09
Figure2 : Représentation schématique de l'évolution de la taille et de la forme (de sphérique à polyédrique) des cellules gazeuses dans une pâte en cours de fermentation (Adapté de Bloksma, 1990b et Van Vliet <i>et al.</i> , 1992).....	30
Figure 3 : Etuve CHOPIN.....	37
Figure 4 : FallingNumber 1500.....	40
Figure 5 : Alveographe Chopin.....	43
Figure 6 : Diagramme de préparation de pâte pour le test alvéographique.....	44
Figure 7 : Pétrin(Clartonic, Allemand).....	46
Figure 8 : Les étapes de panification.....	48
Figure 9 : Bulle d'air de l'Alveographe des farines utilisées (avec gluten).....	59
Figure 10 : Aspect de la pâte après pétrissage et après fermentation.....	63
Figure 11 : Influence des taux d'incorporation de la fécule de pomme de terre sur le profil de rétention de gaz de pâte.....	65
Figure 12 : Aspect extérieur des pains à la fécule de pomme de terre.....	67
Figure 13 : Aspect de la mie des pains à la fécule de pomme de terre.....	67
Figure 14 : Aspect de la pâte après le pétrissage.....	73
Figure 15 : Déchirement de la pâte.....	74
Figure 16 :L'effet d'améliorant sur l'activité fermentative de quelques formules.....	77
Figure 17 : Aspect du pain aux différentes formules.....	78
Figure 18 : Développement des coups de lame.....	78
Figure 19 : Aspect de la croûte selon différentes formules.....	79
Figure 20 : Aspect de la mie de différent pain à la fécule de pomme de terre en fonction de variation de gluten comparativement de celle de témoin.....	80
Figure 21 : Aspect de la croûte de la formule F22 + améliorant.....	81
Figure 22 : Aspect de la mie de la formule F 22 et la F 14 par l'ajout de l'améliorant....	82
Figure 23 : Appréciation de la qualité organoleptique du pain à 80% fécule de pomme de terre et 100% de farine de blé préparé dans la boulangerie.....	83

Table de matières

Liste des travaux réalisés dans le cadre de la thèse (Publications et Communications)

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

Partie Bibliographique

I. Pomme de Terre

1. Généralités.....	03
1.1. Systématique	03
1.2. Origine géographique	04
2. Composition et valeur nutritionnelle	05
3. Production.....	06
3.1. Dans le monde	06
3.2. En Algérie	07
4. Consommation	07
4.1. Dans le monde	07
4.2. En Algérie	08
5. Fécule de pomme de terre	08
5.1. Méthode de fabrication	09
5.2. Caractéristiques.....	11
5.3. Utilisation	13

II. Composition des produits de panification

1. Céréale (blé tendre)	14
1.1. Généralités.....	14
1.1.1. Systématique	14
1.1.2. Origine géographique	14

1.2. Production	
1.2.1. Dans le monde	15
1.2.2. En Algérie	16
1.3. Consommation	
1.3.1. Dans le monde	16
1.3.2. En Algérie	17
1.4. Composition chimique et valeur nutritionnelle	18
1.5. Farine de blé	19
1.5.1. Classification selon le taux d'extraction et taux de cendres.....	19
1.5.2. Principaux composants de la farine	20
➤ L'amidon	20
➤ Les protéines	21
➤ L'eau.....	22
➤ Les matières minérales	22
➤ Les lipides.....	22
2. Les Agents de fermentation	22
2.1. La Levure boulangère.....	22
2.2. Les Levains.....	22
2.3. La Poolish.....	23
3. L'Eau	23
4. Le Sel	24
5. Les Matières grasses	24
6. Le Sucre	24
7. Les Produits d'addition	24

III. Pain et Panification

1. Valeur nutritionnelle du pain	26
2. Les différents types du pain	27
3. Processus de panification	28
3.1. Pétrissage	28
3.2. Pointage.....	29
3.3. Opérations mécaniques.....	30
3.4. Apprêt	30

3.5. Cuisson.....	31
3.6. Refroidissement ou ressuage.....	32

Partie Expérimentale

I. Matériel et méthodes

1. Matériel.....	35
2. Caractéristiques technologiques des différentes farines et pains composites.....	36
2.1. Formules de l'étude.....	36
2.2. Tests de base.....	37
2.2.1. Teneur en eau.....	37
2.2.2. Teneur des cendres.....	37
2.2.3. Teneur en protéines (N x 5.7)	37
2.2.4. Teneur en matière grasse	39
2.2.5. Teneur en glucide.....	39
2.3. Analyses technologiques.....	40
2.3.1 Détermination de l'activité alpha-amylasique.....	40
2.3.2 Détermination du gluten	41
2.3.3 Détermination de l'acidité totale titrable (ATT).....	42
2.4. Appréciation du comportement rhéologique des formules de l'étude par l'alvéographe	43
CHOPIN.....	
3. Evaluation de la qualité du pain composite	
3.1. Essai de panification.....	46
3.1.1 Formule	46
3.1.2 Préparation des pâtes.....	47
A. Pétrissage	47
B. Mise en forme et façonnage.....	47
C. Cuisson.....	47
D. Refroidissement.....	47
3.2. Appréciation de la qualité du pain composite.....	49
3.2.1 Appréciation des qualités de la pâte.....	49
3.2.2 Appréciation de la qualité organoleptique du pain.....	51

A) Aspect du pain.....	51
B) Coup de lame.....	51
C) Aspect de la mie.....	52
D) Caractéristiques de la saveur.....	53
3.4. Conservation du pain.....	53
4. Evaluation sensorielle du pain.....	53
5. Analyse statistique.....	55

II- Résultats et discussion

1. Caractéristiques technologiques des farines	
1.1. Humidité.....	56
1.2. Teneur des cendres	57
1.3. Teneur en gluten	57
1.4. Indice de chute.....	58
1.5. Caractéristiques rhéologique des formules par l'alvéographe.....	58
2. Essai de panification en mélange	
2.1. Caractéristiques rhéologiques de pâte.....	61
2.2. Caractéristiques organoleptiques du pain.....	65
3. Influence du taux de gluten vital et d'améliorant sur les différents pains.....	68
3.1. Influence du taux d'incorporation de gluten et d'améliorant sur les caractéristiques rhéologiques des pâtes et des pains.....	68
3.3.1. Caractéristiques rhéologiques des pâtes.....	68
A) En fonction de la teneur en gluten.....	68
➤ Au cours de pétrissage.....	71
➤ Pointage et fermentation.....	72
➤ Façonnage.....	72
B) En fonction d'améliorant de panification.....	73
3.3.2. Caractéristiques du pain.....	77
A) En fonction du gluten.....	77
➤ Aspect du pain.....	77
➤ Les coups de lame.....	78
➤ La croûte.....	79
➤ La mie.....	80

B) En fonction d'améliorant de panification.....	81
3.2.Evaluation de la qualité nutritionnelle des pains.....	82
3.3.La qualité organoleptique des pains à 80% de fécule de pomme de terre.....	83
➤ Couleur et Texture de la mie.....	83
➤ Flaveur et goût du pain.....	84
➤ Flaveur et goût du pain.....	84
➤ Acceptabilité.....	84
4. Conservation du pain.....	84

Conclusion

Références bibliographiques

Publication

Annexes

INTRODUCTION

De nos jours, malgré le développement technologique et industriel, les produits de boulangerie représentent toujours une importante portion de l'industrie alimentaire avec son large volume de production et ses nombreux employés.

Traditionnellement le pain est à base de farine de blé provenant de la céréale. Cette dernière est la culture la plus populaire au monde. La production mondiale est de 722 millions tonnes en 2015 (FAOSATAT, 2015). Dans les pays en développement, la croissance de la demande de céréales a été plus rapide que celle de la production (FAO, 2002). L'Algérie est le deuxième importateur en Afrique, avec un 3,5 milliards de Dollars pour l'année 2014 et plus de 940 millions de Dollars au 1er trimestre 2015.

L'Algérie est donc confrontée à un problème de dépendance extérieure. Le défi est de travailler à réduire les recettes engendrées par les importations de céréales. La pomme de terre semble être l'un des substituts les plus prometteurs dans la fabrication du pain. Donc, sa culture peut constituer une alternative, puisqu'elle occupe la quatrième place mondiale, après le blé, le riz et le maïs, avec une production annuelle mondiale d'environ 4400000 tonnes (FAOSTAT, 2015). Le rendement de la pomme de terre est beaucoup plus supérieur à celui du blé, il est respectivement de 20 tonnes et de 1.5 tonnes par hectare (Kechid, 2005).

Parmi les nombreux produits transformés, la fécule de pomme de terre est l'une des plus anciennes. Elle constitue une matière première importante dans l'industrie alimentaire en raison de ses propriétés recherchées. Ces dernières avec la composition varient en fonction de l'environnement et des génotypes de la pomme de terre (Lovedeep et *al.*, 2002 ; Zaidul et *al.*, 2007).

La fécule de pomme de terre est largement utilisée dans les domaines alimentaires et non alimentaires (papier, carton, textiles, industries minières, de forage, adhésifs, etc). A l'origine, elle était produite pour la panification, en l'ajoutant à la farine de céréales (Rousselle et *al.*, 1996 ; Vasanthan et *al.*, 1999 ; Singh et *al.*, 2003). L'ajout de petites quantités de fécule de pommes de terre aide à conserver la fraîcheur du pain et confère également un caractère distinctif, saveur agréable et qualités de grillage amélioré (Yanez et *al.*, 1981 ; Willard et Hix, 1987).

Ce travail a pour but de préparer un pain, avec un pourcentage élevé de fécule de pomme, ayant des propriétés nutritionnelles et organoleptiques proches ou identiques au pain ordinaire de farine de blé.

Partie Bibliographique

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I. POMME DE TERRE

1. Généralités

1.1. *Systématique*

La pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) appartient à la famille des solanacées (Tableau I). Le genre *Solanum* regroupe environ 2000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses et sont réparties en 21 séries taxonomiques, ces séries sont présentées dans le Tableau II (Hawkes, 1990 ; Rousselle et *al.*, 1996).

Le centre de variabilité maximal de ces espèces se situe au cœur des Andes (Pérou, Bolivie), où plus de 100 espèces sauvages ont été détectées, et où l'on connaît plus de 400 cultivars de pomme de terre indigènes (Rousselle *et al.*, 1996).

Tableau I: Taxonomies de la pomme de terre

Taxonomie	
Royaume	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Superdivision	Spermatophyta
Division	Magnoliophyta
classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Commander	Solanales
famille	Solanaceae
genre	<i>Solanum L.</i>
espèces	<i>Solanum tuberosum L.</i>

Source : Acquah (2007)

L'ensemble de ces espèces forme un groupe ayant un nombre chromosomique de base 12 et allant du niveau diploïde ($2n = 24$) au niveau pentaploïde ($2n = 60$), (Rousselle et *al.*, 1996).

La pomme de terre est cultivée dans plus d'une centaine de pays au climat tempéré, subtropical ou tropical. Elle pousse surtout dans les régions au climat tempéré frais, la température étant le principal facteur limitant de la production : le développement du

tubercule est fortement inhibé quand les températures sont inférieures à 10°C et supérieures à 30°C. Le rendement optimal est obtenu quand les températures diurnes moyennes sont comprises entre 18°C et 20°C (FAO, 2009).

Tableau II: Classification des espèces sauvages de pomme de terre « *Solanum* » faite Hawkes (1990) et Spooner et Salas (2006)

Superseries	Series	Species numbers	Ploidy	EBN	Area ^a	Plastid clade	
<i>Superseries Stellata</i>							
I	<i>Morelliformia</i>	1	2x	1	Mex	1	
II	<i>Bulbocastana</i>	2	2x	1	Mex	1	
	<i>S. bulbocastanum</i>		2x	1	Mex	2	
III	<i>Pinnatisecta</i>	11	2x	1	Mex	1	
	<i>S. cardiophyllum</i>		2x	1	Mex	2	
IV	<i>Polyadenia</i>	2	2x	1	Mex	1	
V	<i>Commersoniana</i>	2	2x	1	SA	4	
VI	<i>Circaeifolia</i>	3	2x	1	SA	4	
VII	<i>Lignicaulia</i>	1	2x	1	SA	4	
VIII	<i>Olmosiana</i>	1	2x	1	SA	4	
IX	<i>Yungasensa</i>	9	2x	2	SA	4	
	<i>S. chacoense</i>		2x	2	SA	4	
<i>Superseries Rotata</i>							
X	<i>Megistacroloba</i>	11	2x	2	SA	4	
	<i>S. megistacrolobum</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. raphanifolium</i>		2x	2	SA	4	
XI	<i>Cuneocalata</i>	3	2x	2	SA	4	
XII	<i>Conicibaccata</i>	40	2x, 4x, 6x	2,2,4	SA, Mex	4	
XIII	<i>Piurana</i>	15	2x, 4x	2	SA	3	
XIV	<i>Ingifolia</i>	2	2x	2	SA	4	
XV	<i>Maglia</i>	1	2x	2	SA	4	
XVI	<i>Tuberosa</i>	96	2x, 4x	2	SA	4	
	<i>S. brevicaule</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. bukasovii</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. canasense</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. leptophyes</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. multidissectum</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. sparsipilum</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. spegazzinii</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. vernei</i>		2x	2	SA	4	
	<i>S. verrucosum</i>		2x	2	Mex	4	
	XVII	<i>Acaulia</i>	4	4x, 6x	2,4	SA	4
		<i>S. acaule</i>		4x	2	SA	4
XVIII	<i>Longipedicellata</i>	7	4x	2	Mex	4	
	<i>S. stoloniferum</i>		4x	2	Mex	4	
XIX	<i>Demissa</i>	8	6x	4	Mex	4	
	<i>S. demissum</i>		6x	4	Mex	4	

^aSA = South America; Mex = Southwestern USA, Mexico, and Central America.

Source: Bradshaw and Bonierbale (2010)

1.2. Origine géographique

Les différentes pommes de terre cultivées sont originaires d'Amérique du Sud, et plus précisément de la cordillère des Andes (Rousselle et al., 1996 ; NeBambi et Prakash, 2010).

Les plus anciens restes de tubercules de pommes de terre et de patates douces datent de 8000 ans avant Jésus-Christ. Ils ont été retrouvés dans des grottes du canyon Chilca au Pérou.

La pomme de terre est introduite en Europe vers la fin du XVIème siècle à la suite de la découverte de l'Amérique par les conquistadors espagnols, elle s'est rapidement diffusée dans le monde et est aujourd'hui cultivée dans plus de 150 pays (FAO, 2008). En Algérie, elle a été introduite avec d'autres cultures en 1856 (Amirouche, 2008).

2.Composition et valeur nutritionnelle

La pomme de terre est un aliment énergétique riche en glucides (18%), pauvre en lipides (moins de 1 %) et sa teneur en protéines est très élevée par rapport aux autres racines et tubercules. Elle est une bonne source de vitamines (B1, B3 et B6...) et de sels minéraux (potassium, phosphore et magnésium) (tableau III) (Rousselle, 1996 ; Nyabyenda, 2005 ; Bonierbale, et *al.*, 2010).

Tableau III : Teneur (pour 100g) en vitamines et minéraux des pommes de terre

Constituant	Teneur moyenne	Minimum	Maximum
Eau (g)	49	33,6	65,4
Magnésium (mg)	28,1	26	33
Phosphore (mg)	111	96	129,48
Potassium (mg)	550	451	710
Calcium (mg)	12,3	9,3	15
Manganèse (mg)	0,21	0,2	0,25
Fer total (mg)	0,9	0,73	1,26
Cuivre (mg)	0,21	0,13	0,34
Zinc (mg)	0,59	0,38	1,03
Sélénium (µg)	0,27	0,005	0,4
Iode (µg)	14,3	7	29
Bêta-carotène (µg)	3	-	-
Activité vitaminique E (en équivalents alpha-tocophérol) (mg)	0,19	-	-
Vitamine C (mg)	13,3	-	-
Vitamine B1 ou Thiamine (mg)	0,12	-	-
Vitamine B2 ou Riboflavine (mg)	0,03	-	-
Vitamine B3 ou PP ou Niacine (mg)	2,22	-	-
Vitamine B5 ou Acide pantothénique (mg)	0,52	-	-
Vitamine B6 ou Pyridoxine (mg)	0,18	-	-
Vitamine B9 ou Folates totaux (µg)	28	-	-

Source : Bonierbale *et al.* (2010)

3. Production

La pomme de terre occupe la quatrième place mondiale, après le blé, le riz et le maïs, avec une production annuelle d'environ 300 millions de tonnes (CIP, 2008). Au cours de la dernière décennie, la production de pommes de terre a diminué dans les pays développés, mais elle a augmenté dans les pays en voie de développement et les nouvellement industrialisés (FAO, 2008).

3.1. Dans le monde

La production mondiale de pommes de terre qui était en augmentation sensible mais constante depuis les années 80, s'est stabilisée depuis le début des années 2000 (Fabian *et al.*, 2012). Entre 2012 et 2013, on note une légère augmentation de production au niveau mondial ainsi que des surfaces cultivées (FAOSTAT, 2015).

La Chine est devenue le premier producteur mondial de pommes de terre avec une production de 88.99 millions suivi par l'Inde 45.34 et la Russie 30.20 (Tableau IV) (FAOSTAT, 2015).

Tableau IV : Les principaux pays producteurs de pomme de terre

Production (milliers de tonnes) Pays	2009	2010	2011	2012	2013
Chine	73.28	81.59	88.35	87.32	88.99
Inde	34.39	36.57	42.33	41.48	45.34
Russie	31.13	21.14	32.68	29.53	30.20
Ukraine	19.66	18.70	24.25	23.25	22.26
Etats-Unis	19.62	18.34	19.49	20.99	19.84
Allemagne	11.62	10.20	11.80	10.66	9.67
Pologne	9.70	8.76	8.20	9.09	6.33
Pays-Bas	7.18	6.84	7.33	6.76	6.80
France	7.25	6.62	7.44	6.34	6.97

Source : FAOSTAT (2015)

3.2. En Algérie

La pomme de terre est surtout cultivée sur la côte méditerranéenne, qui jouit d'un climat tempéré propice à sa culture tout au long de l'année. On en trouve aussi à 500 mètres, sur les montagnes et les vallées entre la côte et les monts Atlas ainsi que sur les hauts plateaux (FAO, 2008). 100 000 ha sont réservés annuellement à la production de la pomme de terre, soit 27 % de la superficie totale consacrée aux cultures maraîchères.

La production de pomme de terre à évoluer dans les années 2000, elle a augmenté de 1.51 milliers de tonnes en 2007 à 44 milliers de tonnes durant l'année 2013 (Tableau V).

Tableau V : Production de pommes de terre en l'Algérie, 2007-2013

	Surface Cultivée (Ha)	Rendement (Hg/Ha)	Production (tonnes)
2007	79339	189927	1506859
2008	91841	236393	2171058
2009	105121	250764	2636057
2010	121996	270526	3300312
2011	131903	292806	3862194
2012	138666	304291	4219476
2013	140000	314286	4400000

Source : FAOSTAT (2015)

4. Consommation

4.1. Dans le monde

La pomme de terre est l'un des légumes les plus consommés dans le monde (Tableau VI). Selon la FAO, on compte plus d'un milliard de consommateurs au niveau mondial. Elle est peu à peu devenue un aliment de base dans de nombreux pays (FAO, 2008).

L'Asie consomme près de la moitié des pommes de terre produites dans le monde, mais comme elle est très peuplée, la consommation par habitant reste modeste : 24 kg en 2005. Les plus gros consommateurs de pommes de terre sont les Européens. La consommation de l'Afrique et de l'Amérique latine est moins élevée, mais elle est en perpétuelle augmentation (FAO, 2008).

Tableau VI: Les principaux pays consommateurs de pomme de terre, par région, 2005

Population		Consommation	
		Total (tonnes)	Kg / habitant
Afrique	904 388 000	12 571 000	13,9
Asie et Océanie	3 934 644 000	94 038 000	23,9
Europe	739 203 000	64 902 000	87,8
Amérique latine	562 270 000	11 639 000	20,7
Amérique du Nord	330 400 000	19 824 000	60,0
MONDE	6 484 792 000	202 974 000	31,3

Source: FAOSTAT (2008)

4.2. En Algérie

La pomme de terre est l'un des produits les plus importants dans l'alimentation de la population algérienne, elle occupe la deuxième place après le blé (60 kg habitant/an). La consommation annuelle, qui était de 35 kg/par habitant en 1990, est passée à 57 kg en 2005. Elle revête un intérêt particulier sur le plan socio-économique et constitue un produit de base dans la consommation des ménages algériens (FAO, 2008).

Actuellement, en Algérie l'augmentation des rendements agricoles principalement de la pomme de terre ne peut être réalisée que par l'amélioration des techniques culturales, le conditionnement par récolte, la maîtrise des procédures d'entreposage pour atteindre le niveau d'autosatisfaction en cette denrée de première nécessité et de valeur économique (Samantha, 2009).

5. Fécule de pomme de terre

Parmi tous les polymères glucidiques, l'amidon connaît actuellement une attention accrue en raison de son utilité dans différents produits alimentaires (Singh et al., 2009). Les principales sources d'amidon sont le maïs, le blé et la pomme de terre. Il faut 5 tonnes de pomme de terre (0.14 ha) ou 1.6 tonne de maïs (0.23 ha) ou 1.8 tonne de blé (0.33 ha) pour produire 1 tonne d'amidon (Rousselle et al., 1996).

L'amidon est présent sous forme de granules distincts dans les cellules végétales et se compose principalement de deux polymères: l'amylose et l'amylopectine (Singh et al., 2009).

La teneur en amylose de la féculé de pommes de terre est de 23 à 31% pour les pommes de terre non modifiées génétiquement (Singh et *al.*, 2009). La féculé est chimiquement un amidon, selon l'usage, le terme d'amidon est réservé aux céréales (amidon de blé, de maïs et de riz). Le terme féculé s'applique lorsque l'organe de réserve de la plante est une racine ou tubercule (Rousselle et *al.*, 1996).

La production totale de féculé de pomme de terre est faible par rapport à la quantité totale d'amidon produit dans le monde (Grommers et Krogt, 2009). La composition de pomme de terre féculière est résumée dans le Tableau VII.

Tableau VII : Composition moyenne de pomme de terre féculière (%)

Féculé anhydre	
Fibre : cellulose et analogues	17.0
Protéine	1.4
Sucre soluble	0.3
Protéines N× 6.25	2.6
Acides organiques et divers	0.3
Matières minérales	1.1
Eau	77.3

Source : Rousselle et *al.* (1996).

5.1.Méthode de fabrication

La fabrication de la féculé est saisonnière : elle se déroule sur environ sept mois, de la mi-août à la mi-février. Lors de la réception des pommes de terre à l'usine, un échantillon est prélevé afin de déterminer la richesse féculière du lot (Grommers et Krogt, 2009). Une tonne de pommes de terre féculières donne en moyenne 150 Kg de féculé et 20 à 30 Kg de pulpes sèches (Lévêque et *al.*, 2000).

Les pommes de terre sont ensuite acheminées vers un épierreur et un laveur, équipé d'un affaneur. Après lavage, elles sont râpées, opération qui a pour but de libérer une partie de l'amidon par la destruction des tissus. La râpée est débarrassée de son eau, appelée " jus de pomme de terre ", par centrifugation, puis entraînée dans un bac de décantation où l'amidon est séparé de la pulpe par un courant d'eau traversant des tamis. La pulpe recueillie est soumise à un second râpage et subit une nouvelle extraction (Grommers et Krogt, 2009).

Ensuite, les jus de pomme de terre est séparés de pommes de terre moulus, et puis la féculé de pomme de terre et les fibres sont séparés et séchée pour être livrée (figure 1) (Grommers et Krogt, 2009).

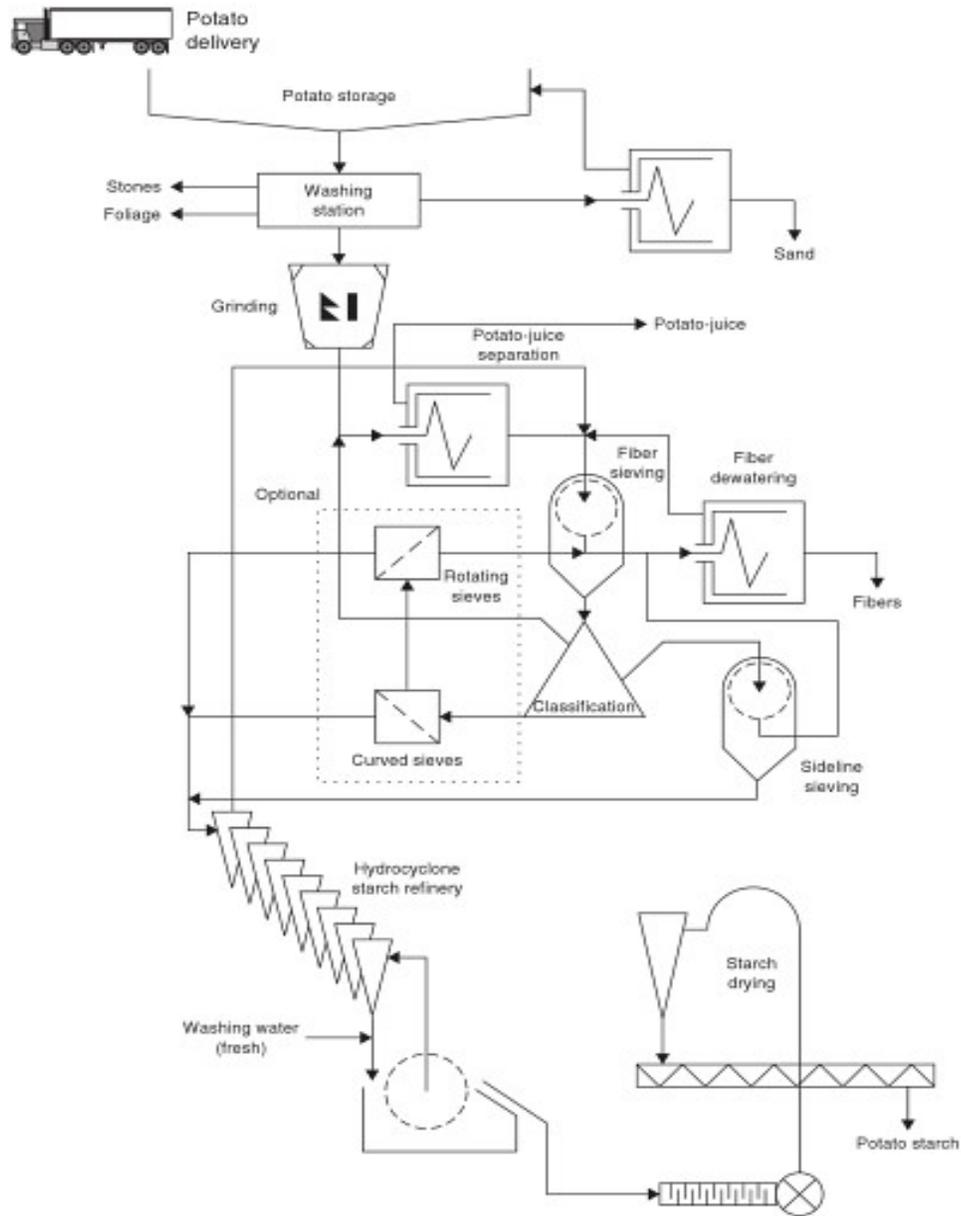


Figure 1 : Les étapes de fabrication de la féculé de pomme de terre (Grommers et Krogt, 2009).

5.2. Caractéristiques

La féculé de pomme de terre est une matière première importante dans l'industrie alimentaire en raison de ses propriétés souhaitables, où sa composition et ses propriétés varient en raison des génotypes et de l'environnement de la pomme de terre (Vasanthan et *al.*, 1999 ; Lovedeep et *al.*, 2002 ; Zaidul et *al.*, 2007).

Elle est composée d'un mélange de deux polysaccharides, une fraction linéaire, l'amylose, et une fraction très ramifiée d'amylopectine. La teneur en amylose est entre 15 à 25% pour la plupart des amidons et contient, généralement, 0,01 à 0,6% (p / p) de phosphore dont il est présent comme monoesters de phosphate et de phospholipides (Tableau VIII). Les propriétés physicochimiques de la féculé de pomme de terre sont influencées par la teneur en amylose et en amylopectine, poids moléculaire et sa distribution, la longueur de chaîne et sa distribution, et la teneur en phosphore (Liu et *al.*, 2009 ; Singh et *al.*, 2009).

