REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Hadj Lakhdar - Batna 1
Institut Des Sciences Vétérinaires Et Des Sciences Agronomiques

Département De Technologie Alimentaire

MEMOIRE
Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Filière
Technologie Alimentaire

Option
Génie des procédés alimentaires

Présenté par :

BELLAL Khalila

THEME

Etude du comportement de la pâte à pain levée et congelée

Soutenu publiquement le 20/06/2017

Membres de jury :

Prof. FAHLOUL Djamel	Université Batna 1	Président
Prof. ZITOUNI Bariza	Université Batna 1	Rapporteur
Prof. BENMOUSSA Hocine	Université Batna 2	Examinateur
Prof. SENATOR Abderrahmane	Université Batna 2	Examinateur
Dr. HADDAD Djamel	Université Batna 2	Examinateur

Année universitaire : 2016/2017

Résumé

L'objectif de ce mémoire est l'étude du comportement de la pâte levée sous des conditions de congélation et de panification. Après la caractérisation physico-chimique de la farine, trois études complémentaires ont été réalisées. La première concerne l'étude de l'effet d'hydratation sur la pâte à pain levée et congelée pendant une période de 12 semaines d'entreposage au congélateur à une température de -18°C, les taux d'hydratation testés sont 65%, 62% et enfin 58%. La deuxième était consacrée à l'étude de l'effet du mode de pétrissage sur la pâte à pain levée et congelée pendant une durée de 3 mois d'entreposage au congélateur à une température de -18 °C, les modes de pétrissages employés sont le PVL (pétrissage a vitesse lente) le PA (pétrissage amélioré) et le PI (pétrissage intensifié). La troisième étude concerne l'effet du mode de décongélation sur les pâtes levée et congelée, les 4 modes utilisés sont ; (au réfrigérateur 4 °C, à une température ambiante 20 °C, au micro-onde, et une cuisson directe à 250 °C).

Les résultats indiquent qu'une pâte à pain destinée à la congélation exige : la réalisation de pâtes plus fermes, la pâte doit subir un temps de travail assez court. Le mode de décongélation au réfrigérateur et au micro-onde présentent les meilleures aspects.

Au final nous estimons qu'une panification à partir d'une pâte levée et congelée est faisable et ne nécessite qu'une bonne maitrise des conditions de panification, de congélation et de stockage.

Mots clé : Pâte à pain, ongélation, pain

Abstract

The purpose of this memory is the study of the rising-dough's behavior under conditions of freezing and bread-making. After the physicochemical characterization of the flour, three complementary studies were realized. The first one concerns the study of the effect of hydration on the rising bread-dough and frozen during a period of 12 weeks of storing in the freezer with a temperature at -18°C, the tested rates of hydration are 65%, 62% and finally 58%. In the second study tests, have been tested on the effect of kneading modes on the rising bread-dough and frozen for a period of 3 months of storage in the freezer with a temperature at-18 °C, the kneading modes employed are (the low speed kneading), (the improved kneading) and (the intensified kneading), The third study is about the defrosting effect mode on the rising dough and frozen, the 4 modes used are (In the refrigerator at 4 °C., an ambient temperature of 20 °C, in a microwave and direct cooking at 250 °C).

The results indicate that a bread-dough intended for the freezing requires the realization of firmer Pastes. The dough must undergo a fairly short working time. That with refrigerated thawing and microwave defrosting, showed the best results.

In the end, we believe that a bread-making from a rising dough and frozen is feasible and only requires a good mastery of bread-making conditions, freezing and storage.