Selon Vasanthan et *al.*(1999) et Yusuph et *al.* (2003), la féculé de pomme de terre est unique par rapport aux autres amidons (maïs, blé, riz, etc). Cette singularité est due à :

- grande taille des grains ;
- la pureté ;
- la teneur en amylose et à la longueur de la chaîne d'amylopectine ;
- la présence de groupes ester de phosphate sur l'amylopectine ;
- la capacité d'échanger certains cations avec des effets correspondants au comportement de la viscosité ;
- la capacité de former un gel épais visco-élastique lors du chauffage et de refroidissement ultérieur dans l'eau, et une mauvaise stabilité thermique et de cisaillement de ce gel ;
- leur capacité à former des gels clair lors de gélatinisation (Adebowalea, et *al.*, 2005).

Tableau VIII : Composition et caractéristiques de la fécule

Composition et caractéristiques	Fécule de pomme de terre	Amidon de maïs	Farine
Forme de granules	ovale sphériques	Ronde polygonale	Ronde lenticulaire
Diamètre, gamme (µm)	5-100	2-30	0.5- 45
Diamètre, le nombre moyen (µm)	23	10	8
Diamètre, le poids moyen (µm)	45	15	25
Nombre de granules d'amidon par gramme ×10⁶	100	1300	2600
Quantité de substances du goût et d'odeur (amidon gélatinisé)	Faible	Élevé	Élevé
Nombre moyen de DP de l'amylose	4900	930	13000
Température collante (°C)	60-65	75-80	80-85
Brabender viscosité maximale *	3000	600	300
Le pouvoir de gonflement à 95 ° C	1153	24	21
Solubilité à 95°C	82	25	41
Viscosité de pâte d'amidon	très élevé	intermédiaire	faible
Texture de pâte	long	court	court
Clarté de pâte	clair	Opaque	Nuageux
La pâte, la résistance au cisaillement	faible	intermédiaire	intermédiaire
Pâte, taux de rétrogradation	intermédiaire	élevé	élevé
Clarté de film et brillance	élevé	faible	faible
Force de film	élevé	faible	faible
Flexibilité de film	élevé	faible	faible
Solubilité de film	élevé	faible	faible
* Moyen de point de viscosité Brabender (concentration de l'amidon de 5%) en unités Brabender			

Source : Grommers et Krogt (2009).

5.3. Utilisation

La fécule est largement utilisée dans les domaines alimentaires et non alimentaires (papier, carton, textiles, industries minières, de forage, adhésifs, etc). A l'origine, elle était produite pour la panification, elle était ajoutée à la farine (Rousselle et *al.*, 1996 ; Vasanthan et *al.*, 1999 ; Singh et *al.*, 2003).

L'ajout des petites quantités de fécule de pommes de terre aide à conserver la fraîcheur du pain et confèrent également un caractère distinctif, saveur agréable et l'amélioration des qualités de grillage (Yanez et *al.*, 1981 ; Willard et Hix, 1987).

Afin d'améliorer la fonctionnalité des amidons et d'obtenir des propriétés requises pour des utilisations spécifiques, les amidons natifs sont généralement modifiés (physiquement ou chimiquement) avant de les utiliser (Vasanthan et *al.*, 1999 ; Grommers et Krogt, 2009).

II.COMPOSITION DES PRODUITS DE PANIFICATION

1. Céréale (blé tendre)

1.1. Généralités

1.1.1. Systématique

Les céréales appartiennent à la famille des graminées monocotylédones, elles comportent 13 types dont les plus importantes sont le blé, le maïs et l'orge. Les céréales, à l'exception du maïs sont dioïques. Chaque fleur porte les organes mâles et les trois anthères (six dans le riz), et des organes femelles; l'ovaire qui porte deux stigmates plumeux. Ils jouent un rôle majeur dans l'alimentation des animaux et de l'humain (Morris et Bryce, 2000 ; Fredot, 2005).

Le blé est la culture la plus populaire au monde. Il est cultivé sur une grande surface. C'est une plante herbacée, monocotylédone qui appartient au genre *triticum* de la famille des graminées (Tableau IX). Les deux espèces qui dominent aujourd'hui la production sont : le blé tendre *Triticumaestivum* et le blé dur *Triticumdurum* (Paulsen et Shroyer, 2004).

Tableau IX: Taxonomies de blé tendre

Classification	Blé tendre
Règne	Plantae (Règne végétale)
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe S/Classe	Liliopsida (Monocotylédons)
Ordre	Commelinidae
Famille	PoalePoaceae (ex Graminées)
S/Famille	TriticeaeTritceae (Triticées)
Tribu	Triticinae
S/Tribu	<i>Triticum</i>
Genre Espèce	<i>Triticumaestivum</i> L.

Source : Feillet (2000)

1.1.2. Origine géographique

Le centre d'origine de blé est le Croissant Fertile qui diffusait vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen (l'Italie, la France et l'Espagne), et à travers des Balkans (chaîne montagneuse de la Bulgarie), puis en suivant la vallée du Danube (Ukraine,

Moldavie, Bulgarie, Roumanie, Serbie et Monténégro, Croatie, Hongrie, Slovaquie et Allemagne) pour arriver à la vallée du Rhin (Suisse, France, Allemagne et Pays-Bas) , entre environ 5000 et 6000 ans avant J.-C. Les restes archéologiques montrent que le blé atteint l'Ouest de l'Europe 5000 ans environ avant J.-C. Dans le même temps, il diffuse vers l'Asie et l'Afrique (Doussinault *et al.*, 2001).

1.2. Production

1.2.1. Dans le monde

Environ plus de 70% des surfaces ensemencées sont consacrées à la culture de céréales. Les céréales peuvent se croître dans les sols et les climats les plus variés et aussi peuvent être entreposées pendant de longues périodes et transportées sur des longues distances (Boudreau et Ménard, 1992).

Selon la FAO la production mondiale de céréales en 2014 dépassera de 1 pour cent le record de 2013. Elle constate également, que la production mondiale de blé devrait atteindre 722 millions tonnes en 2015, soit 2 millions de tonnes de plus que ce qu'annonçait la FAO dans ses premières prévisions de mars, mais cependant 1 % (5 millions de tonnes) en-dessous de l'estimation de l'année 2014.

Plus de 580 millions de tonnes sont produites annuellement sur 220 millions d'hectares, soit une moyenne de 2,66 tonnes/hectares (Tableau X). Les grains mûrs sont récoltés et une nouvelle culture est plantée quelque part dans le monde durant chaque mois de l'année.

Tableau X: Production de blé dans le monde 2010-2013

Région	Production (2010)	Production (2011)	Production (2012)	Production (2013)
Chine, continentale	115181000	117410000	120580000	121926400
Inde	80803600	86874000	94880000	93510000
États-Unis d'Amérique	60062410	54413310	61677387	57966658
Fédération de Russie	41507580	56239990	37719640	52090797
France	38207000	35994000	40300800	38613900
Pakistan	23310800	25213800	23473400	24211400
Canada	23166800	25261400	27205200	37529600
Turquie	19674000	21800000	20100000	22050000
Australie	22138000	27410076	29905009	22855576
Allemagne	24106743	22782700	2240900	25019100

Source : FAOSTAT (2015)

1.2.2. En Algérie

La production des céréales occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'hectares représentant 63% des emblavures (Djermoun, 2009). La production des deux variétés (tendre et dur) ne couvre que 30% des besoins du marché national qui est estimé à plus de 60 Millions de quintaux (Tableau XI).

Tableau XI: Production de blé en Algérie 2009-2013

Année	2009	2010	2011	2012	2013
Production (T)	2953117.0	2605178.0	2554926.0	3432231.0	3200000.0
Rendement (Hg/Ha)	15975	14838	15277	17639	16842
Surface cultivée (Ha)	1848575	1755728	1672431	1945776	1900000

Source : FAOSATAT (2015)

1.3. Consommation

1.3.1. Dans le monde

Au niveau mondial et durant la dernière décennie, la consommation a augmenté plus vite que la production (Tableau XII).

Selon la FAO (2015), les utilisations mondiales de céréales en 2014-2015 sont estimées de 17 millions de tonnes en plus de l'année précédente, pour s'établir à 2 493 millions de tonnes, soit 2,6 pour cent de plus que les estimations révisées de la saison précédente.

L'utilisation totale de blé devrait approcher les 711 millions de tonnes, 2,7% (19 millions de tonnes) de plus que le chiffre de 2013-2014. Une consommation accrue de blé pour l'alimentation animale dans l'Union européenne explique l'augmentation constatée en glissement annuel. La consommation de blé pour l'alimentation humaine, qui devrait augmenter de 1,1% (5 millions de tonnes) en 2014-2015 pour s'établir à 485 millions de tonnes, représente toujours le gros de l'utilisation de blé.

**Tableau XII : Évolution de la production et de la consommation mondiale de blé
(millions de tonnes)**

Années	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014 Estimation	2014/2015	
					Précédente (2 Mars)	Dernière (2 Avril)
Production	653.8	701.9	659.5	716.6	727.2	728.2
Disponibilités	853.6	897	857.9	896	905.9	920.8
Utilisation	659.4	692.3	683.5	691.9	703.8	710.9
Commerce	128	148.2	141.8	156.6	151	151.4
Stocks de clôture	195.1	198.3	179.4	192.7	198.6	204.9

Source : FAO (2015)

Si la consommation de céréales augmente plus vite que la production alors le déficit est directement pris sur les stocks mondiaux. A ce rythme, il y a risque d'épuisement des stocks mondiaux dans moins d'une dizaine d'années (Djaouti, 2010). Les pays en développement seront de plus en plus dépendante des importations de céréales. En 2030, ils pourraient produire seulement 86% de leurs propres besoins, avec des importations nettes s'élevant à 265 millions de tonnes annuellement, soit 14% de leur consommation, chaque année (FAO, 2002).

1.3.2. En Algérie

La filière céréale et dérivés constitue une des bases importantes de l'agro-alimentaire en Algérie. Nous observons une progression rapide de la consommation du blé tendre (pain, biscuiterie, pâtisserie) avec l'occidentalisation du modèle de consommation. L'orge et le maïs sont destinés principalement à l'alimentation animale (Tableau XIII).

La demande en céréale est d'environ 228 Kg par an et par habitant, soit environ 177 à 180 Kg par habitant en équivalent semoule et farine (Kellou, 2008).

Tableau XIII : Consommation de pain et de semoule selon la strate d'habitat (en Kg/Habitant/An)

Strates d'habitat	Pain	Semoule
Alger	78	51
Oran, Constantine, Annaba	77	72
Agglomération et commune de plus de 70 000 habitants	55	61
Agglomération et commune de 45 000 à 70 000 habitants	49	89
Agglomération et commune de 15 000 à 45 000 habitants	48	88
Agglomération et commune de moins de 15 000 habitants	30	101
Zone d'habitats dispersés	14	120

Source : Bencharifet *al.*(1996)

L'écart important entre le niveau actuel de la consommation et celui de la production nationale conduit l'Algérie à importer de grandes quantités de céréales : 11 millions de tonnes en 2011, dont 68% de blé, 29% de maïs et 3% d'orge. Pour le blé, il s'agit en moyenne de 5,8 millions de tonnes par an entre 2000 et 2012. Sur ce total, le blé tendre a représenté 56% et le blé dur 44%. Les importations de blé tendre sont régulièrement plus importantes du fait de l'évolution de la consommation et de la collecte localement (Tableau XIV) (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

L'Algérie a importé 12,3 millions de tonnes de céréales en 2014 pour une facture de 3,54 milliards de dollars, en hausse de 12 %, ont annoncé les Douanes citées par l'agence APS.

Tableau XIV : Estimation de consommation de blé en Algérie (en Kg/Habitant)

Années	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2014/2015	2014/2015
Consommation	251	249	251	251	251

Source : FAPRI (2012)

1.4. Composition chimique et valeur nutritionnelle

Les grains de blé se composent principalement d'hydrates de carbones (65-75 %), de protéines (7 à 14 % selon les variétés et les conditions de culture), de lipides (2-6 %), d'eau (12-14 %) et de micronutriments tels les minéraux (particulièrement magnésium), les

vitamines du groupe B, des composés bioactifs: vitamine E et des composants antioxydants (acides phénoliques, caroténoïdes) (Slavin *et al.*, 1999 ; Hemery *et al.*, 2007 ; Shewry, 2009) (Tableau XV).

Tableau XV : Composition chimique de grain de blé (en pourcentage de grain humide)

Produit	Eau	Amidon et petit glucide	Protéines	Lipides	Cellulose, Pentosanes Hémicellulose	Minéraux
Blé	14	65	12,5	1,7	4,9	1,9

Source : Godon et Willm (1991)

1.5. La farine de blé

La farine de blé est le produit élaboré à partir de grains de blé ordinaire, *Triticumaestivum L.* ou blé ramifié, *Triticumcompactum 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 (Codex Alimentarius, 1995).

Elle est l'ingrédient de base des produits de panification. Outre l'abondance de cette céréale. La farine est un composé complexe comportant différents constituants (protéines, lipides, sucres...) qui jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte. Son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte à retenir le gaz permettant, ainsi, son expansion lors de la cuisson (Gan *et al.*, 1995).

La farine est le produit de la mouture de l'amande du grain de blé tendre nettoyé et industriellement pur. Elle doit être de bonne qualité, satisfaisant à des conditions strictes d'humidification, de grosseurs des grains et de taux maximum d'impuretés.

1.5.1 Classification selon le taux d'extraction et taux de cendres

Le taux d'extraction indique la quantité de farine obtenue à partir de 100 kg de blé.

Ainsi, une farine dont le taux d'extraction est de 70 % est dite d'albumen car les couches externes du grain ont été éliminées ; il s'agit des farines classiquement utilisées en panification. Plus le taux d'extraction est élevé, plus la farine contient de minéraux.

C'est par la mesure du taux de cendres (calcination à 900°C selon la norme AFNOR VO3-720) qu'on détermine analytiquement le taux d'extraction d'une farine et ceci est à la base de la classification des farines en « type » (Tableau XVI).

Tableau XVI: Correspondances entre taux d'extraction et types de farines homologuées

Taux moyen d'extraction	Type	Taux de cendres de la farine (% ramené à la matière sèche)
67 %	45	0.5<%
75 %	55	De 0.5 à 0.6 %
78 %	65	De 0.62 à 0.75 %
80-85 %	80	De 0.75 à 0.9 %
85-90 %	110	De 1 à 1.2 %
90-98 %	150	> 1.4 %

Source : Chene (2001)

Il est important de noter que le type de la farine ne traduit pas son aptitude technologique. Par contre, plus le taux d'extraction est élevé, plus la farine a de saveur et plus elle contient d'éléments nutritifs permettant une meilleure fermentation.

La farine utilisée pour fabriquer du pain blanc de type 55 (taux d'extraction 74 %). On dit que cette farine est de bonne valeur boulangère (Landgraf, 2002; Fredot, 2005).

1.5.2. Les principaux composants de la farine

➤ *L'amidon*

L'amidon est un sucre complexe, de la famille des glucides, contenant du glucose et du maltose. Le maltose sert de nutriment à la levure, lors du processus de fermentation

L'amidon représente 70 % de la matière sèche des farines. Cette fraction glucidique est constituée de deux polymères de structures différentes, l'amylose et l'amylopectine (Alais et Linden 1997) :

- **L'amylose** : représente 26% à 28%, c'est une macromolécule linéaire constituée de D-anhydroglucopyranoses reliés par des liaisons α -D-(1→4), répartis en plusieurs chaînes.

L'une des extrémités de la chaîne porte un groupement pseudo-aldéhydique réducteur (Alais et Linden 1997). A l'intérieur du grain d'amidon, l'amylose se présente de façon désordonnée contrairement à l'amylopectine qui est à l'origine de l'état cristallin (French, 1984 ; Hermansson et Svegmarm, 1996).

- **L'amylopectine** : est le principal constituant glucidique de l'amidon de blé normal avec une fraction de 74%. C'est un homopolymère ramifié composé, d'environ de 10^6 unités de glucose par molécule (Chene, 2004). Sa structure arborescente est obtenue par l'association de résidus de D-anhydroglucopyranoses reliés entre eux par une liaison α -(1→4) en chaîne linéaire. Sur celles-ci, d'autres chaînes linéaires sont greffées par des liaisons α -(1→6).

L'amylose et l'amylopectine jouent chacun un rôle déterminant dans la fonctionnalité finale de l'amidon naturel et de ses dérivés : viscosité, résistance au cisaillement, gélatinisation, solubilité, pouvoir adhésif, ... Un lien a été établi entre de faibles teneurs en amylose, une viscosité à chaud élevée, une faible tenue de la viscosité à chaud et un faible pouvoir épaississant à froid de l'amidon de blé (Massauxet *al.* 2006).

➤ *Les protéines*

La teneur en protéines d'une farine est souvent avancée comme argument majeur de qualité. La teneur en protéines des farines de blé varie de 7 à 15%. Elle est en fonction de la teneur en protéines des blés mis en mouture, de la répartition de celles-ci dans le grain et du taux d'extraction de la farine par rapport au grain (Grandvoininnet et Praty, 1994). Deux types de protéines se distinguent : les protéines de structure (albumines et globulines) et les protéines de réserve (gliadines et gluténines réunies sous l'appellation prolamines). Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (Bloksma, 1990b). Les propriétés fonctionnelles du gluten sont liées à la gliadine pour l'extensibilité et aux gluténines pour l'élasticité.

Le gluten est formé de la fraction, insoluble dans l'eau, des protéines contenues dans la farine ; est un réseau protéique constitué essentiellement de gliadines et de gluténines associées par des liaisons covalentes (S-S) et non covalentes (hydrogène, ionique) et des interactions hydrophobes. La pâte a des propriétés d'élasticité et de ténacité qui dépendent de la nature des protéines et des interactions complexes entre celles-ci (Fredot, 2005).

➤ *L'eau*

Quantitativement, l'eau est le deuxième constituant de la farine. Connaître la teneur en eau permet de vérifier la conformité à la réglementation. Elle ne doit pas dépasser 16%. Au-delà, il y a risque d'altération de la farine (Fredot, 2005).

➤ *Les matières minérales*

Les matières minérales n'ont pas de valeur technologique, elles ne jouent aucun rôle lors de la fabrication du pain, elles présentent un intérêt nutritionnel. Le calcium est de l'ordre de 16mg/100g, le phosphore 120mg/100g et le fer 1,2 mg/100g (Fredot, 2005).

➤ *Les lipides*

Les lipides représentent environ jusqu'à 2% de la matière sèche de la farine ou de la semoule de blé (Fredot, 2005). Ils sont présents sous la forme d'acide gras, de triglycérides, de phospholipides, de stérols, de sphingolipides ou de tocophérols (Dupin et al., 1992).

2. Les agents de fermentation

2.1. La levure boulangère

La levure de boulangerie est un champignon microscopique unicellulaire, *Saccharomyces Cerevisiae* (tableaux XVII). Elle a la particularité de pouvoir vivre en présence ou en absence d'air : ces deux processus énergétiques sont la respiration et la fermentation alcoolique. Cette dernière permet la levée de la pâte par le dégagement de CO₂. *Saccharomyces Cerevisiae* se nourrit de glucose et de fructose (Guiraud, 2003 ; Annick, 2007).

La levure est essentiellement utilisée en panification à une quantité de 1 à 2,5% du poids de la farine. Elle est l'un des principaux responsables du goût du pain. Elle produit, lors des fermentations qu'elle génère, des composés aromatiques que nous retrouvons dans le pain (Brochoire, 2003).

2.2. Les levains

Un levain est un agent fermentatif dont l'activité levurienne est significative pour assurer le développement du pain. C'est une pâte particulière préparée à partir de levures sauvages (non sélectionnées, comme *Saccharomyces candida*) et de bactéries présentes dans les

matières premières utilisées et dans l'air ambiant. Ces microorganismes favorisent une fermentation plutôt acide et produisent des composés aromatiques (Annick, 2007).

Tableau XVII : Les agents de fermentation et leurs rôles dans la panification

	Définition	Le rôle
Levure	<i>Saccaromyces Cerevicea</i> : être vivant unicellulaire appartenant à la famille des champignons.	Les levures sont à l'origine de la levée de la pâte par fermentation de glucose en gaz carbonique. Elles contribuent également à la production d'arome et de goût caractéristique du pain par des phénomènes de fermentation secondaires.
Levain	Pâte dans laquelle se développent des germes naturellement présents (levures et bactéries lactiques).	Le levain se compose essentiellement de levures et de bactéries lactiques. Grâce à cette composition, deux rôles sont à considérer : *- la levée de la pâte par la présence de levures naturelles ; *- la fermentation lactique conduit à une acidification développée dans le pain qui se traduit par un goût aigrelet caractéristique du pain au levain.

Source : Larpent (1990)

2.3. La poolish

La poolish est une pâte pré-fermentée particulière, préparée 3 à 12 h avant la panification et se compose d'eau et de farine, en quantités égales, et de levure (Annick, 2007).

3. L'eau

L'eau est un constituant nécessaire pratiquement de toutes les recettes d'alimentation. Elle aide à la dispersion et à la solubilisation de nombreux composants alimentaires qui, une fois stabilisés, prend un rôle dans l'interaction avec d'autres molécules. Dans la fabrication du pain, l'eau est utilisée pour produire la pâte, elle provoque le gonflement des grains d'amidons et l'assouplissement du gluten. Elle est nécessaire à l'activité des levures et donc dit au développement de la fermentation panariaire (Annick, 2007, Fredot 2005).

La consistance de la pâte dépend de la quantité d'eau ajoutée ; Cette quantité dépend de nombreux facteurs tels que l'humidité de la farine, quantité d'amidon et d'autres propriétés physico-chimiques de la farine (Gil et *al.*, 1997).

En plus de l'importance de la teneur en eau, la température de cette dernière est d'une grande importance dans le contrôle de la température de la pâte ; pour que la levure et les enzymes soient actifs. En outre, l'eau agit en tant que moyen pour la distribution de tous les autres ingrédients dans la formulation (Cesaro et Sussich, 2001).

4. Le Sel

Le sel est présent dans la plupart des produits de panification à raison de 2% du poids de la farine en moyenne. Cet ingrédient est un exhausteur de goût et, parallèlement, on considère qu'il diminue les arrière-goûts (Roussel et Chiron, 2002). Il améliore les qualités mécaniques de la pâte en diminuant la viscosité et en facilitant le travail et la levée de la pâte (Fredot, 2005).

5. Les matières grasses

Elles sont utilisées en faible quantité dans la panification (moins de 5% du poids de la farine pour les biscottes). Sur le plan organoleptique, les corps gras confèrent au produit une saveur et un arôme particuliers. Les produits utilisés sont les huiles liquides à température ordinaire (huile de colza, tournesol...) et les graisses dont les points de fusion sont supérieurs à la température ordinaire (beurre, huile de palme...) (Kiger et Kiger, 1968).

6. Le sucre

Il participe au processus de fermentation, il nourrit le levain et aide à obtenir une belle croûte dorée. Ainsi, toutes les recettes contiennent un peu de matière sucrée, le plus souvent du miel. Pour un pain plus sucré, augmentez la dose à 2 ou 3 cuillères à soupe.

7. Les produits d'addition

Il est possible d'utiliser dans la fabrication des produits de panification certains composés dits d'« addition ». Toutefois, leur utilisation est réglementée en termes de dose et d'étiquetage. Ils sont classés par rôle technologique, organoleptique ou conservateur. Ces produits assurent une garantie de résultats sans avoir à modifier le diagramme de fabrication (Armand, 2007). Les produits d'addition les plus utilisés sont regroupés dans le tableau

XVIII. Les produits de panification comportant de tels composés sont dits produits non traditionnels par opposition aux produits de panification de tradition (sans additifs) (Roussel et Chiron, 2002).

Tableau XVIII: Exemples de produits d'addition utilisés dans la fabrication des produits de panification.

Catégorie	Exemples	Exemples d'action
Produits d'oxydation et de réduction	Acide ascorbique	Augmente l'élasticité et diminue l'extensibilité de la pâte
	Glucose oxydase	Augmente la consistance de la pâte et diminue le collant
	Levure désactivée (glutathion)	Augmente le développement du gluten et l'extensibilité
	Farines de fève et de soja	Action sur les réactions de coloration croûte et mie
Emulsifiants	Lécithines E322	Diminuent la porosité des pâtes
	Monoglycérides saturés E471	Augmente la régularité alvéolaire
	Esters diacétyl-tartriques de mono-glycérides	Augmente le volume des pains
Produits enzymatiques D'hydrolyse	Farine de malt	Augmente l'activité fermentaire et les réactions de coloration
	Hémicellulases	Augmentent le volume des pains et la coloration de la croûte
	Lipases	Augmentent le volume des pains et la régularité alvéolaire
Conservateurs	Acide sorbique et sorbates	Augmentent la durée de conservation
	Acide acétique et acétates	Effet antimicrobien et propriétés organoleptiques
Gluten vital de blé	Augmente la rétention gazeuse et la fixation d'eau, diminue le rassissement du pain	

Source :Lassoued(2005)

III. PAIN ET PANIFICATION

Le pain est le résultat de transformations physiques, de réactions chimiques et d'activités biologiques très complexes ; il est défini comme une pâte cuite au four, obtenue exclusivement à partir de farine normale, d'eau, de sel comestible, de levure de boulangerie ou de levain. Ce mélange peut prendre certains ingrédients tels que le lait, matière grasse, fruits ou fibres alimentaires, adjuvants ou additifs dont l'emploi est autorisé (Godon et Lousel, 1997).

1. Valeur nutritionnelle du pain

Notre alimentation s'est considérablement diversifiée au cours des dernières décennies ; mais le pain a conservé sa place quotidienne. Il contient presque tout ce qui est nécessaire à la santé (Brochoire et *al.* 1999).

Selon certains nutritionnistes, le pain est, en effet, le seul produit pratiquement parfait pour l'alimentation humaine, au point qu'un être humain pourrait vivre de cette unique nourriture. Il apporte des glucides, des lipides, des protides, des sels minéraux (sous forme de phosphate, de magnésium et de potassium) ainsi que des vitamines du groupe B (Tableau XIX). Les glucides à absorption lente du pain sont beaucoup mieux utilisés que ceux apportés par des aliments riches en sucres purs et souvent associés à des graisses. De ce fait, le pain est considéré comme un aliment énergétique de choix.

La présence de cellulose concourt au bon transit intestinal et sa faible teneur en lipides ne l'exclut d'aucune alimentation, à l'exception de celle des personnes à qui le gluten est interdit.

Tableau XIX: Composition nutritionnels de certains types de pain

	Pain courant T55	Pain courant T65	Pain tradition T65	Pain au levain T65	Pain à la farine T80	Pain biologique	Pain complet	Pain de campagne	Pain de seigle	Pain au son	Pain aux céréales et graines
Protéines (%)	14	15	14	14	15	18	17	15	14	17	15
Matières grasses (%)	0.3	0.3	0.4	0.9	0.3	1.1	0.8	0.8	1	1.2	3.9
Fibres (g/100)	3.4	3.8	3.3.	3.3	4.2	5	8.5	3.8	7.7	7.4	4.9
Phosphores (mg/ 100g)	136	113	105	87	140	145	254	94	155	198	135
Magnésium (mg/ 100g)	21	25	23	19	33	38	67	21	39	56	40
Fer (mg/100g)	0.9	1.1	1	1.3	1.3	1.8	2.2	1.2	2.2	2.3	1.5
Vitamine B3 (mg/ 100g)	1.1	1.3	1.3	1.2	1.7	2.1	3.8	0.8	1.1	3.2	1.9
Vitamine B6 (mg/ 100g)	0.22	0.24	0.20	0.06	0.27	0.10	0.44	0.15	0.10	0.16	0.07

Source : Bourre et *al.* (2008)

2. Les différents types du pain

Il existe une très grande variété de pains qui se différencient par leurs recettes de fabrication mais également par leurs formes (baguette, boule, épi, fougasse...). Les différents types du pain, cités par Bourre (2006), sont comme suit :

- **Pain bis (pain farine T80 ou T110) :** préparé avec une farine de blé de types 80 ou 110. La couleur de sa mie est plus foncée que celle de la baguette courante.
- **Pain complet :** préparé avec de la farine complète de type 150 issues du grain de blé entier, y compris le germe et l'enveloppe. Il est souvent recommandé pour réguler le transit intestinal.
- **Pain de campagne :** constitué de farine de blé et éventuellement de seigle. Sa fabrication favorise une saveur légèrement acidulée et une plus longue conservation.