Keys words: Bread dough, freezing, bread

ملخص

الهدف من هذه الرسالة هي دراسة سلوك العجينة المخمرة تحت شروط التجميد التصنيع, بعد الوصف الفيزيائي والكيميائي للفرينة. ولهذا الغرض اجريت ثلاث دراسات تكميلية خلال ثلاث أشهر.الدراسة الأولى تتمثل في تأثير الترطيب على عجينة الخبز المجمدة لمدة 12 أسبوع في المجمد تحت درجة حرارة -18° C، معدل تأشير الترتيب المجرب هو 65% 62% و58 .في الدراسة الثانية العينات درست تحت تأثير طريقة العجن في مدة 3 أشهر في المجمد تحت درجة حرارة -C18° ، حيث أنا طرق العجن التي استعملت هي PVL(عجن تحت سرعة بطيئة)، PA (عجن معتدل)، PI (عجن مكثف) .الدراسة الثالثة تتمثل في مراقبة تأثير طريقة الاذابة على العينات، والطرق المستعملة هي (في الثلاجة 4 درجة مئوية، على درجة حرارة معتدلة 20 درجة مئوية، ميكروويف، وطهي مباشر 250 درجة مئوية.

النتائج توضح أن عملية تجميد العجينة المخمرة تتطلب صنع عجينة أكثر جفافاً.). التقييم تم بعد الاذابة العينة التي استعملت في طريقة PVL شهدت أحسن النتائج الخبز المطهي يظهر أفضل نتائج عند الاذابة في ثلاجة والميكروويف

نستنتج أنه من الممكن حفظ عجينة مخمرة ومجمدة وذلك بإتباع الشروط اللازمة والصحيحة من أجل تجميد وتخزين ناجح.

كلمات المفتاح: عجينة الخبز، تجميد، الخبز

Sommaire

Remerciement
Liste des figures
Liste des tableaux
Introduction 1

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre 1 : Composants et technologie de la panification

1. Composants majeurs de la panification 6
2. Composant mineurs de la panification 10
3. Technologie de panification 11
   3.1. Pétrissage 11
   3.2. Fermentation 13
   3.3. Cuisson 16

Chapitre 2 : Procédé de Congélation

1. Techniques de conservation par le froid 18
   1.1. Réfrigération 18
   1.2. Congélation 18
   1.3. Surgélation 18
2. Congélation d'une matrice alimentaire 18
   2.1. Etapes de congélation d'un aliment 19
   2.2. Phénomènes intervenant lors de la congélation 19
3. Effet de la congélation sur l'aliment 20
   3.1. Effet de la congélation sur l'eau non congelée 21
   3.2. Effet de la congélation sur la structure cellulaire 21
   3.3. Effet de la congélation sur l'activité enzymatique 21
4. Entreposage à l'état congelé 22
5. Décongélation 22
6. Impactes de la congélation sur la pâte à pain et la qualité finale du pain 22

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre 3 : Matériels et méthode

1.Matières premières 27
   1.1. farine 27
   1.2. Sel 27
   1.3. Levure 27
   1.4. Eau 27

2.Caractérisation physico-chimique de la farine 28
2.1. Propriétés physiques des farines 28
2.1.1. Blancheur de la farine 28
2.1.2. Couleur 28
2.1.3. Distribution granulométrique 29
2.1.4. Odeur et saveur de la farine 29
2.2. Composition biochimique 30
2.2.1. Teneur en eau 30
2.2.2. Teneur en cendres 30
2.2.3. Teneur en lipides 30
2.2.4. Protéines totales 31
2.2.5. Teneur en gluten 32
2.2.6. Teneur en amidon 33
2.3. Propriétés mécanique et plastique de la farine (Alvéographe) 33
3.Démarche du travail expérimental 36
3.1.Étude de l'effet d'hydratation sur le comportement de la pâte levée et congelée 37
3.1.1. Préparation des pâtes à étudier 37
3.1.2. Analyse des pates congelée 39
3.2.Etude de l'effet du mode de pétrissage sur le comportement de la pâte levée et congelée 40
3.2.1. Préparation des pâtes à étudier 40
3.2.2. Evaluation de la pâte après décongélation 43
3.2.3. Evaluation du pain produit à partir d'une pâte congelée 43
3.3.Etude de l'effet du mode de décongélation sur les pâtons de pains fermenté et congelée 45
3.3.1. Préparation des pâtes à étudier 45
3.3.2. Evaluation des pains après la cuisson 47