- **Pain au levain** : préparé à partir d'un levain : pâte composée de farine de blé ou de seigle, d'eau potable et éventuellement additionnée de sel, et soumise à une fermentation naturelle.
- **Pain de seigle** : contenant 2/3 de farine de seigle et 1/3 de farine de blé. Utilisée seule, la farine de seigle est difficilement panifiable, c'est pourquoi elle est toujours associée à la farine de blé qui donne un pain bien levé et alvéolé.
- **Pain au son** : composé de farine de blé additionnée de son (enveloppe du blé). Il est reconnu pour améliorer le transit intestinal.
- **Pain bio** : fabriqué à partir de céréales issues de l'agriculture biologique, c'est-à-dire, respectant les critères du règlement européen de la production biologique. Il est identifié par un logo spécifique.

3. Processus de panification

La panification est l'ensemble des opérations qui permettent d'obtenir du pain. C'est une transformation de la farine, additionnée éventuellement d'autres ingrédients (levures, sel, lait, malt, matières grasses, ...), en un aliment cuit et facile à conserver, par des opérations de fermentation éthanolique et de cuisson (Godon, 1991).

Le processus de fabrication des produits de panification comprend trois étapes essentielles : le **pétrissage**, la **fermentation** et la **cuisson**. A chaque étape de ce processus, l'évolution des propriétés rhéologiques du produit est la conséquence directe des changements de structure aux différentes échelles (moléculaire et microscopique) (Blokma, 1990a).

3.1. Pétrissage

En tant que première étape de fabrication du pain, l'importance du pétrissage est cruciale pour la qualité du produit fini. En effet, pendant celui-ci un ensemble de transformations biochimiques et physiques complexes ont lieu (Levasseur, 2007).

Il permet de former une pâte homogène, lisse, tenace et viscoélastique à partir de ses deux constituants principaux que sont la farine et l'eau, et au sein de laquelle l'amidon, le gluten et l'air occuperaient respectivement 60, 30 et 10 % du volume total. Au cours de cette opération,

la pâte est soumise à des forces intenses d'extension, de compression et de cisaillement (Feillet, 2000).

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

- *L'homogénéisation* : le pétrissage permet de répartir d'une manière homogène les constituants (les uns par rapport aux autres), favorisant ainsi leur contact notamment celui de la farine avec l'eau et donc leur hydratation. Le diagramme de pétrissage conventionnel en panification française avec une vitesse lente de 40 tr/min sur une durée de 12 à 15 min permet d'obtenir une masse macroscopiquement homogène à une échelle d'environ 1mm (Roussel et Chiron, 2002).
- *L'aération de la pâte* : le mouvement des bras du pétrin entraîne, simultanément l'homogénéisation et l'incorporation d'air dans la pâte sous forme de nucléi-sphériques de petites tailles (10 à 100µm) (Junge et Hosney, 1981).
- *Structuration du réseau protéique* : au cours du pétrissage, l'oxydation des acides aminés soufrés des protéines entraîne la création des ponts disulfures (liaisons covalentes) intra et inter-moléculaires, qui entraînent la formation d'un réseau allant d'un bout à l'autre de la pâte (Meredith, 1964).

L'excès de pétrissage (difficile à obtenir manuellement) peut engendrer une rupture du réseau de gluten et par conséquent empêcher le développement correct du pain.

3.2. Pointage

C'est la première fermentation, elle doit s'effectuer en masse. Sa durée peut varier d'un quart d'heure à 12h. Plus un pointage est long, plus la pâte aura de force et plus les arômes se développeront.

Pour permettre l'activité de la levure, on laisse reposer la pâte dans une cuve ou pétrin à 20 -25 °C. Celle-ci va donc réaliser la fermentation alcoolique en utilisant les oses résiduels de la farine ; donc la production de CO₂ qui permet un début de levée de la pâte qui devient alors tenace et plus élastique. De plus, le gluten forme un réseau empêchant le dioxyde de carbone de s'échapper de la pâte (Fredot, 2005).

Pendant le pointage, l'augmentation du volume du pain résulte de l'activité fermentaire des levures et dépend aussi de la capacité de rétention du CO₂ (Bourdet, 1977). Mais les levures ne sont pas capables de fermenter l'amidon, donc, il doit être hydrolysé par des amylases, qui permettant la production de glucose et de maltose qui seront ensuite fermentés (Godon, 1991).

Durant cette étape, il y a formation de la flaveur du pain. En effet, il y a formation d'acide propionique, d'acide pyruvique, d'aldéhydes et de cétones aromatisants ainsi que de faibles quantités d'acide acétique et d'acide lactique qui sont aussi exhausteurs d'arômes (Fredot, 2005).

3.3. Opérations mécaniques

Le façonnage contribue, avec le boulage et la détente à reformer une structure continue en surface de la pâte, perdue lors de la division, de manière à minimiser la perte de gaz ; il rend également la pâte plus malléable en recréant stabilité et élasticité et un meilleur aspect des pâtons dont la surface devient moins collante et plus lisse.

Le façonnage permet de conférer à la pâte la forme qui déterminera celle du produit fini, il peut être manuel ou mécanique (Guermouna, 1993). C'est une opération délicate, surtout en panification de pain français où les pâtes demandent à être manipulées avec douceur pour ne pas dégrader une structure qui, même avec une farine de qualité, reste fragile à cause de sa consistance molle, mais doit cependant être suffisamment serrée pour éviter le relâchement et le manque de force (Godon et Guinet, 1994).

3.4. Apprêt

Les pâtons sont disposés sur une toile de lin (la couche) pour la deuxième fermentation. Selon Bourdeau et Menard (1992), la levure continue à jouer son rôle d'agent de levée de la pâte conjointement avec l'action des amylases et chaque pâton triple de volume. On estime que près de 5 % des glucides totaux sont utilisés comme substrat de fermentation par le système enzymatique de la pâte. Ces enzymes et les composés volatils (aldéhyde, diacetyl) présents en faibles quantités vont contribuer à la formation du goût et des arômes originaux du pain (Calvel, 1991).

L'apprêt se fait dans un milieu anaérobie (Alais et Linden, 2003) et dure environ une heure à 27°C (Assal et Larous, 2002). Pour Godon et Guinet (1994) la durée de l'apprêt est très variable (1 h à 3h30 mn) et dépend du mode de pétrissage choisi. En règle générale, lorsque le temps de pointage est long, le temps d'apprêt est diminué et vice versa.

Durant la levée, la levure se multiplie abondamment par bourgeonnement en consommant les sucres contenus dans la pâte à pain. L'aération en rapport de dioxygène étant insuffisante, la levure produit son énergie par fermentation donc avec dégagement de CO₂. Ce dernier est mis à contribution : il dilate la pâte en créant de multiples alvéoles et lui donne ses propriétés moelleuses. Le gaz est prisonnier du gluten qui rend la pâte bien élastique et sert à le retenir (Figure 2). C'est pour cela que la quantité de gluten, produit spécifique de la farine de blé, est déterminante pour son aptitude à la panification.

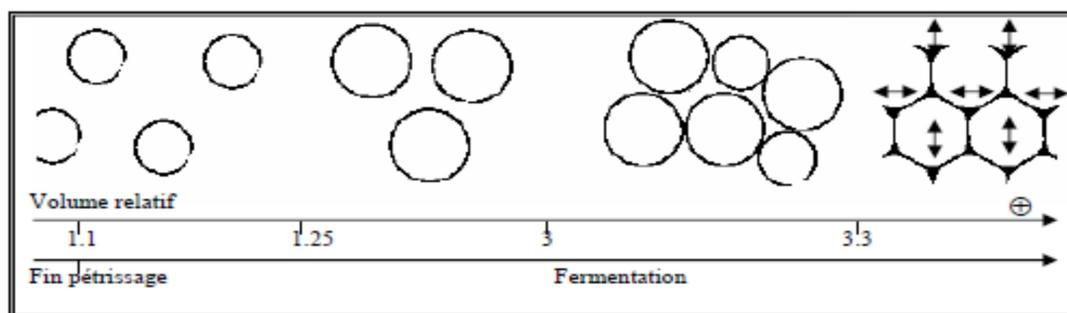


Figure 2 : Représentation schématique de l'évolution de la taille et de la forme (de sphérique à polyédrique) des cellules gazeuses dans une pâte en cours de fermentation (Adapté de Bloksma, 1990b et Van Vliet *et al.*, 1992).

3.5. Cuisson

La cuisson est une étape complexe au cours de laquelle a lieu une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques concomitantes telles que la perte d'eau par évaporation, la formation d'une structure alvéolaire plus ou moins développée, la dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, la formation d'une croûte et les réactions de coloration (Sablaniet *al*, 1998).

Les pâtons sont placés dans un four chauffé à 230 °C pendant 15 à 30 min (selon la forme et le poids du pain), sous l'action de la chaleur, ils continuent de gonfler, la mie se forme, l'extérieur se dessèche, durcit et se colore pour donner la croûte (Fredot, 2005).

Selon Calvel(1991) et Feillet (2000) une fois la pâte fermentée introduite dans le four, les événements physico-chimiques suivants se produisent :

- Le volume du pain augmente brutalement par dilatation des gaz contenus dans les alvéoles puis, plus progressivement, jusqu'à ce que les levures soient inactivées (55°C). La dilatation des alvéoles peut devenir très importante au-dessus de 70°C, dans la mesure où les contraintes exercées par la pâte ne s'opposent pas à leur expansion (100°C) bien que la mie commence à se figer ;

- L'alcool formé au cours de la fermentation se vaporise dans l'air ambiant : dans la mie, les enzymes sont inactivées (l' α -amylase est détruite à 70°C), l'amidon gélatinisé (entre 65 et 80°C) et les protéines thermo-rigidifiées (coagulent entre 70 et 90°C). Les matières grasses contribuent momentanément à la stabilité des alvéoles gazeuses ;

- La croûte commence à se former vers 90°C, se solidifie au fur et à mesure que la température de la surface extérieure du pain se rapproche de sa température finale (220°C). Ils se développent simultanément des réactions de Maillard qui se traduisent par l'apparition de la couleur caractéristique de la croûte ;

- Une partie des alcools et des acides volatils est engagée dans la réaction d'estérification et renforce l'odeur de la mie. Des décompositions thermiques peuvent également intervenir, ce qui engendre un début de caramélisation ;

- La perte d'eau au cours de la cuisson varie avec la taille et la forme des pains : seule la croûte se dessèche, la teneur en eau du mie restant peu inférieur à celle de la pâte. Globalement, la teneur en eau s'établit entre 20 et 25 % pour les baguettes.

3.6.Refroidissement ou ressuage

Il faut sortir le pain du four avec précaution. Encore tout chaud, il est très fragile. Le ressuage consiste à le laisser refroidir le temps que la vapeur d'eau et le gaz carbonique qu'il contient s'en échappent (Bernard, 1992 ; Roussel et Chiron, 2002). Selon les formes, les pains peuvent perdre entre 1 à 4% de leur masse en eau (Roussel et Chiron, 2002).

Conclusions

Le pain est donc un mélange de farine de blé, d'eau, de sel et de levure. La teneur en protéines de la farine détermine le type de pain. Cela signifie que la farine de haute teneur en protéines est appropriée pour le pain de volumes élevés tels que le pain de baguette, tandis que la teneur en protéines modérées peut-être recommandée pour le pain plat, dont le volume n'est pas un critère essentiel.

Partie Expérimentale

" Matériel et méthodes "

I.MATERIEL ET METHODES

Le présent travail s'insère dans le cadre d'un Projet National de Recherche "**La féculé de pomme de terre comme substitut de l'amidon de céréales dans la fabrication de pain**" initié et réalisé par le Laboratoire Bioressources Naturelles Locales "LBRN" de l'Université Hassiba Ben Bouali de Chlef et le groupe Lactamel de Sidi Bel-Abbès.

Il a été réalisé au niveau du laboratoire de Biochimie Alimentaire de l'Université Hassiba Ben Bouali de Chlef et au niveau du laboratoire de moulin NAKHLA Medjadja. D'autres essais ont été réalisés au niveau de quatre boulangeries (Chlef, Oran, Alger et Bruxelles).

Cette partie de la thèse s'articule autour de cinq points :

- Matière première utilisée au cours de ce travail ;
- Différentes formules utilisées ;
- Méthodes de caractérisation technologique des différentes farines et pains composites ;
- Essais de panification avec incorporation de différents pourcentages de féculé de pomme de terre et évaluation de qualités ;
- Evaluation sensorielle des pains à base de féculé de pomme de terre.

1. MATERIEL

▪ **Farine de blé**

Une farine de blé tendre, *Triticumaestivum*, est utilisée comme témoin auquel les caractéristiques des différentes formules et pains composites sont à comparer.

La farine témoin utilisée est un produit de mouture de blés de mélange dont nous ignorons les variétés (source : NEKHLA, Chlef). Le taux d'extraction varie entre 75 et 76% et est destinée à la préparation du pain ordinaire. Elle est conditionnée dans un sac en papier de 2 kg et conservée dans un endroit sec à température ambiante.

- **Fécule de pomme de terre** : fournie par Michel COME, RAMBOUILLET. Elle est conditionnée dans un sac en papier de 5 kg.
- **Levure** : fournie par saf-instant, conditionnée en blocs de 500 g est l'agent levant utilisé. La durée d'utilisation maximum d'un paquet après son ouverture est de 4 jours.
- **Huile de table** : achetée dans le commerce, elle est conditionnée dans des bouteilles en plastique de 1 litre. Pour éviter le rancissement de l'huile après l'ouverture d'une bouteille, la durée d'utilisation a été limitée à une semaine après son ouverture (Cevital- ELIO).
- **Saccharose et sel** : achetés dans le commerce. Conditionnés en sachet de 1kg.
- **Gluten vital** : c'est la partie protéique du grain de blé nécessaire à la panification est fournie par PRIMEAL (PEAUGRES, France). Il est conditionné dans des sacs de 1 kg.
- **Eau** : une eau potable ordinaire.
- **Améliorant de panification** : c'est une combinaison d'ingrédients : auxiliaires technologiques, additifs et matières premières diverses, d'origine céréalière ou non, et mélangés sur la base d'une formulation adaptée.
- **Appareillage**
 - *Alvéographe* : Chopin, Tripette et Renaud, France.
 - *FallingNumber 1500* : (détermination l'activité α -amylasique des farines).
 - *Balance* de précision électrique (KERN-KB600-2).
 - *Microscope photonique* (LEICA CME).
 - *Pétrin* : il s'agit d'un pétrin de laboratoire de marque CLATRONIC, assuré par un fraiseur sigmoïde tournant en sens inverse à des vitesses (1 à 5).

- *Moule* : en métal, souple, sans couvercle.
- *Etuve*: utilisée pour la fermentation de marque MEMMERT (fabriqué en Allemagne).
- *Four à humidité contrôlée*: la cuisson a été réalisée dans un four de pâtisserie thermostaté doté de deux résistances placées respectivement au niveau de la partie supérieure et inférieure du four permettant le chauffage de manière homogène de la chambre de cuisson.

2. CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES DIFFERENTES FARINES ET PAINS COMPOSITES

2.1. Formules de l'étude

Les pains ont été formulés en incorporant la fécule de pomme de terre dans des proportions différentes (Tableau XX).

Tableau XX : Rapport de mélange (%) de farine de blé et la fécule de pomme de terre

L'échantillon	rapport de mélange
Fécule de pomme de terre : farine de blé	0 : 100 (contrôle)
Fécule de pomme de terre : farine de blé	50 : 50
Fécule de pomme de terre : farine de blé	70 : 30
Fécule de pomme de terre : farine de blé	80 : 20

Les pains réussites avec un pourcentage le plus élevé en fécule de pomme de terre, sont menu à être étudiier et évaluer l'influence de taux d'incorporation de gluten sur les caractéristiques et comportement des pâtes et pains. Les formules utilisées : F1 : Témoin (pain de farine de blé), F2 jusqu'à F22 (pain réussi avec un pourcentage le plus élevé de fécule de pomme de terre + % de gluten « de 0 à 10% avec intervalle 0.5%»).

2.2. Les tests de base

Ces analyses sont réalisées au niveau de l'unité de production de meunerie NAKHLA, Medjadja, Chlef.

2.2.1. Teneur en eau

Un petit échantillon de farine de blé (2 g) est pesé et placé dans un plat à l'humidité. L'échantillon est chauffé à 130°C dans un four Chopin à air (figure 3) pendant 1 heure (AFNOR, 1991).



Figure 3 : Etuve CHOPIN

2.2.2. Teneur en cendres

Elle est déterminée par l'incinération à haute température dans un four à moufle. La température élevée chasse l'humidité et brûle toutes les matières organiques (amidon, protéines et d'huile) ne laissant que des cendres (Wheat Marketing Center Inc, 2004).

Un échantillon de farine de blé ou de féculé de pomme de terre (5 g) est pesé et placé dans une tasse de cendres, ensuite chauffé à 900°C jusqu'à ce que son poids soit stable ; le résidu est rafraîchi à la température ambiante et ensuite pesé (AACC, 1995 ; Wheat Marketing Center Inc, 2004).

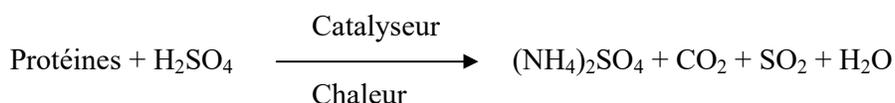
2.2.3. Teneur en protéines (N x 5.7)

Le dosage des protéines est réalisé par la détermination de l'azote total selon la norme AFNOR. N.F. V03-050 par la méthode de KJELDAHL (AFNOR, 1991). Le coefficient de conversion de l'azote total en protéines est de 5.7 pour les farines de blé et de riz et 6.25 pour les légumes secs (Gueguen et Lemarie, 1996, FAO 1996).

Le principe de la méthode consiste en une minéralisation à chaud de la matière organique par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, une alcalinisation des produits de la réaction (sulfate d'ammonium) par la lessive de soude concentrée, une fixation de l'ammoniac entraîné par la vapeur par l'acide borique et une titration par l'acide sulfurique (AACC, 1995).

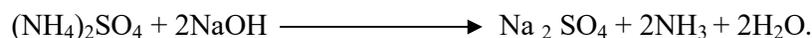
▪ *Minéralisation*

- Dans un matras de minéralisation de 250mL, introduire 0,5 à 2g de l'échantillon sec, 2g de catalyseur (composé de 250g de K₂SO₄, 250g de CuSO₄ et 5g de Se), 20mL de l'acide sulfurique concentré versé lentement, en ajoutant une bille de verre pour régulariser l'ébullition, et ensuite placer le matras sur le dispositif de chauffage ;
- Chauffer d'abord doucement et progressivement en agitant de temps en temps pour éviter que la masse monte dans le col du matras, jusqu'à carbonisation de la masse et disparition de la mousse ;
- Chauffer ensuite plus fort jusqu'à l'ébullition régulière du liquide et obtention d'une solution limpide, puis laisser la solution refroidir ;
- Compléter le volume à 200mL, dans des fioles jaugées de 250mL, par de l'eau distillée.



▪ *Distillation*

- Transférer 20mL du contenu du matras dans l'appareil distillatoire (BUCHI) avec quelques gouttes de phénolphtaléine ;
- Ajuster l'allonge au réfrigérant de façon à ce qu'elle plonge au fond d'un erlenmeyer destiné à recueillir le distillat dans lequel vous introduisez 20mL de solution d'acide borique à 40g/L et 3 à 4 gouttes d'indicateur Tashiro (2g de rouge de méthyle et 1 g de bleu de méthylène dans 1L d'éthanol à 95%) ;
- Alcaliniser le contenu du matras en introduisant la solution concentrée d'hydroxyde de sodium (d = 1,33) jusqu'à l'apparition de couleur rose ;
- Actionner l'appareil jusqu'à l'obtention d'un volume de 150 à 200 mL de distillat ; l'entraînement de l'ammoniac se produit très rapidement et l'indicateur vire à son teint alcalin.



▪ *Titration*

Le distillat récupéré est titré par l'acide sulfurique (0,01 N). Le titrage est complet au virage de la couleur du jaune au rose. La teneur en azote total (N) est exprimée en g pour 100g de produit humide :

$$N = \frac{A \times V}{P_e} \times 100$$

Où :

A : quantité d'azote en gramme neutralisée par 1 mL de solution de H₂SO₄ à 0.01 et est égale à 0,0014g ;

V : volume de H₂SO₄ versé à la titration en mL ;

P_e : prise d'essai en gramme.

La teneur en protéines (**P**) est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche :

$$P = \frac{N \times K}{100 - H} \times 100$$

Où :

N : teneur en azote en % du produit ;

K : coefficient de conversion de l'azote en protéines ;

H : teneur en eau de l'échantillon en % de la masse humide.

2.2.4. Teneur en matière grasse

Les lipides sont dosés par la méthode de Soxhlet, elle assure une extraction à chaud des matières grasses contenues dans un échantillon solide placé dans une cartouche de cellulose et imbibé continuellement par les vapeurs d'un solvant (Ugrinovits et *al.*, 2004).

Une quantité de 10g de l'échantillon, préalablement broyée, est placée dans la cartouche de cellulose fermée par du coton cardé et introduit dans un Soxhlet. L'extraction est réalisée par l'éther de pétrole porté à reflux pendant 6 heures. Les solvants sont ensuite éliminés à l'évaporatoire rotatif (Ugrinovits et *al.*, 2004).

La teneur en lipides totaux (L) est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche :

$$L = \frac{(M_0 - M_1) \times 100}{P_e} \times \left[\frac{100}{100 - H} \right]$$

Où :

M₀ : masse en gramme du récipient + résidu ;

M₁ : masse en gramme du récipient vide ;

pe : prise d'essai en gramme ;

H : teneur en eau en % de l'échantillon humide.

2.2.4. Teneur en glucides

Les sucres totaux sont déterminés selon la méthode de Dubois et *al.*, (1956). Les sucres totaux sont d'abord extraits à chaud par une solution de l'acide sulfurique à 0.5 M pendant trois heures, ils forment une coloration jaune rouge avec le phénol et l'acide sulfurique dont l'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration du sucre.

1 ml de chaque l'échantillon sont mis dans un tube à essai avec 1 ml de phénol à 5%. 5 ml de l'acide sulfurique sont ajoutés rapidement et le mélange est agité immédiatement. Laisser refroidir à l'obscurité pendant 30 min. L'absorbance est mesurée à 490 nm. Les teneurs sont déterminées en référence à une gamme étalon de glucose. Ce test a été réalisé au niveau de laboratoire de contrôle de qualité et d'analyse des aliments à KhmissMeliana.

2.3. Analyses technologiques

2.3.1. Détermination de l'activité alpha-amylasique

Certaines enzymes sont responsables de la dégradation de l'amidon et sont directement impliquées dans le processus de fermentation. Il est donc utile de pouvoir disposer d'information, quant à leur activité enzymatique. La méthode la plus couramment utilisée est le temps de chute de Hagberg ou FallingNumber. Il est déterminé par l'appareil du FallingNumber 1500 (Figure 4) selon la méthode AACC standard n° 56-81B, constitué principalement d'un bain marie porté à ébullition pendant tout l'essai, un réchaud électrique normalisé, un agitateur viscométrique et un tube à essai de précision (AACC, 1995).

Le principe de cette méthode est d'évaluer l'activité α -amylasique des farines par la mesure de la consistance de l'amidon gélatinisé. Il est nécessaire de mélanger de la farine à de l'eau à température ambiante. La montée progressive de la température dans le mélange entraîne le phénomène de gélatinisation de l'amidon, celui-ci devient plus sensible à l'hydrolyse par l'amylase. L'augmentation de l'activité amylasique des farines se traduit par une baisse de la viscosité de l'empois d'amidon.



Figure 4 : FallingNumber 1500

2.3.2. Détermination du gluten humide

Le gluten humide d'une farine de blé tendre est la substance plasto-élastique composée principalement de gliadine et de gluténine. Il constitue l'armature de la pâte et lui communique ses propriétés rhéologiques. La méthode utilisée est celle d'ISO 21415-1: 2006.

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

Mode opératoire

- **Préparation de la pâte** : peser 10g de farine à 0.01g près et les introduire dans le mortier ou la capsule métallique. A l'aide de la burette, verser 5.5 mL de la solution de chlorure de sodium en agitant et en comprimant le mélange avec la spatule pour former une boule de pâte en prenant soin d'éviter les pertes de farine. Les restes de pâte adhérant au récipient et à la spatule doivent être rassemblés avec la boule de pâte. Rouler cette boule de pâte entre les paumes de la main jusqu'à ce qu'elle n'y adhère plus.

- **Extraction manuelle du gluten humide** : malaxer le pâton en le plaçant dans la paume de la main tout en versant dessus, goutte à goutte mais assez rapidement la solution de chlorure de sodium, poursuivre cette opération jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus laiteuse mais à peine trouble.

Arrêter le lavage à ce point. Ce lavage doit se faire au dessus du tamis destiné à retenir les fragments du gluten qui se trouveraient entraînés. L'amidon est éliminé et le gluten se soude à lui-même.

Récupérer le gluten tombé sur le tamis et, pour rincer le gluten global, augmenter le débit de la solution de chlorure de sodium de manière à obtenir un filet continu, puis malaxer énergiquement le pâton. La durée d'extraction dépend de la teneur en gluten et elle est d'environ 8 minutes.

- **Expression des résultats** : le gluten humide, exprimé en pourcentage en masse du produit tel quel est, est égal à :

$$\text{Gluten humide} = \frac{M \times 100}{10}$$

Où : M : est la masse (g) de gluten humide

Si les conditions de répétabilité sont remplies la moyenne de deux déterminations est suffisante, si non refaire les déterminations.

2.3.3. Détermination de l'acidité totale titrable (ATT)

L'acidité totale titrable (ATT) représente l'acidité des substances extractible par l'alcool éthylique à 95 %. Elle est principalement due à l'acidité des acides gras formés par l'hydrolyse ou l'oxydation des lipides (Cabrol, 2006).

La méthode utilisée est celle de la norme AFNOR NF ISO 7305/1998 :

- Introduire dans un tube de centrifugation 5 g d'échantillon et 30 mL d'alcool 95° ;
- Boucher hermétiquement le tube et agiter pendant 1 heure ;
- Laisser reposer 24 heures ; après procéder à deux agitations de 2 min à 6000 tours/min et laisser reposer 1 heure entre les deux agitations ;
- Prélever 20 mL de surnageant, ajouter 200 mL d'eau distillée récemment bouillie et refroidie à l'abri de l'air ;
- Ajouter quelques gouttes de phénolphaléine et titrer par NaOH (0.1N) jusqu'au virage de la couleur.
- Pour l'essai à blanc introduire 20 mL d'alcool à 95° et 80 mL d'eau bouillie et refroidie et ajouter quelques gouttes de phénolphaléine et titrer par NaOH (0.1N).

- *Expression des résultats*

L'acidité est exprimée en gramme d'acide sulfurique pour 100g de matière telle que :

$$A = \frac{0,049 \times N \times (V_1 - V_0) \times V'}{V_2 \times m} \times 100$$

Où :

- V1 : volume (mL) de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour la détermination,
- V0 : volume (mL) de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour l'essai à blanc,
- V2 : volume (mL) du surnageant,
- V' : volume (mL) d'éthanol utilisé au début.

2.4.Appréciation du comportement rhéologique des formules de l'étude par l'alvéographe CHOPIN

La substitution de la féculé de pomme de terre à la farine de blé risque très fortement d'entraîner une modification des propriétés d'élasticité et de rétention du réseau protéique gluténique lors de la panification. Afin de définir adéquatement les implications de l'ajout de féculé de pomme de terre au pain, des analyses rhéologiques de la pâte sont conduites au moyen d'un appareil spécialement conçu pour évaluer l'extensibilité et la consistance de la pâte durant le pétrissage.

Ainsi, pour évaluer les capacités d'extension et de ténacité (résistance à la pression) de la pâte nouvellement formée, un appareil alvéographe (Chopin, Tripette et Renaud, France, Figure 5) sera utilisé en accord avec les normes de l'AACC n° 54-30 A. Cet appareil sert à déterminer la qualité du gluten de la farine par rapport à sa propriété de rétention de la pression gazeuse. Ainsi, un alvéographe soumet un film de pâte à une pression d'air de manière à former une bulle et des détecteurs mesurent la pression supportée (P) et la taille atteinte par extensibilité (L) de la bulle avant sa rupture. Par la suite, le calcul du ratio P/L déterminera la qualité de la pâte selon les manuels de référence en la matière. Les essais seront effectués et comparés avec un standard constitué de la pâte sans incorporation de la féculé de pomme de terre (témoin).

Pour la préparation des différentes pâtes, nous avons suivi le diagramme de fabrication spécifique au test alvéographique (Figure 6).



Figure 5: Alvéographe Chopin

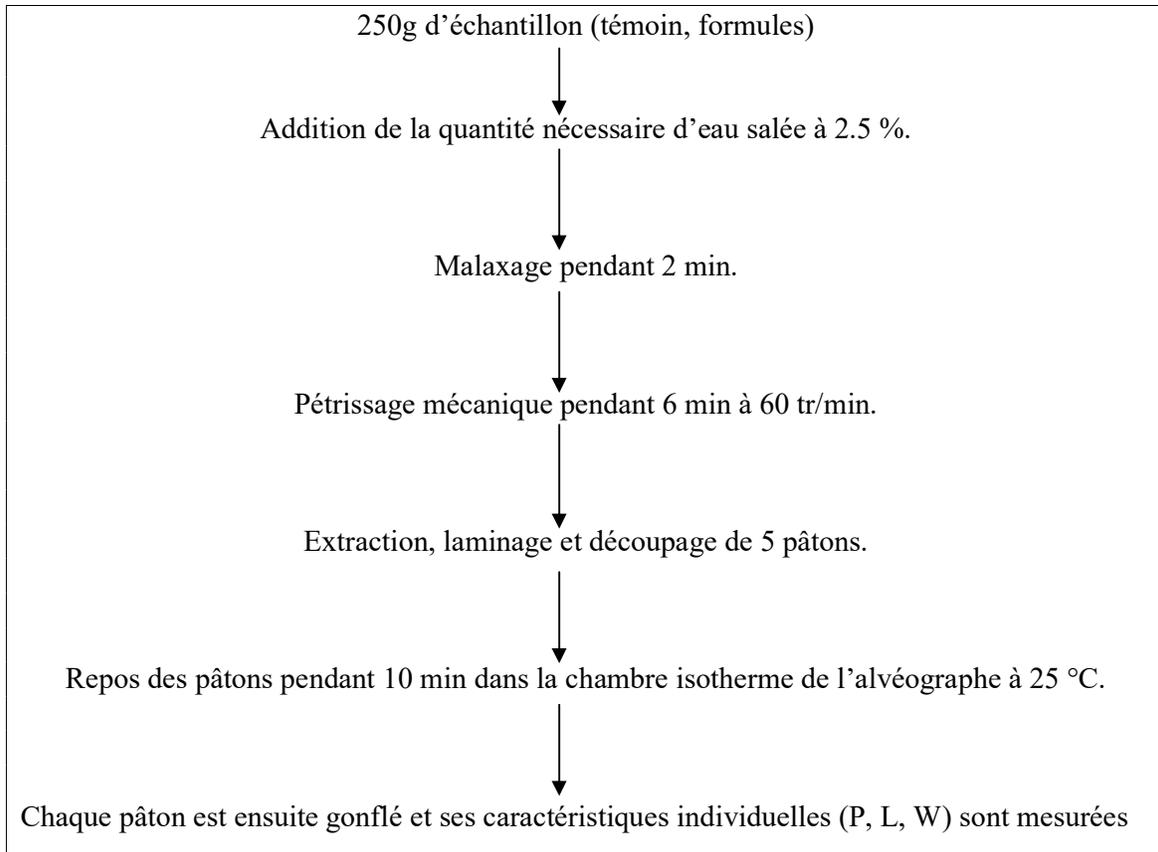


Figure 6 : Diagramme de préparation de pâte pour le test alvéographique

La pâte est pétrie dans le pétrin de l'alvéographe Chopin 8 min à 60 tr/min. après son extraction, celle-ci est laminée 7 fois à l'aide d'un rouleau par des mouvements de « va et vient », sur un plateau rectangulaire dont le fond est en verre. La pâte est ensuite lubrifiée avec de l'huile de paraffine. Les 5 pâtons sont ensuite découpés à l'aide d'un emporte-pièce ($r = 23\text{mm}$, $h = 6\text{mm}$) et laissés relaxer (10 min à 25°C) dans la chambre de repos de l'alvéographe.

Vu que les formules utilisées ont un comportement rhéologique différent de celui de la farine de blé tendre (pâtes très collantes et non tenaces), leur malaxage avec l'eau est réalisé en dehors du pétrin, avec une spatule dans un récipient en verre puis la pâte formée est placée dans le pétrin de l'alvéographe. Après pétrissage la pâte est extraite manuellement.

La réalisation des essais est effectuée au laboratoire d'analyse des moulins «NAKHLA » à MEADJAJA à une température ambiante moyenne de 27°C .

Le principe des essais alvéographiques consiste à faire subir à l'éprouvette de pâte des changements de dimension par insufflement d'air, enregistrer sous forme de courbe les variations de pression **P** à l'intérieur de la bulle qui sont en rapport avec la résistance de la pâte à l'extension, et apprécier les caractéristiques boulangères de la farine d'après la grandeur et la forme des courbes obtenues et le volume de la bulle au moment de la rupture. Une courbe moyenne est tracée à partir des enregistrements de cinq pâtons.

La lecture d'un alvéogramme se fait à travers les paramètres suivants (Saker et Haji Moussa, 2007) :

- "**W**" : travail de déformation, il désigne le travail au sens physique du terme et exprime la force boulangère de la pâte. Sa valeur est proportionnelle à la Surface (S) de la courbe obtenue selon l'équation suivante :

$$\mathbf{W \text{ (joules)} = 6.54 \times S} \text{ (6.54 : Coefficient relatif aux farines des céréales).}$$

- "**L**" : ce paramètre correspond à l'élasticité (extensibilité) de la pâte depuis le début du gonflement jusqu'à éclatement de la bulle. Il est donné en mm sur l'axe des abscisses de l'alvéogramme ;

- "**G**" : se rapporte au gonflement de la pâte qui est exprimé en cm³. Il est donné par l'équation suivante : $G \text{ (cm}^3\text{)} = 2.226 \times \sqrt{L}$

- "**P**" : correspond à la pression maximale d'air insufflé nécessaire à la déformation et donc à l'obtention de la bulle de pâte. Il exprime la ténacité de celle-ci et est donné en mm sur l'axe des ordonnées de l'alvéogramme ;

- "**P/L**" : ce rapport appelé "rapport de configuration de la courbe" ou "rapport de ténacité au gonflement", représente l'équilibre entre la ténacité et l'élasticité de la pâte.

- "**Ie**" : correspond à l'indice de l'Elasticité de la courbe. Il est donné par l'équation suivante :

$$\mathbf{Ie = \frac{P200}{P} \times 100} \quad (\text{P200 : pression à 4 cm du début de la courbe}).$$

3. EVALUATION DE LA QUALITE DU PAIN COMPOSITE

3.1. Essai de panification

3.1.1. *Formule*

Les pains sont formulés en incorporant la fécule de pomme de terre à des proportions différentes. Les pains de différentes proportions sont préparés par la méthode de la pâte linéaire, selon la méthode officielle AACC (10-Procédé 10A) avec quelques modifications et suivant les formules données dans le Tableau XX.

Les pâtes sont préparées dans un pétrin (Clartronic, Allemand) (Figure 7) avec de la farine de blé, la fécule de pommes de terre, le gluten, l'eau du robinet, la levure pressée, le sel et un améliorant de pâte (Tableau XXI).



Figure 7 : Pétrin (Clartronic, Allemagne).

Tableau XXI : Formulation des pâtes Témoins

Formulation	
farine	500 g
sel	10 g
levure	10 g
eau	300 mL
Améliorant	0.1 g

D'après les essais préliminaires effectués sur les formules sans et avec gluten, un intervalle de 8 à 15 minutes a été choisi pour effectuer les essais des plans d'expériences. Huit minutes de pétrissage ont permis d'avoir une pâte homogène. Nous avons poursuivi le pétrissage jusqu'à obtention d'une pâte à caractère collant et facile à manipuler.

3.1.2 Préparation des pâtes

E. Pétrissage

Les ingrédients sont introduits dans le pétrin dans un ordre précis : la farine de blé tendre et / ou la fécule de pomme de terre, le gluten puis la levure et le sel. Un volume d'eau est ensuite versé. Les ingrédients sont mélangés tous ensemble. Le mélangeur fonctionne à une vitesse réduite (V1) pendant 5 minutes, puis à une vitesse supérieure (V2) pendant 5 minutes.

F. Mise en forme et façonnage

Après le pétrissage, la pâte est divisée en pâtons d'environ 100 g qui sont mis en boules et laissés lever à une température ambiante de 37°C pendant 25 min. Les pâtons sont ensuite façonnés et laissés lever une autre fois à une température de 30°C pendant 90 min.

Les propriétés de rétention de gaz lors de la fermentation sont évaluées à l'aide d'un indicateur de pousse improvisé contenant 25 g de pâte soumise à fermentation dans les mêmes conditions que les pâtons.

G. Cuisson

La cuisson est réalisée dans un four boulanger, avec une plaque munie d'un système d'injection de vapeur, à température et temps de cuisson réglables. Le temps est fixé sur la base d'essais préliminaires par l'estimation de la couleur de surface, à une température de 220°C ± 5 pendant 10 à 20 min.

H. Refroidissement

Les pains sortant du four à des températures élevées sont refroidis à l'air libre. Ce mode de refroidissement est jugé meilleur qu'un refroidissement accéléré puisqu'il permet au produit de se refroidir progressivement à l'abri de tout choc thermique provoquant les fissurations et la cassure du pain.

La figure 8 suivante représente toutes les étapes de cette panification.



Figure 8 : Les étapes de panification

3.2. Appréciation de la qualité du pain composite

Les évaluations de formules de pains composites sont faites au stade de pâte (la consistance, le collant, l'extensibilité, le relâchement et l'élasticité) et aux stades pain après la cuisson (la croûte, la mie, la couleur, la texture), afin de choisir une formule de pain à un taux maximal d'incorporation de fécule de pomme de terre.

3.2.1. Appréciation des qualités de la pâte

L'appréciation de la qualité d'une pâte par un boulanger artisan est classiquement réalisée au toucher tout au long du processus de panification, la pâte, la mie et le pain dans son ensemble caractérisent la valeur boulangère du produit final.

Les critères d'estimation de la qualité des pâtes sont appréciés pendant ou après le pétrissage (consistance, collant, extensibilité, élasticité et relâchement). Les caractéristiques dimensionnelles (volume et longueur du pain), visuelles et texturales sont particulièrement importantes à maîtriser.

****- Appréciation des caractéristiques rhéologiques des pâtes***

D'après Godon et Loisel (1997), les paramètres sensoriels d'appréciation des observations sur la pâte sont :

➤ *Pétrissage*

- ✚ La consistance :** ou l'état de fermeté de la pâte, elle s'apprécie par enfoncement progressif des doigts dans la pâte. Pendant cette action, la pâte se déforme en s'écoulant ; on apprécie alors ses caractéristiques visqueuses.
- ✚ Le collant :** il se détermine par des contacts brefs du dos de la main sans pression. L'absence d'adhérence est le caractère normal.
- ✚ Le relâchement :** c'est le degré d'affaissement (étalement) de la pâte dans la cuve du pétrin. Les défauts dans le relâchement sont toujours notés en « excès » ; l'absence de relâchement, prenant en compte un léger affaiblissement après déformation, est considérée comme le caractère « normal ».
- ✚ L'extensibilité :** il s'agit de l'appréciation des capacités d'allongement de la pâte généralement jusqu'à un stade de rupture.
- ✚ L'élasticité :** c'est la capacité d'un corps à reprendre totalement ou partiellement sa forme après l'arrêt d'une déformation donnée. L'intensité de résistance pour une déformation donnée permet ce retour total ou partiel à l'état initial.

➤ *Détente relâchement*

Le relâchement à la détente se mesure visuellement, juste avant le façonnage, l'augmentation du diamètre de la boule de pâte et la diminution de sa hauteur sont à prendre en compte pour déterminer l'intensité d'un défaut.

➤ *Façonnage*

✚ **Extensibilité** : l'aptitude à l'allongement d'un pâton définit l'extensibilité au stade façonnage. Selon Godon et Loisel (1997), les longueurs d'étirement inférieures à 20 cm, le défaut est noté « insuffisant ». Inversement, il est noté « excès » pour des longueurs supérieures à 30 cm. La quantité de pâte étirée et la vitesse d'étirement modifient le jugement.

✚ **Elasticité** : est appréciée en fin de façonnage par de petits étirements dans le sens de la longueur sur les pâtons façonnés. Le retour à la position initiale correspond au caractère « normal ». Une trop grande vitesse de retour détermine un défaut (Godon et Loisel, 1997).

✚ **Collant de la pâte** : c'est un examen visuel de l'adhérence de la pâte avec le dos de la main par contact régulier. L'absence d'adhérence étant le caractère normal.

➤ *Apprêt*

✚ **Déchirement** : c'est une rupture de la surface lisse de la pâte, il est la conséquence d'un défaut d'extensibilité de la pâte en déformation bi-axiale. L'absence de déchirement est le caractère « normal ».

✚ **Développement ou la pousse** : cette observation est principalement effectuée pendant l'apprêt avec un mesureur de pousse.

➤ *La mise au four*

✚ **Collant** : en appréciant le niveau d'adhérence de la pâte sur la toile utilisée dans les pratiques traditionnelles pour la deuxième fermentation.

✚ **Relâchement** : après scarification des pâtons à la mise au four.

✚ **L'élasticité** : est appréciée par une légère pression sur la pâte en fermentation.

3.2.2. *Appréciation de la qualité organoleptique du pain*

La norme AFNOR (NF V00. 150) définit le caractère organoleptique comme la propriété d'un produit perceptible par les organes des sens (vue, odorat, audition, toucher, goût).

L'aspect sensoriel (odeur, texture...) a un fort impact sur le jugement du consommateur et notamment pour les produits de cuisson. Les applications de l'analyse sensorielle dans ce domaine restent toutefois rares et très récentes. Longtemps, les grilles de notation, initialement établies pour l'évaluation de la qualité et de la valeur boulangère (aptitude à la fabrication du pain) des farines de blé, ont servi de moyens pour l'appréciation globale des produits finis. Pour le consommateur, la notion de bon pain ou de mauvais pain est étroitement liée à ces caractéristiques.

E) Aspect du pain

L'aspect correspond à l'ensemble des propriétés visibles du produit. L'appréciation des pains doit être réalisée une heure au moins et deux heures au plus après leur sorties du four.

- ✚ **Section du pain** : elle correspond au rapport hauteur sur largeur mesuré au milieu du pain. La section normale correspond à un rapport moyen de 0,7 (Godon et Loisel, 1997).
- ✚ **Couleur de la croûte du pain** : la couleur s'apprécie visuellement.
- ✚ **Croustillant de la croûte** : Selon la norme AFNOR (NF V00. 150): le croustillant qualifie un produit dont la surface est à la fois cassante et très friable. Sa définition est associée à des notions de résistance, de cohésion, de fracture, d'intensité sonore. D'autres qualificatifs comme le craquant évoquant aussi ces comportements.
- ✚ **Épaisseur de la croûte** : l'épaisseur s'apprécie visuellement sur les côtés du pain après tranchage transversal et médian.

F) Coup de lame

- ✚ **Développement** : c'est le jeté du coup de lame qui correspond au degré moyen de l'ouverture.
- ✚ **Régularité** : elle correspond au nombre de coups de lame développés ou jetés, indépendamment du degré de développement de ces derniers.

- ✚ **Déchirement** : le déchirement des coups de lame correspond soit à des coups qui se rejoignent (brides déchirées), soit à des déchirements ou des irrégularités sur la surface de la grigne.

C) Aspect de la mie

Pour effectuer ce type d'analyse, les définitions officielles concernant les méthodologies d'appréciations sont peu nombreuses ; seul l'essai de panification AFNOR (NF V00. 150) apporte quelques bases pour la notation d'observations sur la texture.

- ✚ **La couleur de la mie** : s'apprécie visuellement.
- ✚ **Souplesse** : c'est l'aptitude de la mie à se déformer facilement sous la pression des doigts.
- ✚ **Le moelleux** : c'est un ensemble de caractéristiques organoleptiques appréciées principalement par le sens de toucher. Le moelleux peut être associé à la notion de souplesse ; mais la déformation ne doit pas être irréversible, la notion d'élasticité vient compléter cette définition.

En bouche, la facilité de mastication (faible résistance, tendreté), le fondant, la douceur au palais sont des éléments importants. Ces caractéristiques sont souvent associées par le consommateur à la caractéristique de fraîcheur. L'approche analytique du moelleux se fait généralement sur l'appréciation de la résistance à l'enfoncement dans la mie (fermeté ou son opposé, la souplesse) et sur la mesure de l'élasticité ainsi que sur l'évolution de ses caractéristiques au cours du temps.

- ✚ **Elasticité** : c'est la propriété que possède la mie à reprendre plus ou moins rapidement sa position initiale après de faibles déformations, identiques et successives, des doigts.
- ✚ **Collant** : il s'apprécie visuellement après écrasement de la mie par le degré d'adhérence des parois des alvéoles entre elles.
- ✚ **Alvéolage**:
 - *Régularité* : la mie est formée de petites alvéoles qui doivent présenter une certaine uniformité. Un excès de régularité correspond à une mie très uniforme avec beaucoup de petites alvéoles (type de pain de mie). Une insuffisance de régularité est considérée comme une alternance de grosse et de petites alvéoles.
 - *Épaisseur* : l'épaisseur des parois des alvéoles est appréciée visuellement. Le caractère normal correspond à une structure fine des parois.

D) Caractéristiques de la flaveur

La flaveur d'un produit correspond principalement aux sensations de saveur (goût) et d'odeurs (arômes).

3.3. Conservation du pain

Les pâtons de pain après leurs préparations sont mis dans les différents emballages (tissu, sachet en plastique, sachet en papier) et conservés à l'air libre, et d'autres pâtons sont mis au réfrigérateur (4°C).

4. EVALUATION SENSORIELLE DU PAIN

L'évaluation de la qualité organoleptique des pains réussites avec un taux maximum de fécule de pomme de terre est faite par analyse sensorielle. Cette dernière consiste à les classer selon les avis de leurs consommateurs.

Le panel est constitué de vingt sujets de sexes masculins et féminins, enseignants et étudiants du département de Biologie de l'université de Chlef. Ils sont recrutés selon leur motivation et leur disponibilité pour participer au test. La méthode de score de 5 points (hedonisticscale) est utilisée (Amerine et *al.* 1973). Les membres du Panel ont été invités à évaluer les pains selon les propriétés suivantes : couleur et texture de la croûte, couleur et texture de la mie, la flaveur et l'acceptabilité.

D'autre évaluation ont été faite lors de la présentation des pains aux différents salons international et national (4^{ème} Salon International de l'Agro-Alimentaire à Oran et Grande Exposition de l'Agriculture et du Développement Rural à Alger, 2013) où des milliers de consommateurs ont dégustés le pain à la fécule de pomme de terre.

Fiche de dégustation du pain

I. sexe Masculin. Féminin.

II. âge ans.

III. Evaluation de la qualité organoleptique

Critères	Formulations des pains composites	
	01	02
Couleur de la croûte		
Texture de la croûte		
Couleur de la mie		
Texture de la mie		
Flaveur		
Acceptabilité		

❖ Echelle de notation

Le jury doit évaluer chaque critère en affectant les notes suivantes :

0 à 1.5 : Mauvaise

2 à 3 : Bon

4 à 5 : Très Bon

❖ Définition

Couleur de la croûte: Le dégustateur doit évaluer la couleur de croûte du pain (pâle normale, rouge brillante).

Texture de la croûte : l'épaisseur s'apprécie visuellement sur les cotés du pain après tranchage. L'épaisseur *normale* est d'environ 1mm (fine, épaisse, molle, normale, croustillante ou dure).

Couleur de la mie : Blanche, légèrement crème, grise.

Texture de la mie : La mie est formée de petites alvéoles qui doivent présenter une certaine uniformité(aérée, serrée, régulière, irrégulière non élastique, élastique, collante parois fines parois épaisses).

Flaveur (odeur-saveur) : Correspond principalement aux sensations de saveur (goût) et d'odeur (aromes), perçus par le consommateur (bonne, désagréable).

Acceptabilité

IV. Commentaires du dégustateur

.....
.....

5. ANALYSE STATISTIQUE

Les résultats sont traités à l'aide d'un logiciel statistique XLSTAT (2009). Le seuil de signification a été fixé à $p \leq 0.05$.

Toutes les mesures sont effectuées en triple. La saisie et le traitement statistique des données ont été réalisés à l'aide du logiciel statistique XLSTAT (2009). Les résultats sont exprimés en tant que moyenne \pm écart type.

" Résultats et discussion"

II- RESULTATS ET DISCUSSION

2. CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES FARINES

Afin de réussir la fabrication d'un pain, avec un taux élevé de fécule de pomme de terre, une série de tests a été réalisée en utilisant les proportions de fécule de pomme de terre / blé suivants : 0 / 100, 50 / 50, 70 / 30, 80 / 20 et 100 / 0.

Les mesures au laboratoire ont permis la mise en évidence des caractéristiques boulangères des matières premières ayant servi aux fabrications des pains à la fécule de pomme de terre. Les résultats sont résumés dans le tableau XXII.

Tableau XXII : Les caractéristiques boulangères des farines composites

Produits		Humidité (%) [*]	Teneur de cendre (%) [*]	Teneur en Gluten humide (%) [*]	Acidité titrable	Indice de Chute (secondes)
100% F	/	15.80 ± 0.026	0.53 ± 0.025	30.10 ± 0.155	0.022	312
100% F.P	/	17.80 ± 0.035	0.18 ± 0.020	/	0.110	220
50% F	Sans A.G	16.11 ± 0,320	0.27 ± 0.030	10,58 ± 0.220	0.022	175
50% F.P	Avec A.G	15,75 ± 0,300	0.36 ± 0.020	38,54 ± 0.300	0.022	155
30% F	Sans A.G	17.40 ± 0,150	0.24 ± 0.080	03,76± 0.200	0.029	179
70% F.P	Avec A.G	16.15 ± 0,170	0.28 ± 0.100	35,24 ± 0.180	0.029	144
20% F	Sans A.G	17.60 ± 0,012	0.19 ± 0.020	1.72 ± 0.092	0.031	181
80% F.P	Avec A.G	16.21 ± 0.015	0.27 ± 0.010	32.77 ± 0.196	0.031	126

F : farine de blé tendre ; F.P : fécule de pomme de terre ; A.G : Ajout de gluten.

*les résultats sont exprimés en : Moyen ± Ecart type (n=3)

1.6. Humidité

La détermination de la teneur en eau est importante, puisque elle conditionne d'une part la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche et d'autre part celle de la mise en œuvre des tests d'alvéographe et celui de la panification (Brochoire et *al.*, 2005).

Il ressort d'après les résultats donnés dans le tableau XXII, que la teneur en eau des farines varie entre 15.80 (farine de blé tendre) et 17.80 % (fécule de pomme de terre). Celle de

la farine composite (80 % de fécule de pomme de terre) semble intéressante et proche de la farine témoin avec 16.21 %.

L'humidité de la farine de blé tendre est en relation étroite avec la conduite de la mouture, la quantité initiale d'eau ajoutée au nettoyage de blé et dépend aussi du temps de leur séchage ; tandis que l'humidité élevée de la fécule de pomme de terre est due automatiquement à la richesse de la pomme de terre en eau qui est aux alentours de 75 – 80 % de son poids (FAO, 2008).

Ces résultats trouvés corroborent ceux rapportés par Calvel (1991) ; Grandvoinnent et Praty (1994), qui fixent des intervalles entre 14 et 16 % pour les farines boulangères.

1.7. Teneur en cendre

Le taux de cendre des deux farines utilisées (blé tendre et fécule de pomme de terre) est variable. Les résultats obtenus montrent que le taux de cendres de la farine de blé tendre est de 0.53 %, ce qui correspond aux normes. Par contre, le taux de cendres diminue avec l'addition de la fécule de pomme de terre. Ce taux reste plus important dans les farines composites additionnées de gluten. Le résultat semble raisonnable, car la fécule de pomme de terre ne renferme que de l'amidon dans sa matière sèche.

1.8. Teneur en gluten

Une très grande partie des propriétés technologiques de la pâte peut être associée au gluten formé, principalement des gliadines et gluténines. La quantité et la qualité de ces dernières sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte (extensibilité et élasticité).

Les résultats du tableau XXII montrent que la teneur en gluten humide de la farine de blé tendre est de 30,10 %, teneur normale d'après les données rapportées par la bibliographie.

Le gluten est absent dans la fécule de pomme de terre. Cette absence influence négativement, par la suite, la force boulangère de la pâte riche en fécule. Le déficit protéique de la fécule de pomme de terre a été corrigé par l'addition de gluten, ce qui nous a permis d'avoir une farine composite à 80 % de fécule de pomme de terre avec un pourcentage de gluten humide très proche de celui du témoin (30.10 %).

Ugrinovitset *al.* (2004) ont montré que la force des farines est fonction du taux de gluten humide. Les farines usuelles ont des teneurs de l'ordre de 27 à 37 % ; alors que les farines faibles ont des pourcentages inférieurs à 25 % (farine pour biscuit par exemple).

1.9. L'indice de chute

La valeur de l'indice de chute de la fécule de pomme de terre (220), donnée dans le tableau XXII, est assez faible par rapport à celle de la farine de blé (312) et est à la limite de celles données par les normes optimales pour la panification et qui sont de l'ordre de 200 à 300 secondes (Godon et Loisel ; 1997). Ceci est dû à la diminution de la résistance de l'amidon de la fécule de pomme de terre à la dégradation enzymatique et aussi au fait que la température de gélatinisation est plus basse que celle de l'amidon de blé.

L'addition de gluten aux farines composites diminue l'indice de chute. Cette addition a été au dépend de la teneur en amidon.

1.10. Caractéristiques rhéologique des formules par l'Alvéographe

Les résultats du test à l'Alvéographe Chopin résumé dans le tableau (XXIII) permettent de prédire la qualité boulangère d'une farine. Ce test présente un intérêt pratique très apprécié par les professionnels de la seconde transformation, du fait qu'il rend compte par le biais des différents paramètres alvéographiques mesurés, de l'aptitude d'une farine à être travaillée en fonction de sa force boulangère pour une finalité précise (Roussel et Chiron, 2002).

Tableau XXIII : Caractéristiques rhéologiques des farines composites : fécule de pomme de terre / farine de blé avec (+) ou sans (/) ajout de gluten vital

Caractéristiques rhéologiques	Témoin (0 %)	50 % de F.P		70 % de F.P		80 % de F.P	
		/	+ gluten	/	+ gluten	/	+ gluten
P (atm)	81	30	58	32	66	20	99
L (mm)	89	74	83	13	44	9	20
G (mm)	76	19.1	23.1	8	14.8	6.7	14.8
W (10 ⁻⁴ joule)	210	67	181	21	123	10	193
P / L	01.09	0.4	0.7	2.46	1.5	2.22	2.25
Ie(%)	52.2	41.3	62.2	0	53.2	0	0

P : pression maximale, **L** : longueur, **G** : Gonflement, **W** : surface de l'alvéogramme, **Ie** : indice d'élasticité. **F.P** : fécule de pomme de terre.

Les résultats montrent que l'incorporation de la fécule de pomme de terre induit des modifications notamment :

- de la valeur P (ténacité de la pâte) qui est un indicateur de la rétention de gaz par la pâte comme l'indique Wang et *al.* 2002. Cette valeur diminue avec l'augmentation du taux de la fécule de pomme de terre ajouté, à 20 mm H₂O, pour atteindre 20 atmosphères à 80 % de féculés. Ceci est la conséquence de la mauvaise hydratation de la pâte composite.

- du travail de déformation (W) et de l'élasticité (L) qui diminuent avec l'augmentation du taux de fécule de pomme de terre incorporé (Figure 9). Quand au rapport P / L, traduisant l'équilibre de l'alvéogramme, il a augmenté de 1,09 à 2,25 pour une substitution de 80 %. D'après Liu et *al.* (1996), ces farines sont orientées pour la panification car le rapport P / L se situe entre 0,8 et 2.