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1.Caractérisation physico-chimique de la farine 49
1.2. Propriétés physiques de la farine 49
1.2.1. Blancheur de la farine (test Pékar) 49
1.1.2. Couleur de la farine 49
1.1.3. Distribution granulométrique 50
1.1.4. Odeur et la saveur de la farine 50
1.2. Composition biochimique 50
1.2.1. Teneur en eau 50
1.2.2. Teneur en cendres 51
1.2.3. Teneur en lipides 51

1.2.4. Protéines totales 51
1.2.5. Teneur en gluten 51
1.2.6. Teneur en amidon 51
1.3. Propriétés mécanique et plastique de la farine 52
2.Effet d'hydratation sur le comportement de la pâte levée et congelée 53
2.1. Control et suivi de la couleur pendant la période de stockage au congélateur 53
2.2. Control et suivi du pH pendant la période de stockage au congélateur 55
2.3. Control et suivi de la perte de poids pendant la période de stockage au congélateur 56
3.Effet du mode de pétrissage sur les propriétés physique du pain produit à partir de la pâte congelée58
3.1. Évaluation de la pâte après décongélation 58
3.1. Evaluation du pain produit à partir d'une pâte congelée 59
3.1.1. Aspect général du pain 59
3.1.2. Rapport hauteur / longueur 59
3.1.3. Aspect de la mie de pain 61
4.Effet du mode de décongélation sur la qualité du pain 62
4.1. Aspect général du pain 62
4.2. Rapport Hauteur/Largeur 63
4.3. Aspect de la mie de pain 64
Conclusion générale 66
Références bibliographiques 69

Remerciement

En préambule, je veux adresser tous mes remerciements aux personnes avec lesquelles j'ai pu échanger et qui m'ont aidé pour la rédaction de ce mémoire.

En commençant par remercier tout d'abord Professeur ZITOUNI Bariza directeur de recherche de ce mémoire, qui a accepté de m'encadrer, pour son aide précieuse et pour le temps qu'elle m'a consacré.

C'est avec un grand honneur et un grand plaisir que je remercie professeur FAHLOUL Djamel, pour son esprit scientifique et ses précieux conseils et pour l'honneur qu'il me fait en président le jury et d'évaluer ce travail.

Je tiens également à remercier professeur BEN MOUSSA Hocine du département de mécanique, professeur SENATOR Abderrahman du département de biologie et docteur HADDAD Djamel du département d'hygiène et sécurité de l'université Batna 2, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Leurs présences nous honorent.
Leurs remarques sont, surement, un plus à notre travail

Je remercie particulièrement mes enseignants Docteur ABDEDDAIM Mohamed, Monsieur BACHA Ali et docteur FERHAT Radia, enseignants du département de technologie alimentaire, ISVSA de l'université de Batna 1, pour leurs précieux conseils pour leur grande disponibilité et leur grand encouragement.

J'adresse mes remerciements à mes amis et collègues BOUSSAHA Soumia, BENESBAA Zahra, AMEUR Doréa du laboratoire de recherche L.S.A qui m'ont accompagné, aidé et motivé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier CENTRAL LABO –spa de Constantine du groupe Agrodiv pour leur gentillesse et accueille.

Je remercie également le laboratoire des MOULINS DES AURES de la wilaya de Batna, pour leur patience et disponibilité.

Enfin, je remercie du fond de mon cœur, ma famille tous mes proches et amis qui m'ont soutenu, encouragé tout au long de mes années d'études.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

à la mémoire de mon défunt père

à ma chère mère, mon frère et mes sœurs,

Mon fiancé, mon neveu et mes nièces, et à mes amis.

Ainsi que tous les gens qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail

Khalila..