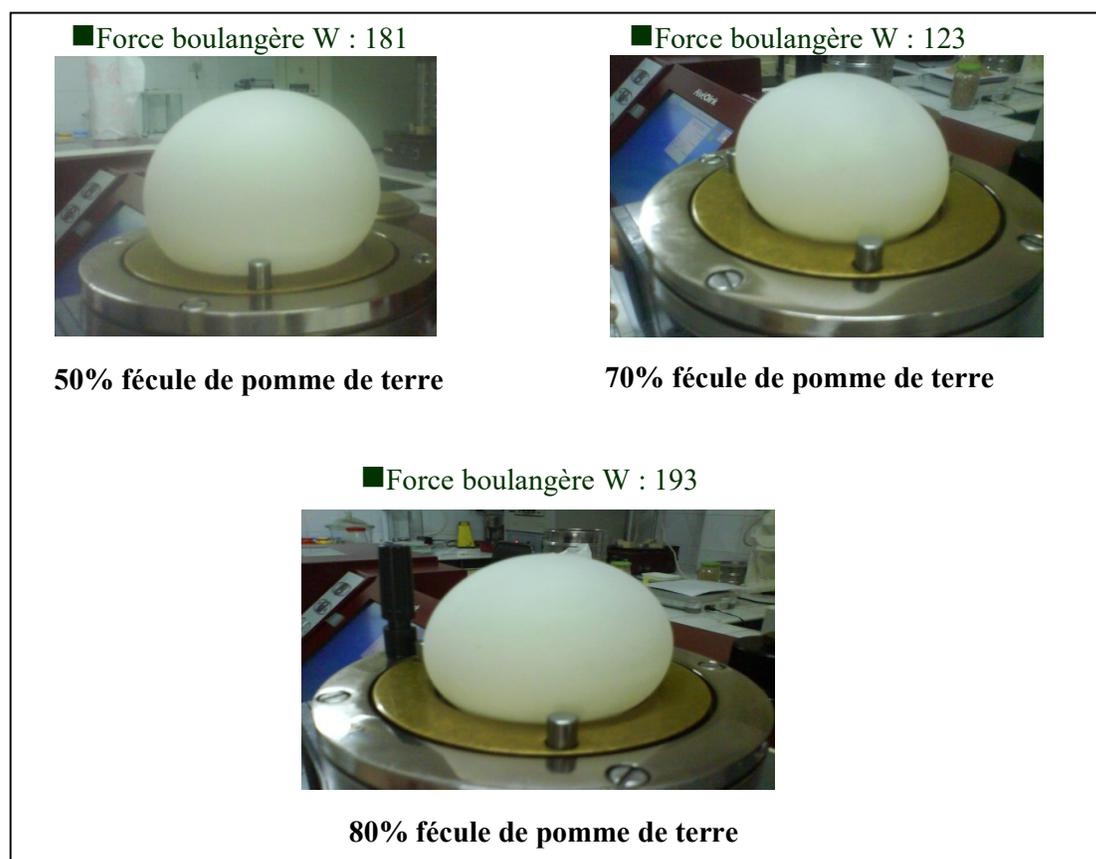


Figure 9 : Bulle d'air de l'Alvéographe des farines utilisées (avec gluten)

L'addition de gluten permet de réguler ces paramètres, où la valeur P augmente jusqu'à 99 mm H₂O. Elle est supérieure à la limite de 80 mm fixée par Roussel et Chiron (2002).

D'après Feillet (2000), la variabilité de la force boulangère peut s'expliquer par la teneur en gliadine et en gluténine et également par la disponibilité de certains acides aminés (cystéines) qui fournissent des ponts désulfures intramoléculaires par les quelles s'associent les gliadines, donc diminution des interactions intermoléculaires qui favorisent la force de la pâte.

Ces résultats montrent que les farines composites de féculé de pomme de terre et de farine de blé conduisent à des pâtes moins résistantes à la déformation et peu extensibles pour des taux d'incorporation de 80 %.

Le témoin contient un W (surface de l'alvéogramme) optimal demandé en panification, une bonne force boulangère avec un G (gonflement) inférieur à 23 mm. Ces résultats sont donc conformes aux normes. Par ailleurs, le rapport P / L est élevé et déséquilibré (P élevés et L faibles) ce qui explique que ces farines ont subi une mouture intense avec un taux d'extraction élevé.

Le mélange de la farine de blé et de la féculé de pomme de terre sans gluten donne une surface (W) très faible, un G faible et un rapport P/L élevé (pression maximale très élevée par rapport à la longueur). Les résultats montrent que cette farine est faible est déséquilibrée ; mais elle peut être utilisée en biscuiterie ou en boulangerie avec des corrections en vu d'augmenter le W et G. La correction peut se faire à l'aide de coupage avec une autre farine plus forte ou avec addition du gluten.

Le mélange de la farine de blé et de la féculé de pomme de terre avec le gluten donne certain correction concernant le W et le G ce qui améliore la force boulangère de ce mélange. Les résultats montrent que le gluten influence négativement la pression maximale (P) qui augmente jusqu'au atteindre 99 mL. Cette augmentation influence, par la suite, le rapport P/L qui atteint une valeur maximale de 2.25 avec 80 % de féculé de pomme de terre. Ceci implique que l'effet du gluten se traduit par une augmentation de la pression P et par une légère diminution du G.

2. ESSAI DE PANIFICATION EN MELANGE

L'aptitude des formules à la féculé de pomme de terre à la panification est étudiée par l'essai de panification qui reste selon Feillet (2000) le moyen le plus garanti permettant de tirer des conclusions confirmatives sur la valeur boulangère d'une farine.

Plusieurs essais sont réalisés au niveau du laboratoire et d'autres essais au niveau de la boulangerie avec l'aide d'un expert français en panification (J. Prodhomme de la société Lactamel de Sidi-belabès) afin de connaître le taux maximal de substitution et de corriger d'une façon adéquate les défauts par l'addition des améliorants de panification. Le taux d'hydratation est fixé de manière à obtenir une pâte assez molle, mais qui reste façonnable manuellement.

2.1. Caractéristiques rhéologiques de la pâte

Les caractéristiques rhéologiques de la pâte à pain témoin et après l'incorporation de la féculé de pomme de terre à différents pourcentages sont données dans le tableau XXIV.

Tableau XXIV: Influence du taux de substitution de la fécule de pomme de terre sur les caractéristiques rhéologiques des pâtes de farines utilisées.

<i>Etapas de panification</i>	<i>Paramètres appréciés</i>	<i>Taux d'incorporation de la fécule de pomme de terre / farine de blé tendre</i>						
		<i>Témoin 0%</i>	<i>Pâte du pain des ménages</i>					
			<i>50%</i>	<i>50% (+ G)</i>	<i>70%</i>	<i>70% (+ G)</i>	<i>80%</i>	<i>80% (+ G)</i>
Fin du pétrissage	<i>Collant</i>	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Extensibilité</i>	+	-	+	-	+	-	+
	<i>Elasticité</i>	+	-	+	-	+	-	+
	<i>Consistance</i>	+	-	+	-	+	-	+
	<i>Lissage</i>	+	+	+	-	+	-	+
Fin du pointage	<i>Relâchement</i>	+	+	+	+	+	+	+
Fin du façonnage	<i>Collant</i>	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Extensibilité</i>	+	+	+	-	-	-	-
	<i>Elasticité</i>	+	+	+	-	+	-	+
Fin de l'apprêt	<i>Déchirement</i>	+	+	+	-	+	-	+
Mis en forme	<i>Elasticité</i>	+	+	+	-	+	-	+
	<i>Collant</i>	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Aspect du pâton</i>	+	-	+	-	+	-	+
	<i>Forme du pâton</i>	+	+	+	-	+	-	+

(+ G) plus gluten ; (+) normale ; (++) excès ; (-) insuffisant

La pâte à 50 % de fécule de pomme de terre sans gluten présente presque les mêmes caractéristiques que celles du témoin (100 % farine de blé), sauf pour l'extensibilité, l'élasticité et la consistance qui reste insuffisante. Mais au delà de 50 % sans gluten les pâtes ont des caractéristiques différentes de celle de témoin, et ont presque les mêmes caractéristiques rhéologiques entre elles (tableau XXIV). Ces différences dans les caractéristiques rhéologiques sont dues à la composition différente de la farine de blé (amidon, gluten, sels minéraux....) et celle de la fécule de pomme de terre qui est constituée que d'amidon. Jain et Sherman (1976), ont mentionnés que l'incorporation de fécule de pomme de terre dans les pâtes améliore les

caractéristiques du pain. Cette amélioration est due à l'azote soluble et à l'amidon qui contribuent à la structure de la pâte et agissent comme nutriment pour les levures.

Les résultats obtenus pour les pâtes sans gluten montrent une consistance de pâte à gâteau, elle ne peut être façonnée et doit être mise en moule. Cette structure est très différente à celle d'un pâton de pain de céréales, qui est si agréable à travailler et peut être façonnée (Figure 10). Les farines sans gluten nécessitent plus d'eau que les farines avec gluten.

Le manque d'élasticité et d'extensibilité de la pâte revient au manque du gluten dans la pâte à féculé de pomme de terre; l'élément essentiel durant le pétrissage et la mise en forme. Pour obtenir une pâte élastique il faut ajouter du gluten. Les pâtons des pâtes sans gluten des différentes farines composites grimpent plus vite que le pâton avec gluten.

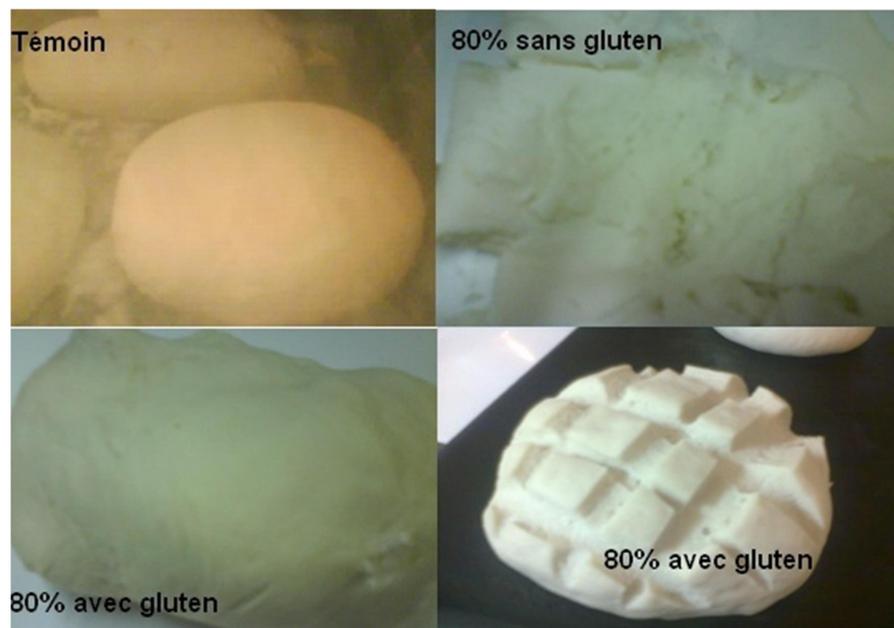


Figure 10: Aspect de la pâte après pétrissage et après fermentation

Pour améliorer les caractéristiques et former un réseau viscoélastique de la pâte (extensibilité, élasticité et ténacité) nous avons ajouté 12 % de gluten dans les différentes formules. Les effets de cette addition sur les caractéristiques rhéologiques de la pâte sont donnés dans le tableau XXIV.

Les caractéristiques rhéologiques des pâtes avec gluten sont presque similaires et les appréciations s'accordent qu'il n'y a pas de différences significatives entre la pâte à farine de

blé et celle des farines substituées avec la fécule de pomme de terre et gluten même avec un pourcentage de 80%. Le gluten a exercé un effet positif sur l'élasticité (glutenines), l'extensibilité (gliadines), la consistance et même sur l'apprêt de la pâte. Il a ainsi, permis la rétention de la pression du gaz carbonique, qui permet à la pâte de se développer (Figure 10).

L'apport de gluten supplémentaire a augmenté le réseau protéique dans la pâte à la fécule de pomme de terre, et a permis ainsi de mieux lier l'amidon, l'eau et les zones de rupture ; afin de donner une consistance onctueuse.

Le développement de la pâte, des farines composites additionnées de gluten, durant l'apprêt est conditionné par les aptitudes particulières que présente le réseau gluténique à pouvoir s'étirer sous la pression gazeuse tout en restant insuffisamment imperméable. Avec le temps, la vitesse d'expansion est ralentie et la levée de la pâte tend vers une limite. Résultat qui confirme celui trouvé, avec des pâtes à céréales, par Roussel et Chiron (2002) qui montre que ce ralentissement résulte de la rupture de certaine membrane alvéolaire.

Le pouvoir de fixation d'eau par le gluten permet donc une augmentation de la consistance de la pâte. Cette dernière s'accompagne toujours d'une amélioration de la stabilité des pâtes et une augmentation de la résistance élastique comme l'indique Godon et Willm (1991).

Les propriétés de rétention de gaz au sein des pâtes des farines composite additionnée de gluten ont été suivies par mesure de volume des pâtes lors de la fermentation à l'aide d'un indicateur de pousse improvisé. Les résultats obtenus (Figure 11) montrent que toutes les pâtes formées à partir de farines composites lèvent bien lors de la fermentation et sont comparables à celle obtenu avec 100% farine de blé. Plus la capacité de rétention d'air dans la pâte est élevée, plus important est le volume du pain. Poitrenaud (1994) indique que la capacité de rétention de CO₂ est liée à la quantité d'air incorporée lors du pétrissage. En effet, c'est à partir du nuclei d'air que le CO₂ produit par la levure va diffuser et faire lever la pâte.

Lors de la fermentation, nous considérons que le milieu est principalement anaérobie. Au cours du pétrissage, l'apport d'air et la présence d'oxygène dissous dans l'eau permettent à la levure de fonctionner en aérobiose. Même si le gaz est consommé très rapidement en cours de pétrissage, cela facilite la multiplication de la levure. Selon Chargeleguet *et al.* (1994), le

nombre de cellules double pendant la fermentation panaire à 27°C avec 1% de levure ; la multiplication est plus forte avec l'augmentation d'hydratation des pâtes.

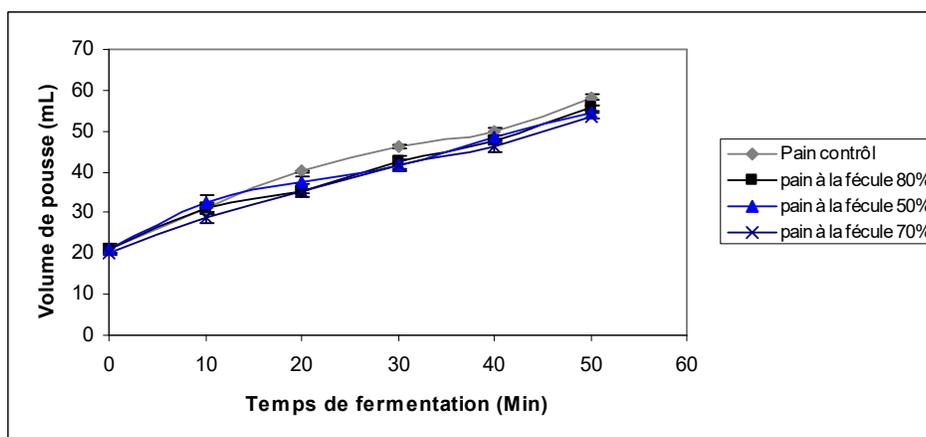


Figure 11 : Influence des taux d'incorporation de la féculé de pomme de terre sur le profil de rétention de gaz de pâte.

➤ Conclusion

Le gluten ajouté à la pâte substitué avec la féculé de pomme de terre peut absorber 2 à 3 fois son poids en eau et après hydratation, il se caractérise par son aptitude à former un réseau élastique, extensible et imperméable. Il a permis d'avoir une :

- augmentation de la force boulangère de la pâte,
- amélioration du réseau glutineux et l'augmentation de l'élasticité de la pâte,
- amélioration de l'hydratation de la farine,
- amélioration de la rétention gazeuse,
- amélioration du développement des pâtons.

2.2. Caractéristiques organoleptiques du pain

La norme AFNOR définit le caractère organoleptique comme la propriété d'un produit perceptible par les organes des sens (vue, odorat, audition, toucher, gout).

Pour le consommateur, la notion de bon pain ou de mauvais pain, est étroitement liée à ces caractéristiques. Par réaction, le boulanger doit avoir une approche de plus en plus descriptive de son produit, lui permettant de mieux communiquer auprès de sa clientèle. Du point de vue professionnel, la description précise, des textures et des goûts, permet une avancée

vers une meilleure maîtrise du savoir-faire pour répondre à des attentes précises des consommateurs (Roussel et Chiron, 2002).

Les résultats des tests d'appréciation de la qualité organoleptique des pains obtenus sont donnés dans le tableau XXV.

Tableau XXV : Influence du taux de substitution la fécule de pomme de terre sur la qualité organoleptique du pain.

Critères observés	<i>Taux d'incorporation de la fécule de pomme de terre / farine de blé tendre</i>						
	<i>Témoin</i>	<i>Pain des ménages</i>					
		50%	50% (+ G)	70%	70% (+ G)	80%	80% (+ G)
Aspect du pain							
Volume du pain	+	-	+	--	+	--	+
Section	+	+	+	+	+	-	+
Couleur	+	-	+	-	-	-	-
Epaisseur	+	+	+	+	+	-	+
Croustillant	+	+	+	-	+	++	+
Aspect de la mie							
Couleur	+	+	+	-	+	--	+
Texture : souplesse	+	-	+	-	++	-	++
Elasticité	+	+	+	-	+	-	+
Collant	+	+	+	+	+	+	+
Alvéolage : régularité	+	+	+	--	+	--	+
Epaisseur	+	+	+	-	+	-	+
Flaveur							
L'odeur	+	+	+	+	+	+	+
La saveur	+	+	+	-	+	-	+

(+) normale ; (-) un peu insuffisant ; (--) insuffisant

Les résultats montrent que les pains à 70% et 80% de fécule de pomme de terre sans gluten sont des pains plats non épais ; tandis que les pains à 50% de fécule de pomme de terre sans gluten présentent des caractéristiques presque identiques que ceux des pains témoins avec quelques défaut dans la souplesse et la forme. Il est sans doute impossible d'obtenir un pain à la

mie aérée avec une farine sans gluten car le gluten influence beaucoup la levée du pain et donne une mie légère et alvéolée et une croûte croustillante.

L'ajout de gluten aux farines composites corrige l'aspect et la texture des pains obtenus. Les aspects externes et internes des pains sont présentés dans les figures 12 et 13. Les pains obtenus avec les formules avec gluten sont améliorés et donnent des pains avec des caractéristiques optimales, y compris une bonne apparence, forme régulière et une croûte semblable à celles du pain fait de farine de blé. Ils ont un bel aspect extérieur (Figure 12) avec une coloration de croûte moins foncée par rapport aux pains préparés avec la farine de blé. Dupin *et al.*, (1992) et Boyacioglu et D'Appolonia (1994) montrent que la coloration foncée des pains est influencée par l'élévation du taux d'amidon endommagé et le taux des sucres totaux présents dans la farine. Concernant l'aspect de la mie (Figure 13), les pains ont des alvéoles aérées, mal dispersés et non homogènes, cela peut être expliqué par la mauvaise répartition ou l'incorporation des α -amylases.



Figure 12: Aspect extérieur des pains à la féculé de pomme de terre



Figure 13: Aspect de la mie des pains à la féculé de pomme de terre

L'élasticité des pains obtenus avec des substitutions de 70% et 80% de féculé de pomme de terre est un peu élevée par rapport au pain témoin, ceci peut être expliqué par le taux d'eau libre qui augmente en fonction de degré de gélification de l'amidon comme l'indique Guilbot et Godon (1984).

3. INFLUENCE DU TAUX DE GLUTEN VITAL ET D'AMÉLIORANT SUR LES DIFFÉRENTS PAINS

A partir des résultats obtenus dans la première et la seconde partie, nous avons conclu que nous pouvons avoir un pain à 80% de féculé de pomme de terre et de gluten avec presque les mêmes caractéristiques que le pain ordinaire. Dans cette partie, nous avons étudié d'une part l'influence du taux d'incorporation de gluten sur les caractéristiques et comportement des pâtes et pains, et d'autre part, la composition approximative, l'acceptabilité et les caractéristiques sensorielles du pain à 80% de féculé de pomme de terre additionné de 12% de gluten.

3.1. Influence du taux d'incorporation de gluten et d'améliorant sur les caractéristiques rhéologiques des pâtes et des pains

Les formules de l'étude sont basées sur l'addition de gluten à différents pourcentages et d'améliorant de panification pour montrer les avantages qu'ils peuvent apporter au pain à 80 % de féculé de pomme de terre.

Les formules utilisées : F1 : Témoin (pain de farine de blé), F2 à F22 (pain à 80% de féculé de pomme de terre + gluten à différentes concentrations : de 0 à 10% avec un intervalle de 0.5 %).

3.1.1. Caractéristiques rhéologiques des pâtes

A) En fonction de la teneur en gluten

Les caractéristiques rhéologiques des pâtes à pain, après l'incorporation de la féculé de pomme de terre à différents pourcentages de gluten, sont données dans le tableau **XXVI**.

Tableau XXVI: Influence du taux d'incorporation de gluten vital sur les caractéristiques rhéologiques des pâtes utilisées.

	Pourcentage du gluten	F 2		F3		F4		F5		F6		F7		F8		F9		F10		F11		F12	
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	In	Ex	In	ex	In	ex	In	ex	In	ex	In
	Intensité	In	Ex	in	Ex	In	ex	In	ex	In	ex	In	ex	In	ex								
Pétrissage	Lissage		***		***		***		**		**		**		**		*		*		*		*
	Consistance de la pâte	***		***		***		***		***		**		**		**		**		**		**	
	Extensibilité	**		**		**		**	**	**		**		**		*		*	*		*		*
	Elasticité	***		***		**		**		**		**		**		**		*	**		**		**
	Relâchement	**		**		**		**		*		**	**	**	**	**		**		**	**	**	**
Pointage	Pousses-en Cuve	**		**			**	**	**	**	**			**	*		**	**	**	**	**	**	
	Détente relâchement	**		**		**		*		*		*			**	**	**	**	**	**	**	**	
Façonnage	Allongement	**		**		**		**	**	**	**			*		*		*		*		**	
	Déchirement		**		**		**	**	**	**	*		*		*		*		*	*		*	
	Elasticité	*		*		**	**	**	*	*		*		*		*		*	**		*	*	
	Collant de la pate	*		*		*	*	*	*	*	*		*		*		*		*	*		*	
Apprêt	Activité fermentative	***		**		**		*		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	***	***	***	
	Déchirement	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	
Mise au four	Collant de la pate	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Tenue	**		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	*	**	*	**	**	

	Pourcentage du gluten	F13		F14		F15		F16		F17		F18		F19		F 20		F21		F22	
		5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	In	Ex	In	ex	In	ex	In	ex	In	ex
	Intensité	In	Ex	In	ex	In	ex	In	Ex	In	ex	in	Ex	In	Ex	In	ex	In	ex	In	ex
Pétrissage	Lissage		*		*		*	*			*		*	*		*		*		*	
	Consistance de la pâte		**			**		**		**		**		**		**		**		**	
	Extensibilité		*		*		*		**		**		**		*		**		**		**
	Elasticité		**		**		*		*		*		**		**		***		**		**
	Relâchement	**			**		**		*		**		**		*		**	**			*
Pointage	Pousses-en Cuve		*		**		**		**		**		**		**		**		**		**
	Détente relâchement		**		**	**	**		**		**		**		**		**		**		**
Façonnage	Allongement		**		**	*		**		**		**		**		**		**		**	*
	Déchirement		*	*			*		**		**		*		**		**		*		*
	Elasticité		*		*		*		***		**		***	**		**		**		*	
	Collant de la pate	*		*			*		*		*		*	*		*	*		*		*
Apprêt	Activité fermentative		**		*	*		**		**		**		***		**		**		**	***
	Déchirement	**			**	**		*		*	*		*		**		*	*		*	*
Mise au four	Collant de la pate	*			*	*		*		*	*		*		*	*		*	*		*
	Tenue		**		*		**		*	*		**		*	*		**		**		**

Ex : excès, in : insuffisance, ***: excès, **: moyen, *: normal

➤ *Au cours de pétrissage*

Les résultats montrent que les pâtes obtenues par les formules F 2 à F 8 ont les mêmes caractéristiques rhéologiques avec un excès de lissage, une faible consistance, extensibilité et élasticité, ainsi qu'un relâchement visible.

Ces caractéristiques se traduisent par l'absence ou la faible teneur des pâtes en gluten, l'élément responsable de la formation du réseau élastique. La pâte a un caractère de non fermeté et un comportement plastique trop faible, elle ne reprend pas sa forme initiale après une déformation.

Cette texture de la pâte correspond au développement du réseau glutineux et à l'organisation croisée des différents composants de la pâte (déroulement et orientation des protéines du gluten). Une bonne texture correspond à un bon équilibre entre élasticité et extensibilité. Résultat trouvé par Annick (2007) avec la farine de blé tendre. La figure 14 montre l'aspect de la pâte après le pétrissage.

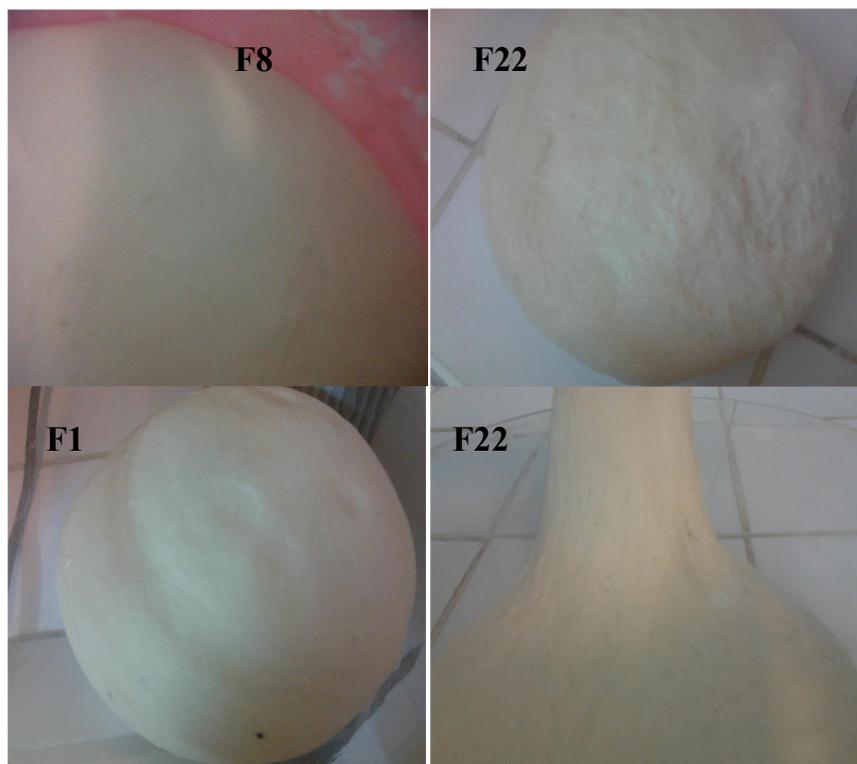


Figure 14: Aspect de la pâte après le pétrissage.

Les résultats obtenus pour les formules F 9 à F15 montrent que les pâtes commencent à donner un aspect amélioré mais moins lisse et fragile, une bonne extensibilité entre 19 à 30 cm et une élasticité normale surtout pour les formules F12 à F15. Cette amélioration est due à l'élévation de la teneur en gluten et la capacité de la pâte à former un réseau élastique plus important.

Avec les formules F 16 à F 22, à des teneurs en gluten allant de 7% à 10%, les pâtes ont des caractéristiques semblables à celle du témoin pour l'extensibilité, l'élasticité, la consistance et le relâchement surtout pour la formule F 22. La pâte issue de cette dernière présente un caractère de lissage qui demeure persistant.

Ces améliorations sont attribuées à la teneur adéquate des pâtes en gluten qui donne naissance à un réseau élastique approprié et donc une bonne texture à la pâte.

➤ *Pointage et fermentation*

Une faible activité fermentative de la pâte est observée pour toutes les formules de F2 à F 8. Cette insuffisance est liée toujours à la faible quantité de gluten (0.5% à 3%) responsable de la rétention gazeuse. Les gaz produits par la fermentation restent emprisonnés dans la pâte pour lui donner la texture alvéolée comme mentionnée par Annick (2007).

Une activité fermentative acceptable est obtenue pour les formules F 9 à F 15, à cause de l'augmentation de la teneur en gluten qui passe de 3.5% à 6.5%.

Cependant, une très bonne activité fermentative est obtenue pour les formules F 16 à F 22, puisque la teneur de la pâte en gluten est proche de celle du témoin (7% à 10%).

➤ *Façonnage*

- **Déchirement** : les résultats obtenus pour les additions de 0.5% à 3% de gluten (formules F 2 à F 8) montrent que les pâtes ont un déchirement très important. Ce caractère commence à diminuer à partir d'une teneur en gluten de 5% (formule F 12) ; mais ne disparaît pas totalement.

Ce déchirement a une relation avec la faible activité diastasique de la farine. La figure 15 montre le déchirement de la pâte.



Figure 15 : Déchirement de la pâte.

B) En fonction d'améliorant de panification

L'action de l'améliorant se manifeste au cours des différentes étapes de la panification de la manière suivante :

- ✓ le pétrissage : formation du réseau de gluten et apport d'extensibilité,
- ✓ le laminage-façonnage : apport d'extensibilité,
- ✓ la fermentation : accélère la fermentation et consolidation du réseau de gluten pour réduire le temps de deuxième fermentation qui diminue de 1 h 30 min à 1 heure avec de bons résultats de fermentation,
- ✓ le renforcement de la tenue des pâtons,
- ✓ la cuisson : assurance d'un beau développement,
- ✓ la conservation du produit fini : prolongation de la fraîcheur du pain.

L'améliorant de panification agit à la fois sur les caractéristiques de la pâte, la conduite de la fermentation et la qualité du produit fini (tableau **XXVII**).

Tableau XXVII : l'influence de l'ajout d'améliorant sur le comportement de la pâte et du pain à la fécule de pomme de terre.

	Pourcentage du gluten	F 2		F3		F4		F5		F6		F7		F8		F9		F10		F11		F12	
		0		0.5		1		1.5		2		2.5		3		3.5		4		4.5		5	
	<i>Intensité</i>	<i>In</i>	<i>ex</i>																				
Pétrissage	Lissage		***		**		**		**		**		**		**	**		*		*		*	
	Consistance de la pâte	**		**		**		**		**		*		*		*		*		*		*	
	Extensibilité	*		*		**		**		*		*		*		*		**		**		**	
	Elasticité	**		**		**		*		*	**		**		**		**	*		**		**	
	Relâchement	**		**		**		*	**		*		*		*		*		*		*		*
Pointage	Pousses-en Cuve		*		*		*		**		**		**		**		**		*		*		*
	Détente relâchement		*		*		**		**		**		**		*		*		*		*		*
Façonnage	Allongement	**		**		**		**		**	**		**		**		**		**		**	**	
	Déchirement		**		**		**		**		**		*		*	**		*		*		*	
	Elasticité	**		**		**		**		*	*		*		*		*		**		*		*
	Collant de la pate	*		*		*		*	*	*	*		*		*		*		*		*		*
Apprêt	Activité fermentative	**		**		**		*		*		*		**		**		***		***		***	
	Déchirement	*		*		**		**		*		**		**		*		**	*		**		**
Mise au four	Collant de la pate	*		*		*	**		*	*		*		*		*		*		*		*	
	Tenue		*		*	*	*		*	*		*		*		*	*		*		*		*

	Pourcentage du gluten	F13		F14		F15		F16		F17		F18		F19		F 20		F21		F22	
		5.5		6		6.5		7		7.5		8		8.5		9		9.5		10	
	<i>Intensité</i>	<i>In</i>	<i>ex</i>																		
Pétrissage	Lissage		*	**		**			*		*		*	*		*		*		*	
	Consistance de la pâte		*			*		**		**		**		**		**		**		**	
	Extensibilité		**		**		**		**		**		**		**		**		**		**
	Elasticité		**		**		**		*		*		*		*		*		*		**
	Relâchement		*		*	*			*		*		*		*		*		*		*
Pointage	Pousses-en Cuve		*		*		*		**		**		**		*		*		*		*
	Détente relâchement		*		*		*	*			*		*		*		*		*		*
Façonnage	Allongement		**		*		**		*		**		**		**		**		**		**
	Déchirement	**		**		**		**		**		**		*	*		*		*		*
	Elasticité		*				*		*		**		**		**		**		**		*
	Collant de la pate		*		**		*	**		**		*		*		*		*		*	*
Apprêt	Activité fermentative		***				***		***		***		**		**		***		***		***
	Déchirement	*		*			*	*			*		*		*		*		*		*
Mise au four	Collant de la pate	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	
	Tenue		*		*		*		*	*		*		*		**		**		**	**

Ex : excès, in : insuffisance, ***: excès, **: moyen, *: normal

Aspect du pain	Volume de pain		Section		Couleur		Epaisseur		Croustillant		Coup: développement		De: régularité		Lame: déchirement		
	Intensité	In	Ex	In	Ex	In	ex	In	ex	In	Ex	in	ex	In	ex	In	Ex
Formules	F 2	*		*		*		*			***	*		*		*	
	F 3	*		*		*		*			**	*			*	*	
	F 4	*		**		*		*			**	*		*		*	
	F 5	*		**		*		*			**	*		*		*	
	F 6	*		**			*	*			**		*		*		*
	F 7	*		**			*		*		**		*		*		*
	F 8		*	**			*		*		**		*		*		*
	F 9		*		**		*		*		*		**		*		*
	F 10		*		**		*		*		*		**		*		*
	F 11		*		**		*		**		*		**		*		*
	F 12		*		**		*		**	*			**		*		*
	F 13		*		**		*		**	*			**		*		*
	F 14		*		**		*		**		*		**		*		*
	F 15		*		**		*		**		*		**		*		*
	F 16		**		**		**		**		*		**		**		*
	F 17		**		**		**		**		*		**		**		*
	F 18		**		**		**		**		*		**		*		*
	F 19		**		**		**		*		*		***	*			*
	F 20		**		**		**		**		*		***	*			*
	F 21		**		**		**		**		*		***		**		*
	F 22		**		**		**		**		*		***		**		*

Ex : excès, in : insuffisance, ***: excès, **: moyen, *: normal

La figure 16 montre l'effet de l'améliorant sur la pâte.



Figure 16: L'effet d'améliorant sur l'activité fermentative de quelques formules.

3.1.2. Caractéristiques du pain

B) En fonction du gluten

➤ *Aspect du pain*

Les pains obtenus par les farines additionnées de 0.5% à 3% de gluten (formules F 2 à F 8) sont des plats non épais et la section est au-dessous de la norme. Tandis que les pains obtenus pour les formules F8 à F 21 sont améliorés et donnent un pain normal. La figure 18 montre les différents aspects du pain.

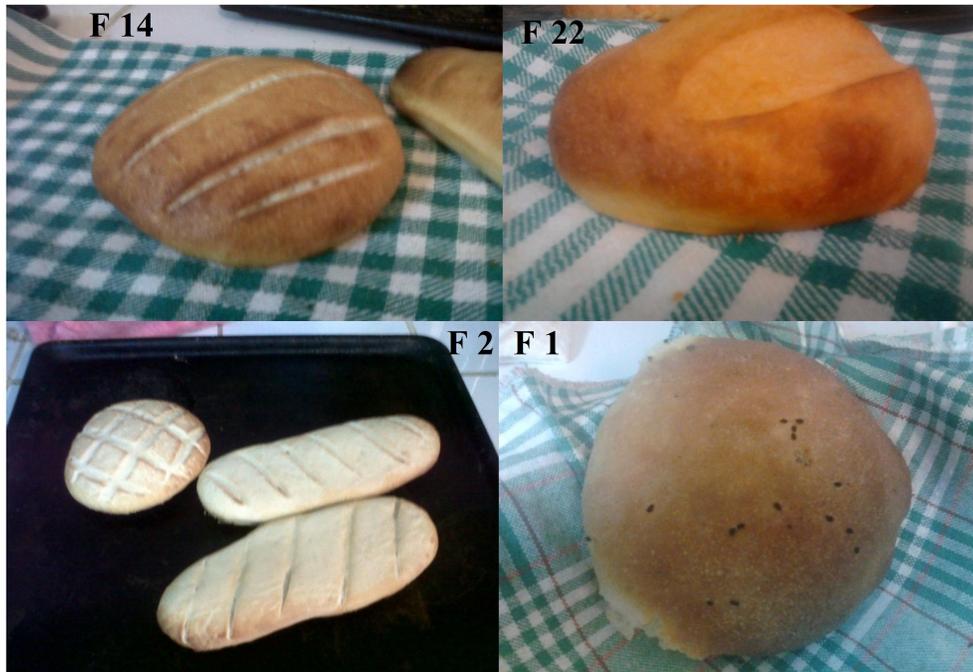


Figure 17 : Aspect du pain aux différentes formules.

➤ *Les coups de lame*

Les résultats des coups de lame sont presque les mêmes pour toutes les formules mais deux remarques sont à noter :

- ✓ l'ouverture des coups de lame réalisée avant la fermentation a donné au pain un meilleur développement et un bon aspect avec de bonnes ouvertures ;
- ✓ la disparition des coups de lames réalisées après la fermentation donne au pain un aspect aplati. La figure 18 montre le développement des coups de lame.



Figure 18 : Développement des coups de lame.

➤ *La croûte*

Les pains obtenus par les formules F 2 à F 8 ont donné des croûtes très dures, fissurées, épaisses, d'une couleur hétérogène, des zones pâles et des zones marron. Ces défauts ont une relation avec le phénomène peu diastasique de la fécule de pomme de terre.

Les croûtes des pains obtenus par les formules F 9 à F 14 ont donné des caractères améliorés avec une texture moins dure, plus croustillante et d'une couleur marron homogène. Alors que, les pains obtenus par les formules F 16 à F 22 ont donné les mêmes caractéristiques que de celles du témoin ; surtout la formules F 22 au niveau de la croûte (texture, couleur et croustillance).

La croûte doit être lisse, brillante, dépourvue de cloques, colorée, dorée régulièrement, bien adhérente à la mie et croustillantes. Les coups de lames réguliers doivent montrer des jets bien renflés et des arrêtes bien détachées. La figure 19 montre l'aspect des pains selon différentes formules.



Figure 19: Aspect de la croûte selon différentes formules.

➤ *La mie*

La création d'inclusions d'air maintient des poches d'air, dans ce cas, on ne peut pas parler de "bulles" ou de "trous" mais de cavernes. L'origine étant une mauvaise liaison des couches au façonnage et au boulage. Le maintien de poches d'air à certains endroits, va contribuer avec leur expansion au four, à la formation d'espaces vides importants.

La mie doit être souple, élastique, à la texture aérée, formées d'alvéoles aux parois fines et nacrées, d'une couleur crème en pétrissage normal ou blanc en pétrissage intensifié et la mâche ne doit être ni collante, ni cartonneuse et offrir avant tout de la croustillance.

Les résultats obtenus pour les formules F2 à F9 montrent que la mie de ces pains et d'une couleur extra blanche avec une texture élastique, compacte, collante, non aérée et avec des petits alvéoles serrés.

Les mies des pains issus des farines composites additionnées de 4 % de gluten et plus (à partir du F10) évoluent de manière favorable : la texture caractérisée par de bonnes alvéoles non serrées et bien aérées, non compactes, peu collantes et d'une couleur blanche. Alors que celles des farines composites additionnées de 10 % de gluten (F22) est semblable à celle obtenue par la formule F1 avec : une mie souple, élastique, une texture aérée, des alvéoles fines, irrégulières et d'une couleur blanche. La figure 20 montre l'aspect de la mie en fonction de la teneur en gluten.

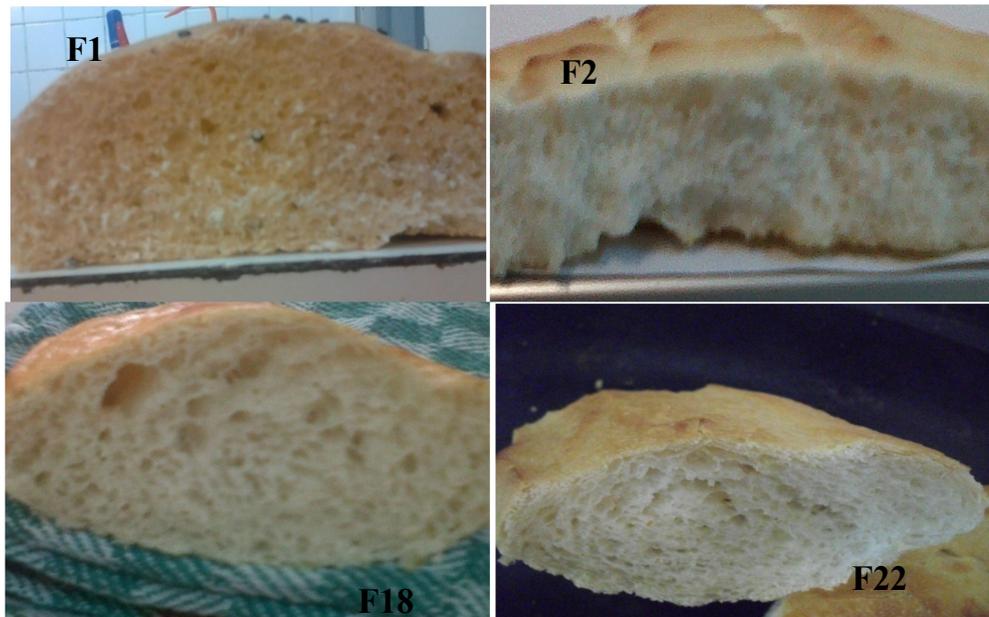


Figure 20 : Aspect de la mie de différents pains à la féculé de pomme de terre en fonction de variation de gluten comparativement de celle de témoin.

B) En fonction d'améliorant de panification

➤ Aspect du pain

L'améliorant de panification est ajoutée à toutes les formules d'essais de panification, une observation est notée pour toutes les formules est que l'ajout de l'améliorant a contribué à une amélioration des caractéristiques de la croûte surtout au niveau de la texture où il a notamment diminué la dureté.

Spécialement les caractéristiques de la croûte de la formule F 22+A donné un très bon résultat similaire de celui de pain ordinaire lisse, brillante, croustillante, Adhérent à la mie, grignes régulières, bien jetée. Comme cela est indiqué par la figure 21.



Figure 21 : Aspect de la croûte de la formule F22 + améliorant.

La mie des pains aux améliorants de panification est nettement meilleure que celle des pains sans améliorants. La mie présente beaucoup d'alvéoles non serrées, non compactes, aérées et d'une forme irrégulière. En effet, Lafaye (2003) confirme que l'améliorant de panification facilite et sécurise le travail du boulanger en agissant sur le comportement de la pâte aux plans :

- *Rhéologique* : en augmentant sa tenue, sa force ou son extensibilité pour mieux supporter les passages en machine.
- *Fermentaire* : en optimisant l'action de la levure par la régularisation de la fermentation et l'augmentation de la capacité de rétention gazeuse.
- *Prise de volume* : en favorisant le développement des produits à la cuisson.

La performance d'un améliorant dépend du choix et du dosage de chacun des ingrédients pour un effet de synergie optimum d'activité. Tout cela évidemment en rapport avec la qualité de farine, le type d'équipement utilisé, le procédé de panification et bien sûr la nature du pain. La figure 22 montre l'aspect de la mie de la formule F 22 et F 14.



Figure 22: Aspect de la mie de la formule F 22 et la F 14 par l'ajout de l'améliorant.

3.2. Evaluation de la qualité nutritionnelle des pains

La composition approximative du pain à base de féculé de pomme de terre et à base de farine de blé est représentée dans le tableau **XXVIII**.

Tableau XXVIII : Composition nutritionnelle des pains (g / 100g)

Produits	Humidité	Glucides	Protéines	Lipides	Fibres
Pain de blé	28.20	60.4	10.5	0.9	-
Pain de féculé de pomme de terre	31.33	61.36	6.87	0.37	0.07

Les pains de blé (contrôles) obtenus présentent pour 100 g : 10,5 g de protéines, 60.4 g de glucides et 0,9 g de lipides. Ces valeurs sont comparables aux valeurs données par Cabrol (2006). Cependant, les pains préparés à base de 80% de féculé de pomme de terre présentent des taux plus faibles : 6,87g de protéines et 0,37g de lipides. Ce résultat est dû à la composition de la féculé de pomme de terre qui est riche en sucre et pauvre en lipides et en protéines. Ces résultats restent comparable et le taux de protéine peut être accompli par l'alimentation.

3.3. La qualité organoleptique des pains à 80% de féculé de pomme de terre

L'appréciation des pains composites avec un taux maximum (80%) d'incorporation de féculé est basée sur la qualité sensorielle observable comme la couleur, le goût, l'odeur, la texture et l'aspect de la mie.

La figure 23 montre que les résultats d'appréciations obtenus à partir des tests de dégustation des pains réussites que nous avons réalisées avec un jury de plus de 20 dégustateurs.

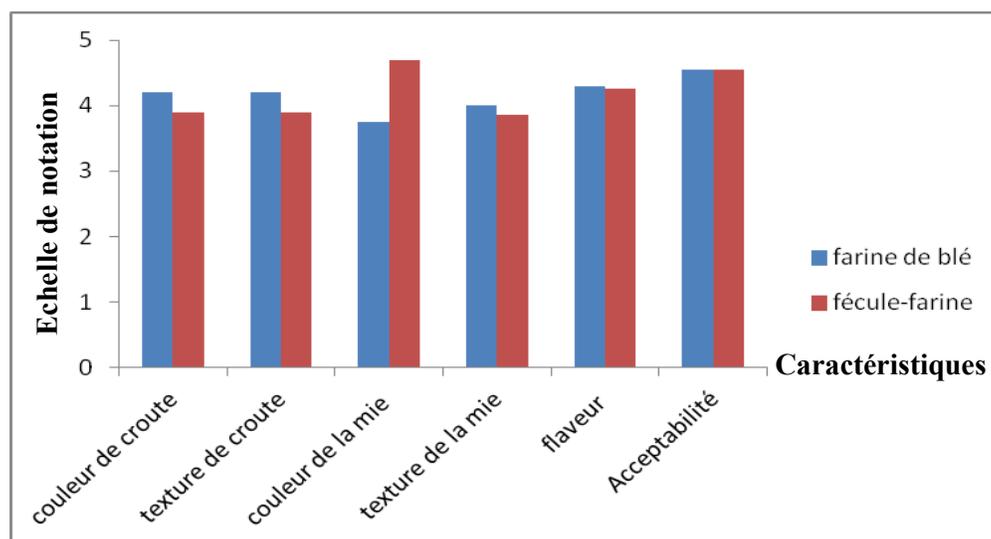


Figure 23: Appréciation de la qualité organoleptique du pain à 80% féculé de pomme de terre et 100% de farine de blé préparé dans la boulangerie.

*- **Couleur et texture de la croûte** : la couleur de la croûte des pains est appréciée visuellement. La croûte du pain à la féculé de pomme de terre présente, selon les dégustateurs, une couleur plus pâle que celle des pains à la farine de blé.

*- **Couleur et Texture de la mie** : la texture de la mie du pain à la féculé de pomme de terre, selon les dégustateurs, est de texture élastique et serrée avec une moyenne de note de 3.85, par rapport à 4 pour le témoin. La couleur de la mie est très blanche, et la note décernée par le jury est plus élevée (4.7) que celle du pain de blé. Ce résultat est dû à la composition de la féculé de pomme de terre, avec moins de protéines et donc moins de brunissement non enzymatique.

*- **Flaveur et goût du pain** : le goût du pain à la féculé de pomme de terre est un peu plus sucré et noté positivement par le jury avec une note moyenne de 4.25.

*- **Acceptabilité** : il n'y a pas une différence significatifs ($p < 0,05$) de la note d'acceptabilité globale, et de ce fait les caractéristiques sensorielles des pains à 80% de féculé de pomme de terre ne sont pas affectées.

Ainsi que, les stands de présentations des pains aux : 4^{ème} Salon International de l'Agro-Alimentaire à Oran et Grande Exposition de l'Agriculture et du Développement Rural à Alger, 2013, ont eut un très grand succès, et les consommateurs n'ont pas pus faire la différence entre le pain ordinaire et le pain à la féculé de pomme de terre et ils l'ont très appréciés.

IV. CONSERVATION DU PAIN

Nous avons choisi les formules réussies (avec gluten) pour évaluer leurs caractères au cour de la conservation (à l'air libre et à la réfrigération) dans différents emballages (papier, lin et plastique) pendant une dure précise et en fonction du temps. Selon, L'évolution de la qualité correspond à une modification des propriétés de texture et aromatique au cours du temps (Roussel et Chiron, 2002).

Les résultats mentionnés dans les tableaux XXIX et XXX montrent que les pains emballés et conservés, 4 à 6 jours, dans des sachets en papier, en lin et en plastique ne durcissent pas très vite et la perte d'eau est moindre. Les mêmes résultats sont obtenus avec les pains préparés à la farine de pomme de terre et conservés dans les mêmes conditions. Le rassissement et la perte de la fraîcheur est un peu lent au cours de la réfrigération.

Tableau XXIX : Conservation des meilleurs pains à l'air libre

Farine additionnée de	1 ^{er} jour			2 ^{ème} jour			3 ^{ème} jour			4 ^{ème} jour		
	P	L	P.S	P	L	P.S	P	L	P.S	P	L	P.S
4,5% G +A	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
5,0% G +A	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
5,5% G +A	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-
6,0% G +A	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-
6,5% G +A	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-
7,0% G +A	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-
7,5% G +A	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-
8,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

G : Gluten,A : Améliorant, +: mangeable, - : immangeable, P : Papier, L : lin, P.S : Sachet en plastique

Tableau XXX : Conservation des meilleurs pains à la réfrigération

Farine additionnée de	1 ^{er} jour			3 ^{ème} jour			5 ^{ème} jour			7 ^{ème} jour			8 ^{ème} jour		
	P	L	P.S	P	L	P.S	P	L	P.S	P	L	P.S	P	L	P.S
4,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
5,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
5,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
6,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
6,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
7,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
7,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
8,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
8,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
9,0% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9,5% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10% G +A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

G : Gluten,A : Améliorant, +: mangeable, - : immangeable, P : Papier, L : lin, P.S : Sachet en plastique

Habituellement les baguettes de pain sont conservées dans un sac de coton, de lin ou de papier pour éviter le dessèchement. On pourra également utiliser un torchon. Cette protection permet aux pains de respirer, retarde l'évaporation de l'eau qu'elle contient et n'a aucune incidence sur son goût. Ainsi, le pain restera croustillant, moelleux et savoureux plus longtemps.

L'usage d'un sac en plastique altère irrémédiablement le goût du pain, le rend vite mou et fait disparaître l'opposition de la texture qui fait le charme de ce produit.

CONCLUSION

Dans “ l’art de la boulangerie ”, Malouin écrivait en 1767 “ on n’imaginerait pas que pour faire du pain ; il faut tant d’art et de combinaisons qu’il n’en faut réellement ”.

Le but de ce travail était de fabriquer du pain avec un pourcentage élevé de fécule de pomme de terre, d’étudier ses caractéristiques nutritionnelles, physicochimiques et sensorielles en comparaison avec un pain de contrôle produit avec de farine de blé tendre sous les mêmes conditions. La formulation de notre pain a été réalisée de la manière suivante : 80% de fécule de pomme de terre, 20% de farine de blé, de gluten, de levure, de sel et un améliorant de pâte.

Les résultats montrent que les pains peuvent être préparés par la fécule de pomme de terre même à fort pourcentage (80%) et de gluten (pourcentage équivalent à celui de la farine de blé tendre). Les pains obtenus par cette formule sont de caractéristiques nutritionnelles, physicochimiques et sensorielles presque identiques à celle des pains ordinaires. Un fort pourcentage de dégustateurs n’y voit aucune différence. Il n’y a pas une différence significatifs ($p < 0,05$) de lanote d’acceptabilité globale, et de ce fait les caractéristiques sensorielles des pains à 80% de fécule de pomme de terre sont semblables à celles du pain ordinaire.

Le gluten ajouté à la pâte de la fécule de pomme de terre a permis d’avoir une augmentation de la force boulangère de la pâte, une amélioration du réseau glutineux et l’augmentation de l’élasticité de la pâte, une amélioration de l’hydratation de la farine, une amélioration de la rétention gazeuse et une amélioration du développement des pâtons.

D’une manière générale, nous avons réussi à fabriquer du pain avec 80 % de fécules de pomme de terre, avec des qualités organoleptiques et nutritionnelles très proches du pain à la farine de blé tendre; avec un arôme et goût agréables, une couleur dorée très appréciée, une mie légère et bien aérée et une bonne croûte.

La conservation du pain dans des sacs en plastique altère irrémédiablement le goût du pain, le rend vite mou et fait disparaître l’opposition de la texture qui fait le charme de ce produit. Par contre, l’utilisation de sacs de coton, de lin ou de papier retarde l’évaporation de l’eau (dessèchement) tout en permettant aux pains de respirer. Ainsi le pain restera croustillant, moelleux et savoureux plus longtemps.

Les résultats de ces travaux pourraient encourager la substitution de la farine de blé par la féculé de pomme de terre dans les produits alimentaires à base de blé, à fin de minimiser les coûts. D'autres études sont nécessaires pour étudier les propriétés de collage de mélanges de farine de blé et de féculé de pommes de terre (RVA) et aussi pour déterminer l'interaction entre la farine de blé et de féculé de pommes de terre, et d'interpréter leurs propriétés rhéologiques au moyen de calorimètre à balayage différentiel (DSC) et rhéomètre.

Références

Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- ✓ AACC. (1995): Approved methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists, Paul, Minnesota.
- ✓ Acquah G. (2007): Breeding wheat in Principles of Plant Genetics and Breeding. Blackwell Publishing
- ✓ Adebowalea K. O., Olu-Owolabi B. I., Olayinka O-O. et Lawal O. S. (2005): Effect of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch. *African Journal of Biotechnology*. 4(9): 928–933.
- ✓ AFNOR. (1991) : Recueil de normes –contrôle de la qualité des produits alimentaires: céréales et produits céréaliers. 3rded :Association Française de Normalisation, Paris.
- ✓ Alais C., Linden G., Miclo L. (2003) : Biochimie alimentaire. Paris, France : Dunod, 245p. ISBN 2100038273.
- ✓ Alais et Linden. (1997) :Abrégé de biochimie alimentaire, Masson. 4^{ème} Ed
- ✓ Amerine M.A., Pangborn R.M. and Roseller E.B. (1973):Principles of Sensory Evaluation of Food. New York and London: Academic Press.
- ✓ Amirouche L. (2008) : Pomme de terre en Algérie : rappels historiques et état des lieux. Filahainove/revue3.
- ✓ Annick L. (2007) : Alimentation humaine. France, ENSMIC.1-6.
- ✓ Armand T. (2007) : Améliorants de panification : comment s’y retrouver. *Trait d’union N°50*, l’Association nationale des professeurs de Boulangerie (AAINB).
- ✓ Assal L. et Larous D. (2002) : Contribution à l’étude de la panification à partir de farine de blé tendre. Mém., ing., UHB Chlef, P 24.

B

- ✓ Bencharif A., Chaulet C., Chehat F., Kaci M., Sahli Z. (1996): La filière blé en Algérie, le blé, la semoule et le pain. KARTHALA Editions. Paris. 238 p.
- ✓ Bernard A., Carlier H. (1992) : Aspects nutritionnels des constituants des aliments, influences des technologies. Ed: Techniques et Documentations. Paris, France.1-19.
- ✓ Bloksma A.H. (1990a). Rheology of the breadmaking process. *Cereal Foods World*, 35:228-236

- ✓ Bloksma A.H. (1990b): Dough structure, dough rheology and baking quality. *Cereal Foods World*. 35: 237-244.
- ✓ Bonierbale M., Gabriela B-Z., Thomas Z-F. et Paola S. (2010): Nutritional composition of potatoes. *Cahiers de nutrition et diététique*. 45(6) : S28-S36.
- ✓ Boudreau A. et Ménard G. (1992) : Le Blé: éléments fondamentaux et transformation. Québec, Canada : Les Presses de l'Université Laval. P439.
- ✓ Bourdet A. (1977) : La biochimie du pain. *La recherche*. 74 : 37-46.
- ✓ Bourre J. (2006) : Pain et nutrition. 1^{er} édition, livre blanc, édition B.P.I. P80.
- ✓ Bourre J-M., Bégat A., Leroux M-C., Mousques-Cami V., Pérardel N, Souply F. (2008) : Valeur nutritionnelle (macro et micro-nutriments) de farines et pains français. *Médecine et Nutrition*. 44 (2) :49-76
- ✓ Boyacioglu D'Appolonia. (1994): Characterization and Utilization of Durum Wheat for Breadmaking. I. Comparison of Chemical, Rheological, and Baking Properties Between Bread Wheat Flours and Durum Wheat Flours. *Cereal Chem*. 71:21-28
- ✓ Bradshaw J-E. et Bonierbale M. (2010): Potatoes. in "Root and Tuber Crops" Bradshaw J. E. (eds).
- ✓ Brochoire G., Josse T., Rossi M., Tsang P-P., Stephan Catherine. (1999) : Pain et nutrition. *Les Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie*. Supplément technique INBP. N°70. S.O.T.A.L. Boulevard de l'Europe BP 1032.
- ✓ Brochoire G., Josse T., Rossi M., Tsang P-P., Stephan Catherine. (2003) : Le goût du pain. *Les Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie*. Supplément technique INBP. N°83. S.O.T.A.L. Boulevard de l'Europe BP 1032.
- ✓ Brochoire G., Del Frate R., Stephan Catherine, Lanier J. (2005): Mieux connaître les farines. *Les Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie*. Supplément technique INBP N°85. Boulevard de l'Europe BP 1032.