Liste des tableaux

Tableau 1	Composition biochimique de la farine de blé	7
Tableau 2	Durée des fermentations selon la méthode de pétrissage employé	15
Tableau 3	Durée de pointage selon la méthode de pétrissage employé	42
Tableau 4	Durée de l'apprêt selon la méthode de pétrissage employé	42
Tableau 5	Terme retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques des pates	43
Tableau 6	Terme retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques des pains	44
Tableau 7	Terme retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques de l'aspect de la mie	44
Tableau 8	Teneur en eau en (%) de la farine de blé tendre durant le travail expérimental	50
Tableau 9	Paramètres trichromatique L, a*, b* de la farine de blé tendre	51
Tableau 10	Propriétés mécanique de la farine	52
Tableau 11	variation des paramètres de couleur pendant les 12 semaines de stockage au froid (-18)	54
Tableau 12	Variation du pH durant les 12 semaines de stockage au congélateur	55
Tableau 13	Taux de perte de poids durant les 12 semaines de stockage	57
Tableau 14	Caractérisation et suivi de de la pâte durant les 3 mois de stockage au congélateur	58
Tableau 15	Aspect général des pains pétris avec 3 différents modes de pétrissage (PVL, PA, PI)	59
Tableau 16	Evolution du rapport H/L des pains issus d'une pâte congelé pendant 3 mois de stockage	60
Tableau 17	Représentation de l'aspect la mie de différents pains qui ont étaient pétris par 3 modes de pétrissage PVL, PA, PI, pendant une période d'entreposage au congélateur de 3 mois	61
Tableau 18	Caractérisation et suivi du pain issus d'une pâte congelée durant les 3 mois de stockage au congélateur	62
Tableau 19	Evolution du rapport hauteur/largueur des pains issus d'une pâte congelé durant les 3 mois de stockage au congélateur	63
Tableau 20	Aspect de la mie de pain testé par 4 modes de décongélation	64

Liste des figures

Figure 1	Représentation schématique d'un grain de blé	7
Figure 2	Classifications des protéines de la farine	8
Figure 3	Formation de la pâte au cours du pétrissage	12
Figure 4	Action du pétrissage sur la réorientation des protéines du gluten	13
Figure 5	Évolution de la taille et de la forme (de sphérique à polyédrique) des cellules gazeuses dans une pâte en cours de fermentation	14
Figure 6	Représentation schématique d'une courbe de congélation d'un aliment placé dans un congélateur a une température (T)	19
Figure 7	Effet de la vitesse de congélation sur les cellules de levures	24
Figure 8	Espace chromatique CIE L*a*b*	28
Figure 9	Alvéogramme type, d'une pâte à base de blé tendre réalisé sur l'Alvéographe Chopin	35
Figure 10	Photographie de l'Alvéographe Chopin	35
Figure 11	Schéma représentatif des étapes de la fabrication des échantillons de l'étude de l'effet de l'hydratation	37
Figure 12	Schéma représentatif des étapes de la fabrication des échantillons de l'étude de l'effet de Pétrissage	40
Figure 13	Schéma représentatif des étapes de la fabrication des échantillons de l'étude de l'effet du mode de décongélation	45
Figure 14	Photographie d'analyse a l'œil nu de la blancheur de divers types de farines	49
Figure 15	Photographie des résultats donnés par l'Alvéographe Chopin	53
Figure 16	Variation de la couleur des pâtes congelées hydratées à 65%, 62% et 58% durant 12 semaines d'entreposage à -18°C	54
Figure 17	variation du pH durant la période de stockage au congélateur	56
Figure 18	Evolution de la perte de poids des pâtes hydraté à 65% , 62% et 58% pendant 12 semaines d'entreposage au congélateur a une température maintenue à -18 °C	57
Figure 19	Evolution du rapport H/L des pates durant la période de l'entreposage a une température de -18°C	60
Figure 20	Evolution du rapport H/L des pâtes décongelée au différents mode durant la période de l'entreposage à une température de -18°C	63

Introduction

Introduction

L'homme et le pain partagent une longue histoire. Jamais le pain n'avait ressemblé à notre baguette. Demain, il changera encore, et il évoluera vers d'autres formes, d'autres compositions et d'autres goûts (Rémésy et *al*., 2014). La consommation de pain a nettement augmenté en Algérie, précisant que, d'après les statistiques du FAO (Food and Agriculture Organization of the united nations), en collaboration avec la Fédération mondiale des boulangers, les Algériens consomment 48 600 000 pains chaque jour, occupant de ce fait, le premier rang des consommateurs de pain dans le monde. Ils optent pour le pain blanc plutôt que pour du pain à grains entiers (Fedala et *al*., 2015).