C

- ✓ Cabrol C. (2006) : Observatoire du pain [En ligne]. La composition nutritionnelle des pains français. Disponible sur : <<http://www.observatoiredupain.fr/Default.asp?IDR=110985>>.
- ✓ Calvel. R. (1991): Le goût du pain comment le préserver, comment le retrouver Edition : Terome Villette. P12-59.

- ✓ Cesaro A. et Sussich F. (2001): Plasticization: The softening of materials in “Bread Staling”. Chinachoti P. and Vodovotz Y., eds., USA: CRC Press, pp.19-60.
- ✓ Chargelegue A., Guinet R., Neyreneuf O., Onno B. et Poitrenaud B. (1994) : La fermentation, In “La panification française”, Vol. 528.
- ✓ Chene C. (2004) : Les amidons. *Journal de l'ADRIANOR. Agro-Jonction*. 34.
- ✓ Chene C. (2001) : La farine. 1^{ère} partie. *Journal de l'ADRIANOR*, n° Z.I Est Arras – Rue Jacquar. 26 :5-6.
- ✓ CIP. (2008): “The international year of the potato, IPC”. <<http://www.cipotato.org>>.
- ✓ Codex Alimentarius. (1995) : Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. 2^{ème} édition, FAO/OMS, Vol. 7, Rome.

D

- ✓ Davies A.P. (1986): Protein Functionality in Bakery Products in “Chemistry and Physics of Baking. Materials, processes and products”. Blanshard J.M.V., Frazier P.J. and Galliard T. (eds). Royal Society of Chemistry, Londres. 89-104.
- ✓ Djaouti M. (2010) : Renforcement des capacités des acteurs de la filière céréalière en Algérie dans le cadre d'un partenariat Nord-Sud. Cas de la wilaya de Sétif. Série : Master of science CIHEAM LAM Montpellier, P106.
- ✓ Djermoun A. (2009) : La production céréalière en Algérie les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*. 1 : 45–53.
- ✓ Doussinault G., Jaudeau B., Jahier J., (2001) : Évolution de la variabilité génétique chez le blé in “Agriculture et biodiversité des plantes” Le Perche S., Guy P. & Fraval A. *Dossiers de l'environnement de l'INRA*. 21:91-104.
- ✓ DuBois M., Gilles K., Hamilton J., Rebers P., et Smith F. (1956) : Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3) :350–356
- ✓ Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud-Rouaud C. and Berthier A.M. (1992): Alimentation et nutrition humaines. Ed. : ESF éditeur, Paris. P56, 745-747.

F

- ✓ Fabian B., Julie B., Ghislaine P. et Claudie B.(2012) : la pomme de terre, bilan de campagne 2010/2011. Unité Cultures et filières spécialisées / direction Marchés, études et prospective. FranceAgriMer.
- ✓ FAO. (1996) : Perspectives de l'alimentation, rapport n° 10, Système Mondial d'information et d'Alerte Rapide (SMIAR-FAO), <http://www.cirad.fr/giewes/french/smiar.htm>
- ✓ FAO. (2002) : Agriculture mondiale : horizon 2015/2030, rapport abrégé FAO. Rome, Italie : Viale Delle Terme di Caracalla, ISBN 92-5-204761-1. P43.
- ✓ FAO. (2008) : Organisation des nations pour l'Alimentation et l'agriculture. Année internationale de la pomme de terre (en ligne). Rouen, Parmentier, Mustel et la pomme de terre » « Communication du Dr Karl Feltgen lors de la séance du 25 octobre 1995 du Groupe Histoire Des Hôpitaux De Rouen » Disponible sur : <http://www.potato2008.org/fr/>.
- ✓ FAOSTAT. (2008) : Site des données statistiques de la FAO. <http://faostat.fao.org/>
- ✓ FAOSTAT. (2015) : Site des données statistiques de la FAO. <http://faostat.fao.org/>
- ✓ FAPRI: Food and Agricultural Policy Research Institute (2012): FAPRI-ISU 2012 World Agricultural Outlook. ISSN 1534-4533. <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2012/tables/1-Wheat.pdf>
- ✓ Feillet P. (2000) : Le grain de blé: Composition et utilisation . Editions Quae. 312
- ✓ Fredot Emilie. (2005) : Connaissances des aliments : base alimentaire et nutritionnelle de la diététique. Paris, France : Techniques et Documentations, pp.158-249.
- ✓ French D. (1984): Organization of starch granules in :“Starch chemistry and technology”. Whistler R. L., Bemiller J. N. and Paschall E. F. eds, Academic press, New York. 83 - 247.

G

- ✓ Gan Z., Ellist P.R. et Schofield D. (1995): Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. Mini review. *Journal of Cereal Science*. 21: 215-230.
- ✓ Gil M.J., Callejo M.J. et Rodríguez G. (1997): Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrumental evaluation. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 205(4) : 268-273.

- ✓ Godon B. (1991) : Biotransformation des produits céréaliers, édition: Tec et Doc, Lavoisier, France. p 221.
- ✓ Godon B. et Guinet. (1994) : La panification française, édition : Tec et Doc, Lavoisier.
- ✓ Godon B. et Loisel W. (1997) : Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Edition : Technologie et Documentation, Paris. P 819.
- ✓ Godon B. et Willm E. (1991) : Les industries de première transformation des céréales. Paris, France. Edition : Techniques et Documentations. p.78-607.
- ✓ Grandvoinnent P. et Praty B. (1994) : Farines et mixes. *in* "La panification française", Guinet, R. and Godon, B. eds., Vol. 528, Lavoisier-Apiaria. Tec et Doc, Paris. 100-131.
- ✓ Grommers H-E et Krogstoft A. (2009): Chapter 11, Potato Starch: Production, Modifications and Uses *in* "Starch: Chemistry and Technology", 3 Ed. Elsevier Inc. P512-539.
- ✓ Guéguen J., Lemarié J. (1996) : Composition, structure et propriétés physico-chimiques des protéines de légumineuses et d'oléagineux *in* "Protéines végétales" Partie 3 : Propriétés biochimiques et physico chimiques des protéines végétales, Godon B. Lavoisier, Paris. pp 80-119.
- ✓ Guermouna, A. (1993) : Conduite à tenir pour la production d'un pain de qualité. *colloque du FOREM*. p53.
- ✓ Guiraud J-P. (2003) : Microbiologie alimentaire. Paris, France: DUNOD. P100-159.

H

- ✓ Hawkes J-G. (1990): The potato: evolution, biodiversity & genetic resources. Belhaven Press, London.
- ✓ Hemery Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V., Barron C., Abecassis J. (2007): Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*. 46 (3): 327-347.
- ✓ Hermansson A. M. et Svegmærk K. (1996): Development in the understanding of starch functionality. *Food Science and Technology*. 11: 345-384.

J

- ✓ Jain S. et Sherman P. (1976): The influence on bread texture of partially replacing wheat with potato products. *Journal of Texture Studies*. Reidel Publishing Company, Dordercht-Holland.7: 297-311.
- ✓ Junge R.C. et Hosney R.C. (1981): A mechanism by which shorting and certain surfactants improve loaf volume in bread. *Journal of Cereal Chemistry*. 58: 408-421.

K

- ✓ Kechid MAYA. (2005) : Physiologie et Biotechnologie de la Microtubérisation de la Pomme de Terre *Solanum tuberosum*. L. Thèses de magistère. Univ. Constantine.
- ✓ Kellou R. (2008) : Analyse de marché du marché du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre de pôle de compétitivité Méditerranée. Le cas de coopératif Sud-céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoup. Thèse de master de Science. Institut Agronomique Méditerranées de Montpellier. P169.
- ✓ Kiger J-L. et Kiger J.G., (1968) : Techniques modernes de la biscuiterie-pâtisserie-boulangerie (industrielles et artisanales) et des produits de régime. Dunod, France.
- ✓ Koïche M, Dilmi Bouras A, Nemar F., Kassoul S., Saiahabbaze A., and Kheddia H. (2014): Manufacture of a bread containing potato starch and whole potato to replace the cereals bread and study of its behavior during the conservation. May 27-28, Biological and Environmental Engineering (CBEE) Istanbul, Turkey.

L

- ✓ Lafaye. (2003) : Les Additifs utilisables en Boulangerie, site: <http://www.technoboulangerie.com/les-additifs-utilisables-en?lang=fr>.
- ✓ Landgraf F. (2002) : Techniques de l'Ingénieur [base de données en ligne]. France : Techniques de l'Ingénieur traité Agroalimentaire. Filières de production. Produits et procédés de panification. Disponible sur <<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/agroalimentaire-ti700/produits-et-procedes-de-hhpanification-f6180/>>.

- ✓ Lanhdari W. (1998) : La filière du pain, rapport de fin d'étude. Lille. p173, site: <http://www.publicitébe/wetternoise/fr/p>.
- ✓ Larpent J-P. (1990) : Biotechnologie des levures. Edition : Masson, Paris. P :426.
- ✓ Lassoued N. (2005) : Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte. Life Sciences. ENSIA (Agro Paris-Tech). Thèse de Doctorat. French.
- ✓ Levavasseur L. (2007) : Suivi simultané de la consommation d'oxygène et de la consistance des pâtes de farine de blé à l'aide d'un pétrin instrumente (le sitoxygraphe) : tentative d'explication biochimique et rhéologique. Thèse de Doctorat en sciences alimentaires. AgroParisTec. France.
- ✓ Lévêque E., Haye B., Belarbi A. (2000) : L'amidon et ses dérivés : applications industrielles. Elsevier, 1-14.
- ✓ Liu Q. Donner E. Tarn R. Singh J. Chung H-J. (2009): Chap.8: Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch *in* "Advances in Potato Chemistry and Technology". Academic Press, Burlington, VT.
- ✓ LovedeepKaur, Narpinder Singh, Navdeep Singh Sodhi. (2002): Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chemistry*. 79 : 183–192.

M

- ✓ Massaux C., Bodson B., Lenartz J., Sindic M., Sinnaeve G., Ardenne P., Falisse A. et Deroanne C. (2006) :L'amidon natif du grain de blé Un composé naturel à valoriser par la connaissance de ses propriétés techno-fonctionnelles. Livre Blanc « Céréales », Ed. Faculté Universitaire des Sciences gronomiques de Gembloux et CRA-W, GEMBLoux.p 1-9.
- ✓ Meredith P. (1964): A theory of gluten structure. *Cereal Science Today*.9: 34-54.
- ✓ Morris et Bryce, 2000. Cereal Biotechnology CRC Press; 1^{ère} edition.

N

- ✓ NeBambi L. et Prakash A. (2010) : La pomme de terre : histoire et développement économique. *Cahiers de nutrition et de diététique*. 45 : S5-S16

- ✓ Nemar F., Dilmi Bouras A., Koiche M., Prodhomme J. et Assal N-E (2013) :Quality Of Potato Starch Bread.7-9 Juin, ISITES, Sakarya,Turkey.
- ✓ Nyabyenda P.(2005) : Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitudes d'Afrique. Presses Agronomiques de Gembloux. p 253.

P

- ✓ Paulsen G. M. et Shroyer J.P. (2004): *Agronomy in "wheat"*. Kansas State University, Manhattan, KS, USA. Elsevier
- ✓ Poitrenaud B. (1994) : La levure in *La panification française*. Ed. Lavoisier, Tec et Doc. Paris. 164-200.

R

- ✓ Rastoin et Benabderrazik. (2014) : Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb Pour un co-développement de filières territorialisées chap.1 Construire La Méditerranée ipemed. 134.
- ✓ Roussel P. and Chiron H. (2002) : *Les pains français : évolution, qualité, production*.2, France : MAE-ERTI Editeurs. ISBN/2-84601-693-3.
- ✓ Roussel P., Robert Y. et Crosnier J.C. (1996) : *La pomme de terre*. Paris, France. INRA. ISBN 2-7380-0676-0.

S

- ✓ Sablani S.S., Marcotte M., Baik .D. et Castaigne F. (1998): Modeling of simultaneous heat and water transport in baking process. *Lebensmittel-Wissenschaft and technology*. 31 : 201-209.
- ✓ Saker N. et Haji Moussa E. (2007) : Comparaison de la qualité des blés libanais à celle des variétés importées de l'étranger et destinées à la préparation du pain libanais. *Lebanese Science Journal*. 8 (2) : 87- 103.
- ✓ Samantha. (2009): la pomme de terre en Algérie production consommation. *Journal elwatan*.
- ✓ Shewry P.R. (2009): The Health grain programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health. *Nutrition Bulletin*. 34(2): 225–231.

- ✓ Singh J., Sing N., Kaur L., Sodhi N. S. et Gill B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2) : 219–231.
- ✓ Singh J. Kaur L. McCarthy O. J. (2009) : Potato Starch and its Modification in “Advances in Potato Chemistry and Technology” Singh J, Kaur L. (eds.) Academic Press, Burlington, VT. 273-318
- ✓ Slavin J.L., Martini M.C., Jacobs D.R., Marquart L. (1999):Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *American Journal of Clinical Nutrition*.70 :S 459-S 463.

T

- ✓ Tester R.F., Qi X., J. Karkalas. (2006): Hydrolysis of native starches with amylases. *Animal Feed Science and Technology*.130: 39-54.

U

- ✓ Ugrinovits M.S., Arrigoni E., Dossenbach A., Haberli G., Hanich H., Schwerzenbach J., Richemont L., Rychener M., Thormann H. et Stalder U. (2004) : Céréales, Produits de L'industrie Meunière, Prémélanges pour four, Mélanges de Farines Instantanées. Ch. 14. in “Manuel suisse des denrées alimentaires”. Ed MSDA.

V

- ✓ Vasanthan T. A., W. Bergthaller B., Driedger D. A., Yeung J. A. et Sporns P.(1999): Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties. *Food Research International*.32: 355-365.
- ✓ Van Vliet T., Janssen A.M., Bloksma A.H. and Walstra P. (1992):Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *Journal of Texture Studies*. 23: 439-460.

W

- ✓ Wang J., Rosell C. M. et Barber C. B. (2002): Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *J.Food Chemistry*.79: 221-226.

- ✓ Wheat Marketing Center, Inc. (2004): *Wheat and Flour Testing Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality*. Portland, Oregon. P 71.
- ✓ Willard M.J. et Hix V.M. (1987): Potato flour in "Potato Processing". W. F. Talburt et O. Smith (4th Ed.). New York: Van Nostrand Reinhold. pp665-681.

Y

- ✓ Yadav A.R., Guha M., Reddy S.Y., Tharanathan R.N. et Ramteke R.S. (2007): Physical Properties of Acetylated and Enzyme-Modified Potato and Sweet Potato Flours. *J. Food Science*. 72(5): E249-E253.
- ✓ Yanez E., Ballester D., Wuth H., Orrego W., Galtas V. et Estay S. (1981) : Potato flour as partial replacement of wheat flour in bread: Baking studies and nutritional value of bread containing graded levels of potato flour. *J. Food Technology*. 16: 291-298
- ✓ Yusuph M., Tester R. F., Ansell R., et Snape C. E. (2003): Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *J. Food Chemistry*. 82: 283–289.

Z

- ✓ Zaidul I.S.M., Yamauchi H., Kim S.J., Hashimoto N., et Noda T. (2007): RVA study of mixtures of wheat flour and potato starches with different phosphorus contents. *J. Food Chemistry*. 102(4): 1105-1111.

Publication

BREAD QUALITY SUBSTITUTED BY POTATO STARCH INSTEAD OF WHEAT FLOUR

E. NEMAR^{1*}, A. DILMI BOURAS¹, M. KOICHE¹, N-E. ASSAL²,
A. MEZAINI¹ and J. PRODHOMME²

¹Laboratory of Natural Local Bio-Resources, Department of Biology, Faculty of Science,
Hassiba Benbouali University, Chlef, BP. 151, Chlef 02000, Algeria

²Lactamel Group, Sidi Bel Abbès, Algeria

*Corresponding author: Tel. +213 559 932507,
email: fawzia.nemar@gmail.com, f.nemar@univ-chlef.dz

ABSTRACT

Wheat bread constitutes the most regularly consumed food in the World, the international market for wheat undergoes strong pressure and prices are unceasingly increasing. The aim of this study is to substitute wheat flour by potato starch in bread preparation. Mixtures flours were characterized for composition, damaged starch, and Alveograph properties. According to the results of alveograph parameters, they decrease with the rate of incorporation of potato starch. This decrease can be corrected by adding vital gluten. The results of physicochemical analysis showed a decrease in protein levels, an increase in moisture content (about 2%) and carbohydrates levels due to the composition of potato starch. However, sensory analysis ($p \leq 0.05$) showed that the addition 80% of potato starch leads to bread with better characteristics: taste, colour and odour, based on that, it is highly advisable as an ingredient in the standard preparation of wheat bread.

- Keywords: bread, flour, potato starch, wheat -

INTRODUCTION

Bread is an important component of the Algerian diet, while wheat production in the country is insufficient. Therefore, substantial quantities of this cereal must be imported every year. Making bread by partial substitution of wheat is not a new idea and it is worthwhile to reveal some of the efforts made in the past to make bread from local materials, such as cereal flour or root starches. Potato occupies the fourth place in the World list of food crops, after wheat, rice and corn, with an annual World production of approximately 300 million Mg (CIP, 2008). The country now produces enough potatoes and its price is also within affordable limits of average people. So potato appears to be one of the most promising substitutes in bread making in order to help reduce dependence on wheat flour.

Potato starch is an important raw material in the food industry because its properties and their proportions vary according to the environment and genotypes of potato (VASANTHAN *et al.*, 1999; KAUR *et al.*, 2002; ZAIDUL *et al.*, 2007). Potato starch is largely used in food and non-food fields (paper, cardboard, textiles, mining, drilling, adhesives, etc.). Originally, it was produced for baking by adding it to cereal flour (ROUSSEL *et al.*, 1996; SINGH *et al.*, 2003). The addition of modest amounts of potato starch helps preserve the freshness of bread and it also confers a distinctive character and a pleasant flavor (YANEZ *et al.*, 1981; WILLARD and HIX, 1987).

The aim of this work is to evaluate the possibility of substituting wheat flour for high percentages of potato starch in bread making process and to evaluate the physical, chemical, nutritional and sensory properties of the produced bread.

MATERIAL AND METHODS

Raw material

Algerian wheat flour was obtained from NEKHLA mill, Algeria. Ingredients like sugar, salt, instant active dry yeast and shortening were purchased from the local market, while Potato starch was obtained from Michel Come, Rambouillet, France.

Methods

Physical and chemical composition

Moisture content

The moisture content of samples was determined according to the AACC Official Methods 46-30, where a sample of 5 g is weighed and placed in a moisture dish. The sample is warmed to 130°C in an air oven during 2 hours; then

the residue is cooled to room temperature and weighed (AFNOR, 1991).

Ash content

It was determined according to the AACC Official Methods 08-01 (AACC, 1995). Where a sample of 3-5 g is weighed and placed in an ash cup, then the sample is heated at 900°C in an ash oven until complete combustion of the organic matter, and the residue is cooled to room temperature and then weighed (AACC, 1995).

Protein content

Protein content is determined by the Kjeldahl distillation method (by analyzing total nitrogen contents). Two grams of dry sample are weighed and placed with hot concentrated sulfuric acid. The ammonia liberated from the resulting ammonium sulphate, after adding sodium hydroxide was distilled into 1 M boric acid then titrated with 0.1 M HCl. The nitrogen value estimated was multiplied by 5.7 (protein factor) to obtain the value of crude protein. This is expressed as the percentage of dry sample mass (AACC, 1995).

Fat content

According to UGRINOVITS *et al.* (2004) the crude fats were determined by the Soxhlet method. They are extracted from 10 g of each sample using a Soxhlet apparatus with low boiling point petroleum ether (40-60°C) as solvent. A rotary-evaporator was used to evaporate the solvent after each extraction.

Falling Number Test

The level of enzyme activity was measured by the Falling Number Test (standard method AACC 56-81B), and this is to evaluate the α -amylase activity of the flour by measuring the consistency of the gelatinized starch.

Seven grams of the sample is weighed and combined with 25 mL of distilled water in a glass falling number tube with a stirrer and shaken to form a slurry. Then, it is placed in the falling number instrument (AACC, 1995).

Alveograph characteristics

An amount of 250 g of the sample with salty solution was mixed in the alveograph mixer. After 8 minutes of kneading, the passage was opened and the extraction began. The dough patty was cut as soon as it arrived at a mark on the extraction plate. The dough patty was rolled and cut with the cutter and then was placed in the oven of the dough pieces at 25.5°C. After 28 minutes, each dough patty was inflated with air and its individual characteristics (P, L, W) were measured (AACC, 1995).

Table 1 - Bread mix formula.

Formula	
Wheat flour	500 g
Salt	10 g
Sugar	5 g
Yeast	10 g
Water	300 mL
Dough improver	0.1 g

W: The work of the deformation energy (baking strength);

L: The length of the curve (Extensibility);

P: Maximum height (Tenacity);

P / L: Ratio curve configuration.

Bread making

The conventional straight-dough method for pan bread was performed according to the procedure developed by AACC. The formula used to make bread is given in Table 1. The level of substitution of wheat flour by potato starch was 80%.

To make bread, the dry ingredients were manually mixed and then added to a mix containing water. The components were thoroughly kneaded with the mixer for 5 min at low speed. The mixing speed was then changed to high speed for 5 min. The dough was divided into pieces of 100 g, rounded by hand and allowed to relax for 25 min. The dough was moulded then panned and fermented for 90 min at 30°C in a fermentation cabin.

Gas retention during fermentation was evaluated using an indicator of growth containing 25 g of dough which was subjected to fermentation in the same conditions as the dough.

The bread was baked at 220°C/20 min in an electric oven. Subsequently, the baked bread samples were then depanned and cooled to evaluate their external and internal properties by a 1h at room temperature, packed in polyethylene bags used for further analyses.

Bread evaluation

Loaves were organoleptically evaluated for their external and internal properties by a jury of twenty tasters. The method of 5 point score (in a hedonistic qualification scale) was used (AMERINE *et al.*, 1973). The panel members were asked to score for crust colour, crumb colour, texture, flavour and overall acceptability.

Statistical analysis

In this study, all experiments were performed in triplicate. Statistical analysis was performed using XLSTAT program to compare the results. The level of significance was considered at $p \leq 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical and chemical composition

The result of proximate composition analysis of wheat flour and potato starch is as shown in Table 2. The wheat flour protein content used in this study was about 10%, this result is similar to that reported by LINDAHL and ELJASSON (1992). According to UGRINOVITS *et al.* (2004) the strength of the flour is partially determined by its wet gluten content.

The wet gluten content of potato starch is about 1.72% where as wet gluten content of wheat flour is 30.08%, which is a normal level, potato starch contained lower proteins (trace) and higher carbohydrate than wheat flour. However this value of wet gluten, added to the vital gluten in the mixture allows compensating for the deficit of protein potato starch (32.77%).

The results of baking test show that potato starch alone is not enough to produce bread, and the same result was found for the mixture with high level. It might be due to the value of gluten that is lower. Therefore, it is necessary to add a percentage of vital gluten.

However, the value of the falling number of the

Table 2 - Physical and chemical characteristics of mixtures.

Parameter/Product	100%	100% S.P	20% F 80% S.P	
			Wh.G	G
Moisture (%)	15.80±0.026	17.80±0.035	17.60±0.011	16.21±0.015
Mineral (Ash) (%)	0.53±0.025	0.18±0.02	0.19±0.0152	0.27±0.01
Wet Gluten (%)	30.10±0.155	/	1.72±0.062	32.77±0.106
Falling number (s)	312	220	181	126
Protein content (%)	10	Trace	/	/
Fat content (%)	0.9	Trace	/	/

F: Wheat Flour; S.P: Potato Starch; Wh.G: Without Gluten; G: With Gluten.

Table 3 - Rheological characteristics of the flours (with and without addition of vital gluten).

Rheological characteristics		Rate of incorporation of the potato starch		
		0%	80% without gluten	80% with gluten
Alveographic measurements	P (mm)	81	20	99
	G (cm)	19.1	06.7	14.8
	P/L	01.09	06.68	02.25
	W (10 ⁴ J)	210	10	193

mix is lower (220) than that of wheat flour and also lower than the optimal standards for bread which is 200 to 300 seconds (GODON and LOISEL, 1997). This might be due to the decreased resistance of potato starch to enzymatic degradation. Also, the fact that the gelatinization temperature is lower than that of wheat flour can be considered as another reason.

Alveograph characteristics

The results of Alveograph Test, summarized in Table 3, make it possible to predict baker quality of flour. This test is an interesting practice which is very appreciated by professionals of the second transformation, due to the fact that it reflects through alveographic parameters measured the ability of flour to be managed according to its baking strength for a specific purpose (ROUSSEL and CHIRON, 2002).

The Alveograph parameters of wheat flour and mixtures (with 80% of potato starch) showed (Table 3), that overpressure (P), a measure of dough tenacity, which is an indicator of gas retention by the dough as indicated by WANG et al. (2002), varied from 58 to 150 mm.

The measure of Alveograph dough extensibility (L), ranged from 45 to 116 mm. The values for curve configuration ratio, indicating the configuration ratio of the Alveograph curve, varied from 1.09 to 2.25. The index of swelling (G) varied from 6.9 to 19.10 cm and the baking strength representing the energy necessary to inflate the dough bubble to the point of rupture ranged from 10 to 210*10⁴ J. These differences of results are due to the addition of gluten which controls these parameters, where the P value increases to 99mm H₂O. It is higher than the limit of 80 mm.

These results show that the composite potato starch and wheat flour lead to dough which is less resistant to deformation and low extensibility for rate incorporation of 80%.

Mixed baking test

In order to know the influence of the substitution of wheat flour by potato starch (20/80), several tests were carried out in the laboratory and other tests at the bakery with the as-

stance of a French expert in bakery (J. PRODHOMME).

The experimental baking studies showed that the concentration of 80% potato starch with the addition of gluten did not affect the handling of dough except for some defects of extensibility during shaping. This similarity in results is due to the role of the added gluten; the essential element for baking (especially during kneading and shaping), which plays a very significant role in increasing the uptake of water and the resistance of the dough. A significant criterion observed during almost all stages of baking, is the stickiness of the dough.

In a similar vein, the properties of gas retention within the composite dough are followed by measurement of the volume of the dough during fermentation using the indicator of growth containing 25g of dough subjected to fermentation under the same conditions as the loaves of bread. The results obtained are highly significant ($p < 0.05$), they show that the pastes incorporate up to 80 % of potato starch, which experience less raising during fermentation, but remain comparable with those obtained with 100 % of wheat flour (Fig. 1).

External and internal aspects of breads obtained are shown in Figs. 2 and 3. The incorporation of potato starch at levels of 80% gives breads with optimal characteristics.

The breads resulting from the potato starch have a good appearance, presenting regular and smooth crusts similar to the breads resulting from wheat flour.

As for the coloration of the crust, bread with potato starch presents a less dark coloring compared to bread with wheat flour. DUPIN et al. (1992) and BOYACIOGLU and D'APPOLONIA (1994) showed that the dark coloration of bread is influenced by the rise of the rate of both damaged starch and total sugars present in flour, which were highest in starch potato.

Concerning the appearance of the crumb related to (Fig. 2), bread has aired cells, badly dispersed and not homogeneous. That can be explained by the irregular distribution or the incorporation of α -amylases.

As for the appearance of crumbs (Fig. 3), bread has aired cells, poorly dispersed and not homogeneous. Again, that can be explained by the bad distribution or the incorporation of α -amylases.

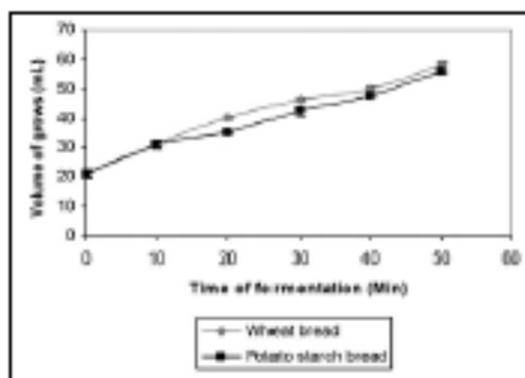


Fig. 1 - Influence incorporation of potato starch on the profile of gas retention.



Fig. 2 - Appearance of the crust of potato starch bread (80%).



Fig. 3 - Appearance of the crumb of potato starch bread (80%).

Bread evaluation

The approximate composition of bread made from potato starch and wheat flour is shown in Table 4.

The control bread obtained shows a protein rate of 10.5 %, a rate 60.4% of sugar of and 0.9 % of fat. These values are similar to the values given by CABROL (2006).

However, bread prepared containing potato starch 80% present a reduction in proteins

(6.87%) and fat (0.37%). This result might be due to the composition of potato starch that, in fact, is rich in sugar and low in fat and proteins.

The sensory quality statistics reveal that potato starch influences the crumb of bread (Fig. 4). Bread with potato starch 80% acquires a very white coloration, and therefore receives the highest score compared to control bread. Meanwhile, the texture of bread is more developed than that of the control bread.

However, we observed that there is significant difference ($p \leq 0.05$) in the P value therefore stating the sensory characteristics of potato starch bread 80% are not affected.

CONCLUSIONS

The aim of this study was to analyze samples of bread at 80% of potato starch and compared with control bread produced from wheat flour under the same conditions for their nutritional, physicochemical and sensory characteristics. The formulation of our bread was made as follows: potato starch, wheat flour, gluten, yeast, salt and a dough improver. The results show that the loaves can be prepared by potato starch even at high percentage (80%) and gluten. Breads obtained by this formula were nutritionally, physically, chemically and at the

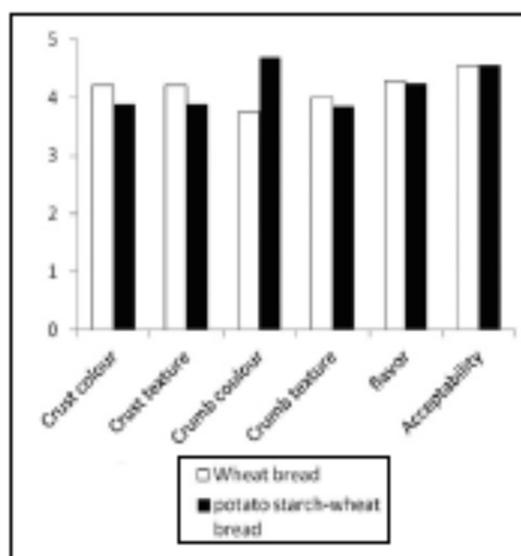


Fig. 4 - Evaluation of some characters of quality of the potato starch bread 80% and wheat bread prepared in bakery.

Table 4 - Nutritional composition of breads.

Products	Humidity %	Glucids (%)	Protein (%)	Fat (%)	Fibre (%)
Wheat bread	28.20	60.4	10.5	0.9	-
Potato starch bread	31.33	61.36	6.87	0.37	0.07

sensorial level comparable to the control bread. A high percentage of consumers said they saw no difference.

These results support the partial substitution of wheat flour by potato starch in wheat-based food products to minimize costs. Future studies are needed to investigate the pasting properties of mixtures of wheat flour and potato starch (by RVA), to determine the interaction between wheat flour and potato starch and also to interpret their rheological properties by differential scanning calorimeter and rheometer.

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support was received from the Lactamel Group, Sidi Bel Abbes, Algeria.

REFERENCES

AACC. 1995. "Approved methods of the AACC". 9th Ed. American Association of Cereal Chemists, Paul, Minnesota.

AFNOR. 1991. "Recueil de normes-contrôle de la qualité des produits alimentaires: céréales et produits céréaliers" 3rd Ed. Association Française de Normalisation, Paris.

American M.A., Pangborn R.M. and Rosellier E.E. 1973. Principles of Sensory Evaluation of Food. New York and London: Academic Press.

Boyacıoğlu M.H. and D'Appolonia B.L. 1994. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. Study of flour blends and various additives. *J. Cereal Chemistry*, 71(1): 28-34.

Cabrol C. 2006. Observatoire du pain [En ligne]. La composition nutritionnelle des pains français. Disponible sur: <<http://www.observeurdupain.fr/Default.asp?IDR=110985>>.

CIP. 2008. "The international year of the potato, IPC". <<http://www.cipotato.org>>.

Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.L., Leynaud-Roussat C. and Berthier A.M. 1992. Alimentation et nutrition humaines. Ed. ESF éditeur, Paris. P56, 745-747.

Godon B. and Letail W. 1997. Guide pratique d'analyses dans

les industries des céréales. Technologie et Documentation. Paris. P 819.

Liu C.Y., Shepherd K.W. and Rathjen A.J. 1996. Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking qualities. *J. Cereal Chemistry*, 73:155-166.

Lindahl L. and Eliasson A.C. 1992. A comparison of some rheological properties of durum and wheat flour doughs. *J. Cereal Chemistry*, 69: 30-34.

Lovdeep K., Singh N. and Sodhi N.S. 2002. Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *J. Food Chemistry*, 79: 183-192.

Roussel P. and Chiron H. 2002. Les pains français : évolution, qualité, production.2, France : MAE-ERTI Editeurs. ISBN/2-84601-693-3.

Roussel P., Robert Y. and Crozier J.C. 1996. La pomme de terre. Paris, France. INRA. ISBN 2-7380-0676-0.

Singh J., Sing N., Kaur L., Sodhi N.S. and Gill B.S. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *J. Food Chemistry*, 81(2): 219-231.

Ugrinovits M.S., Arrigoni E., Dossenbach A., Haberli G., Haritch H., Schwerzobach J., Richemont L., Rychener M., Thomann H. and Stalder U. 2004. Céréales, Produits de l'industrie Meunière, Prémixés pour four, Mélanges de Farines Instantanées. Ch. 14. In: "Manuel suisse des denrées alimentaires". Ed MSDA.

Vasanthan T., Berghaller W., Driedger D., Young J. and Sporns P. 1999. Starch from Alberta potatoes: Wet-iso-lation and some physicochemical properties. *J. Food Research International*, 32: 355-365.

Wang J., Rosell C.M. and Barber C.B. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79: 221-226.

Willard M. J. and Hix V.M. 1987. Potato flour. In: "Potato Processing", W. F. Talburt and O. Smith (4th Ed.), pp. 665-681. New York: Van Nostrand Reinhold.

Yadav A.R., Guha M., Reddy S.Y., Tharanathan R.N. and Ramteke R.S. 2007. Physical Properties of Acetylated and Enzyme-Modified Potato and Sweet Potato Flours. *J. Food Science*, 72(5): E249-E253.

Yasez E., Hallester D., Wuth H., Orrego W., Galas V. and Estay S. 1981. Potato flour as partial replacement of wheat flour in bread: Baking studies and nutritional value of bread containing graded levels of potato flour. *J. Food Technology*, 16: 291-298.

Zaidi I.S.M., Yamauchi H., Kim S.J., Hashimoto N. and Noda T. 2007. RVA study of mixtures of wheat flour and potato starches with different phosphorus contents. *J. Food Chemistry*, 102(4): 1105-1111.

Annexes

Annexes

Annexe I : Alveographe des farines composites

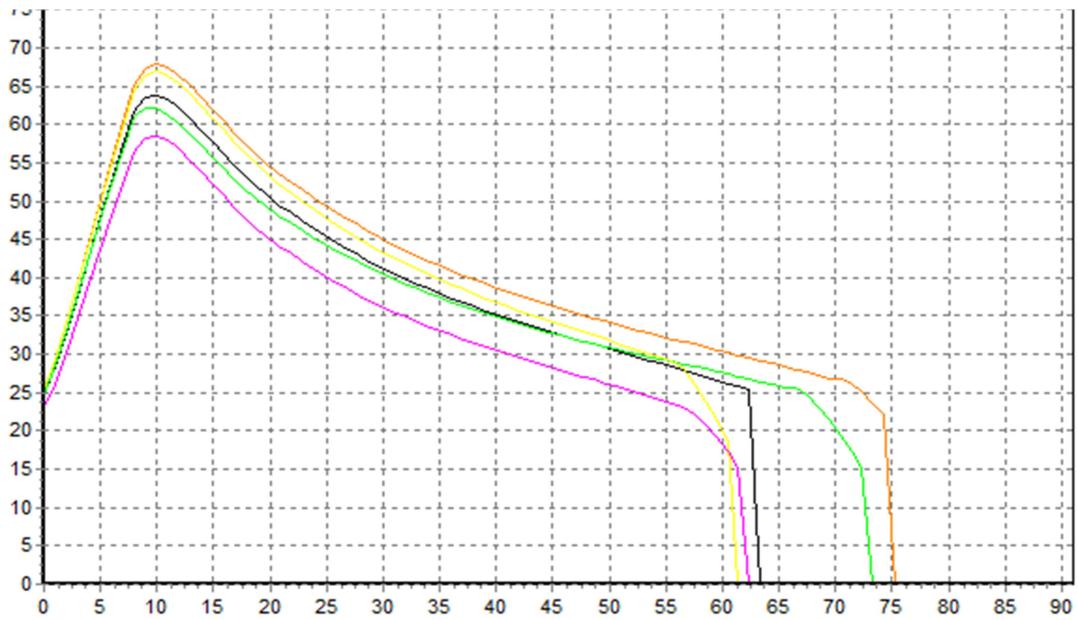
Annexe II : Essais De fabrication de féculé et de farine de pomme de terre

Annexe III : Essai de panification au niveau de boulangerie

Annexe IV: Essai de fabrication des croissants au niveau de boulangerie

Annexe I : Alveograph des farines composites

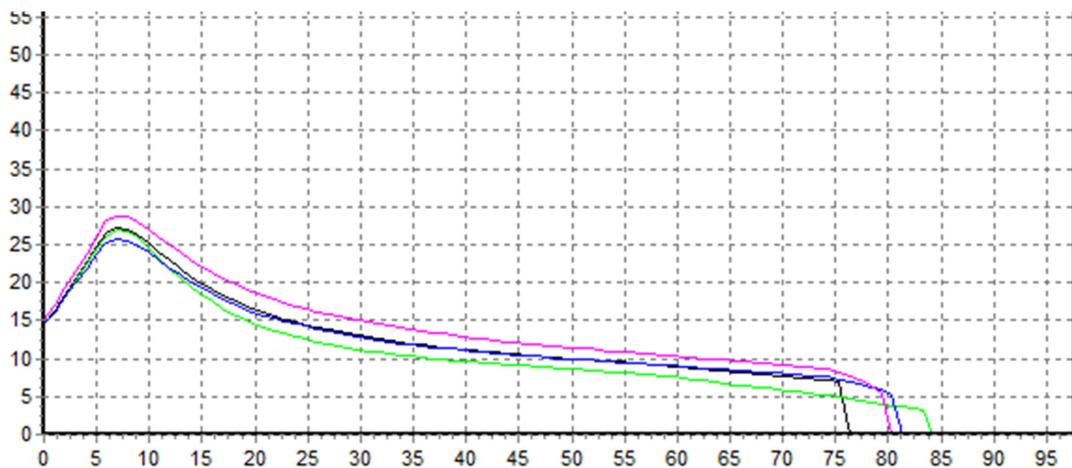
1- Farine Témoin



P	L	G	W	P/L	Ie
81	89	76	210	01.09	52.2

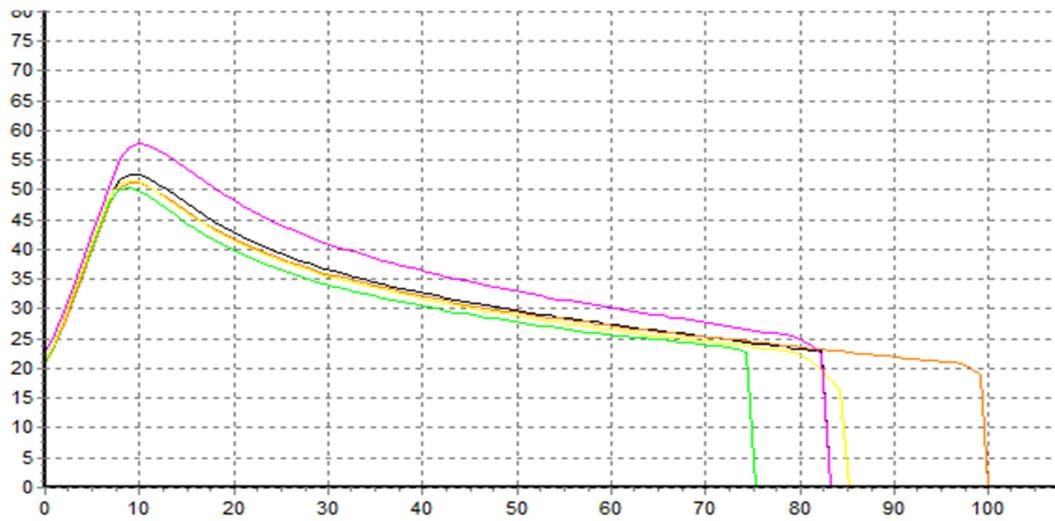
2- Farine à 50% de farine de blé et 50% de féculé de pomme de terre

*- Sans Gluten



P	L	G	W	P/L	Ie
30	74	19,1	66	0,4	41,3

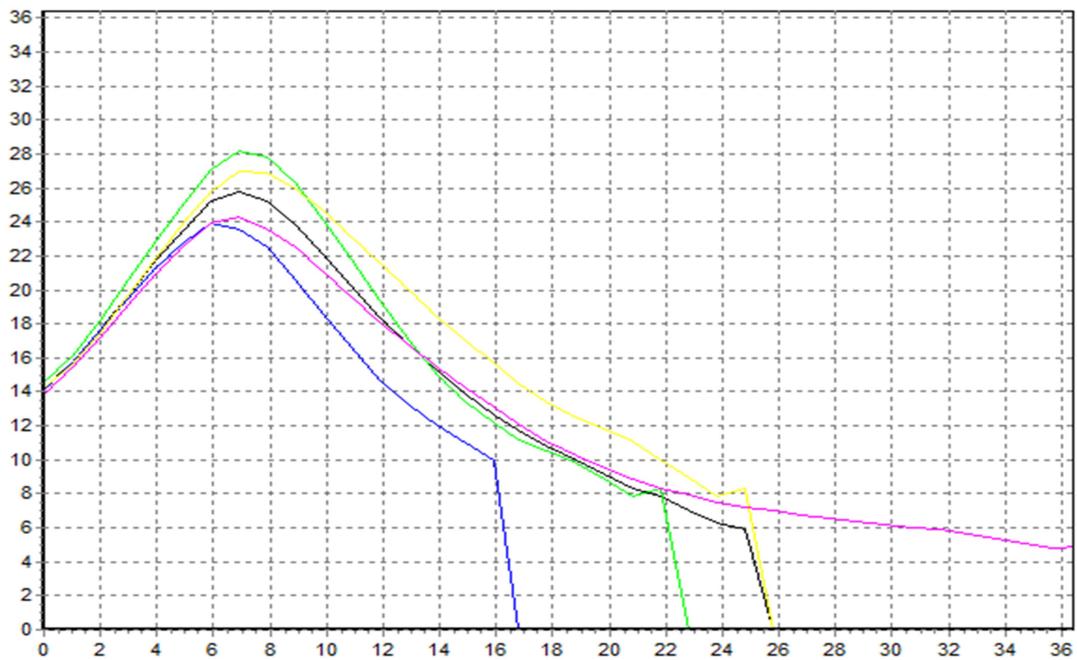
*-Avec gluten



P	L	G	W	P/L	Ie
58	83	23,1	181	0,7	62,2

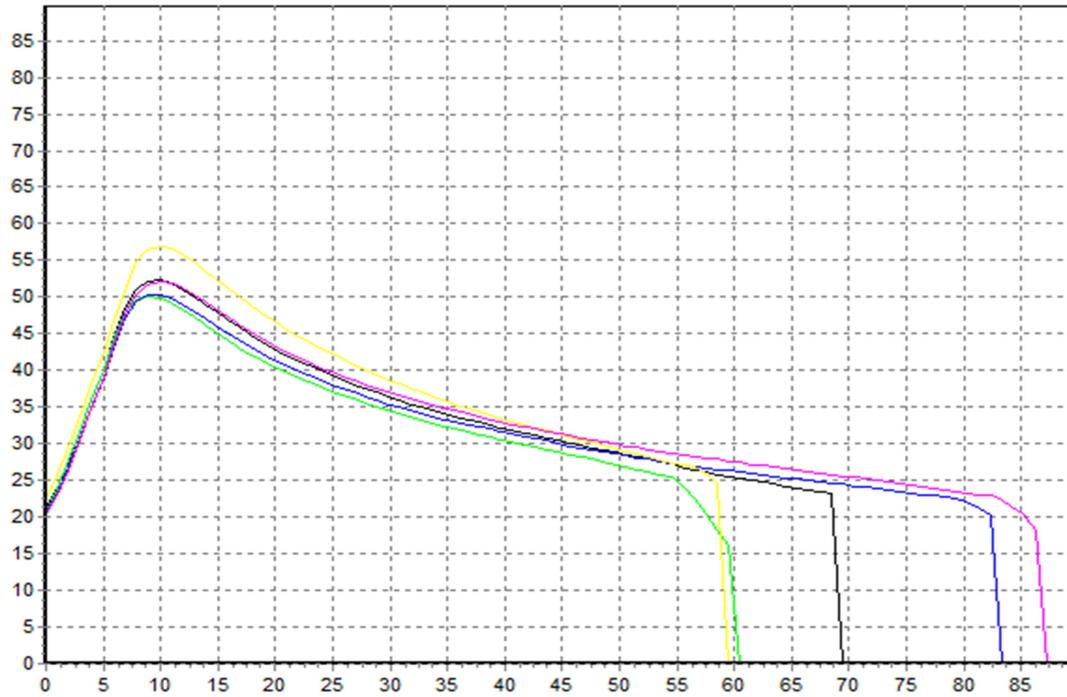
3- Farine à 30% de farine de blé et 70% de fécula de pomme de terre

*- Sans gluten



P	L	G	W	P/L	Ie
25	28	11,1	26	1,12	0

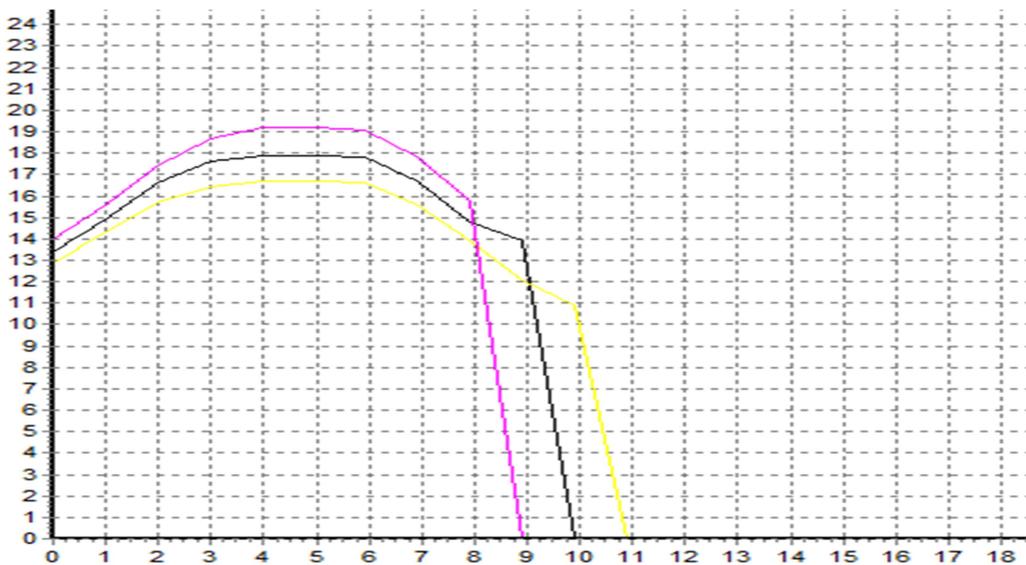
*- Avec gluten



P	L	G	W	P/L	Ie
58	69	18,5	123	0,84	61

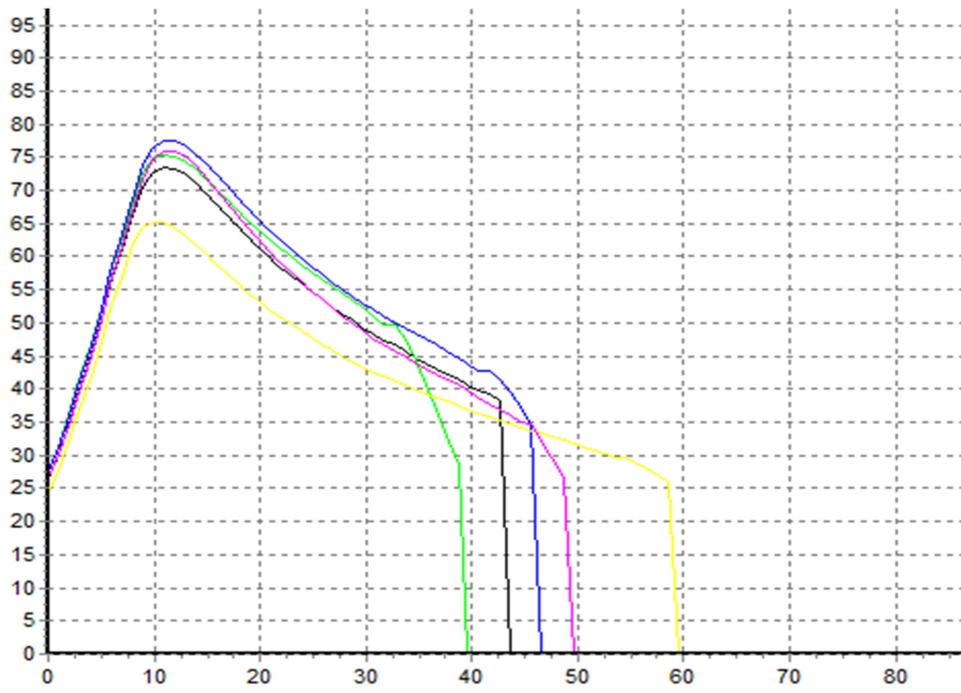
4- Farine à 20% de farine de blé et 80% de féculé de pomme de terre

*-Sans gluten



P	L	G	W	P/L	Ie
20	9	6,7	10	2,22	0

*-Avec gluten



Annexe II : Essais De Fabrication De Fécule Et De Farine De Pomme De Terre

1. Essais d'extraction de fécule de pomme de terre : Méthode d'Alvani et *al.* (2011) et Singh et *al.* (2008)

- Triage de pomme de terre ;
- Lavage, épluchage ;
- Découpage ;
- Immergées dans l'eau contenant 1% de NaCl pendant 18h (afin d'extraire le maximum d'amidon) ;
- Récupération de lait de pomme de terre ;
- Lavage de ce dernier avec centrifugation ;
- Les amidons sont étalés dans des papiers ou de plaques et on laisse sécher a l'air (24h ou plus) ;
- Broyage



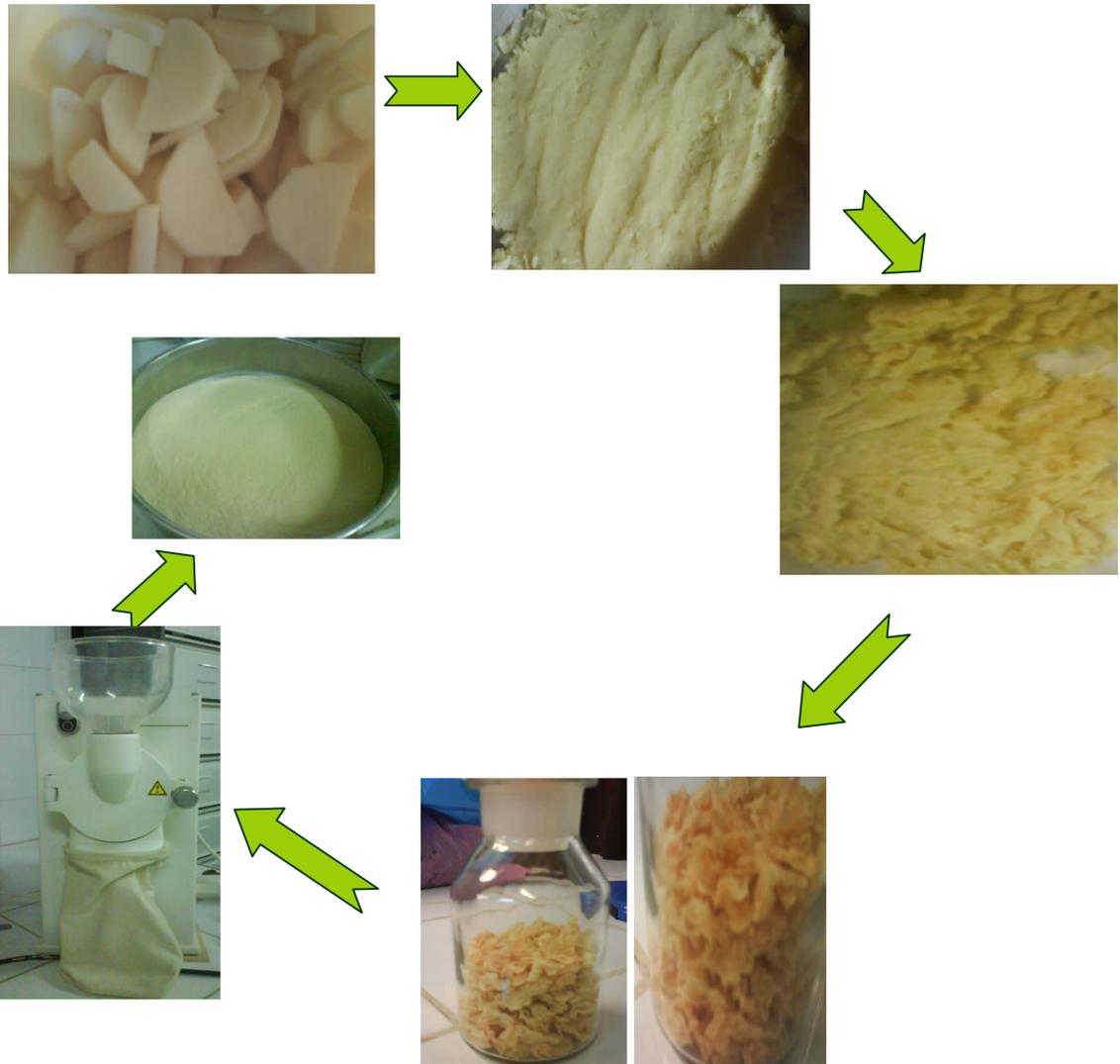
Figure : Fécule de pomme de terre

2. Essais de fabrication de farine de pomme de terre : Méthode utiliser par Anupamamisra and KalpanaKulshrestha , (2003)

Les pommes de terre utilisé sont : blanche (Spunta) et rouge (Kondor) (avec cuisson et sans cuisson) :

- laver, peler et couper en tranche les pommes de terre
- sont grillés ou cuits à la vapeur (de préférence le second) jusqu'à cuisson complète,
- en écrasant (tranchés ou granulé) ou en courant à travers un hachoir ou a l'air libre

- séché jusqu'à ce qu'ils deviennent très cassants,
- broyer très fine dans un broyeur qui fera de la farine de blé ou de farine de maïs



Étapes de fabrication de farine de pomme de terre



A B C
Farine de pomme de terre (différentes espèces) A) spunta, B) Kondor, C) désirée

Annexe III : Essai De Panification Au Niveau De Boulangerie

Formule de pâte

Pâte de 50 kg (80 %)	FORMULE 1	FORMULE 2
Farine composite (80% de F.P et 12% de gluten) (Kg)	50	50
Levure (g)	378	378
Sel (g)	950	950
L'eau (L)	25-27 froide glacé	27 froide
Améliorants g	50	40

Etapas de panification

1) *Pétrissage : mélange des ingrédients*

- ✓ On fait le mélange de tous les ingrédients sauf la levure qu'on l'ajoute après un mélange de 2 à 3 min.
- ✓ Et le sel est ajouté avant 5min de la fin de pétrissage
- ✓ On a laissé la pate posé pendant 1h dans le pétrin



2) *pointage et façonnage*

Après 1h on fait la division de pate en 300 g puis la passé dans le façonneur pour former des baguettes.



3) fermentation
On laisse les pains façonnés dans la chambre de fermentation pendant 1h a 1.15 h



4) *cuisson*

Se fait à une température 220°C pendant 20 min.



Annexe IV: Essai DeFabrication DesCroissants Au Niveau De Boulangerie

Les ingrédients	Quantité
Farine composite (80% de F.P) (g)	1000
Levure (g)	25
Sel (g)	20
Sucre (g)	80
Beure (g)	500 sous forme de tablette
Eau	570