L'évolution du marché des produits congelés de la boulangerie est provoquée par les exigences des consommateurs, telle que la demande en produits frais (toute la journée) ayant une grande variété (Bhattacharyaa, 2002). Les boulangers combinent souvent l'utilisation des pâtes congelées pour couvrir les besoins quotidiens et des produits semi-finis (précuits, fermentés congelés) pour faire face à la demande accrue des consommateurs pendant les périodes de pointe.

L'utilisation de la congélation dans la fabrication des produits de panification permet de maintenir une production constante, indépendante de la demande saisonnière, ce qui réduit les pertes dues au rassissement limitation du gaspillage et permet la suppression des heures de nuit (Meziani, 2012).

L'objectif de ce travail est l'étude des effets de congélation sur le comportement de la pâte à pain levée; La bonne maîtrise des étapes de panification, des conditions de congélation et de stockage est indispensable. Le document comporte deux parties :

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur les composants de panification, la technologie de panification. Cette partie présente également des généralités sur les procédés de congélation ;

La seconde partie se compose de deux chapitres; Le premier concerne les matériels et méthodes et présente les appareils et les différentes méthodes utilisés pour atteindre les objectifs de ce travail. Le deuxième chapitre traite les résultats obtenus. Ces derniers concernant:

- la caractérisation physico-chimique de la farine.
- Comportement de la pâte levée et congelée vis-à-vis:

- ♣ du taux d'hydratation (65, 62 et 58%) de la pâte levée
- ♣ du mode de pétrissage (pétrissage à vitesse lente, pétrissage amélioré, pétrissage intensifié)
- ♣ du mode de décongélation (au réfrigérateur, à température ambiante, au micro-onde, cuisson directe).

A la fin une conclusion qui va permettre de statuer sur l'intérêt de l'étude de la pâte à pain levée et congelée et sur son comportement biochimique et rhéologique afin de répondre aux questions soulevées par ce travail de mémoire.

Première partie

Etude bibliographique

Chapitre 1

Composants et technologie de la panification

1. Composants majeurs de la panification

Les formules des produits de boulangerie sont fabriquées exclusivement à partir d'une recette de base composée de farine de blé, d'eau, de sel et d'agents levants (levure). Cette catégorie est majoritairement représentée par la famille du pain (Meziani 2011).

1.1. Blé

On désigne sous le nom de 'blé' des espèces du genre *triticum*, appartenant à la famille des graminacées telles de nombreuses céréales : seigle, orge, avoine, maïs.

Le blé tient un rôle économique très important dans l'alimentation humaine (sous forme de farine). Il existe actuellement trois catégories de blé dans le monde :

- Les blés tendres (*Triticum aestivum*), utilisés pour la panification. Ils donnent un grain dodu, riche en amidon ;
- Les blés durs (*Triticum durum*), utilisés en semoulerie essentiellement pour la fabrication des pâtes alimentaires, ils produisent un grain étriqué et pauvre en amidon ;
- Les blés fourragers, réservés à l'alimentation du bétail (Birmont, 2003).

1.1.1. Composition biochimique du blé

Le blé contient en grande partie des éléments nutritifs indispensables au bon fonctionnement de l'organisme :

- L'eau : entre 9 et 15% du grain ;
- Les glucides : 70% du grain, issus principalement des amidons ;
- Les protéines : 12% du grain, provenant essentiellement du gluten ;
- Les lipides : 1 à 2% seulement du grain, présente principalement dans le germe ;
- Les vitamines du groupe B ;
- Les sels minéraux et vitamines de 1.2 à 4% (Mekhlouf, 2012).

1.1.2. Structure du grain de blé

Le grain de blé se compose de trois parties distinctes : l'amande farineuse qui représente 82 à 85 % du poids du grain, les enveloppes, entre 12 et 15 %, et le germe, entre 2.5 et 3%. La figure (1) présente la répartition des composants d'un grain de blé (Birmont, 2003).

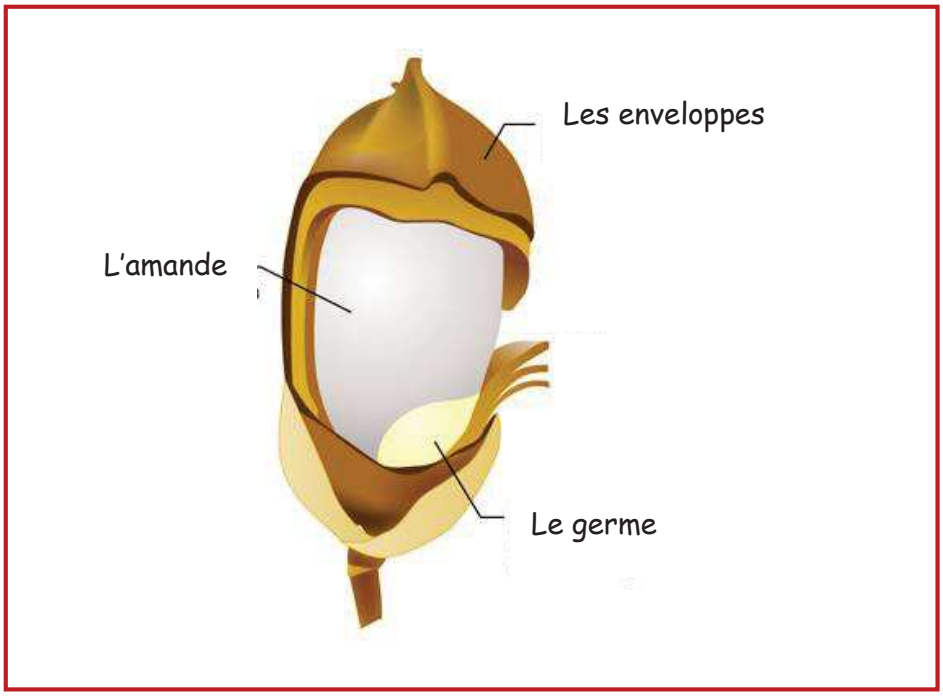

Figure 1 : Représentation schématique d'un grain de blé (Biremont, 2003)

1.2. Farine

La farine de blé est l'ingrédient majeur de la pâte. Elle est responsable de la structure finale du produit. Son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte à retenir le gaz permettant, ainsi, son expansion lors de la cuisson (Meziani, 2011).

La farine est un composé complexe comportant différents constituants (tableau 1) jouant un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte (Lassoued, 2005).

La valeur boulangère d'une farine est due à l'interaction forte entre les constituants chimiques de nature divers (Falek, 2013).

Tableau 1 : Composition biochimique de la farine de blé (Atwell, 2001)**.**

Constituants	Composition de la farine de blé (%)
Eau	14
Protéines	7 - 15
Amidon	63 - 72
Polysaccharides non amylacés	4,5 - 5
Lipides	1-2

1.3. Rôle des principaux constituants de la farine

1.3.1. Protéines

Les protéines sont considérées comme étant les constituants majeurs de la farine de blé tendre (8 - 15) % après l'amidon, En se basant sur leurs propriétés fonctionnelles, les protéines de la farine de blé tendre sont classées essentiellement en deux groupes; les protéines solubles (les albumines et les globulines), et les protéines de gluten (les gliadines et les gluténines) (Goesaert et al., 2005). La classification d'Osborne (1907) a été adoptée pour différencier les protéines. Elle est basée sur leur solubilité relative (figure 2) :

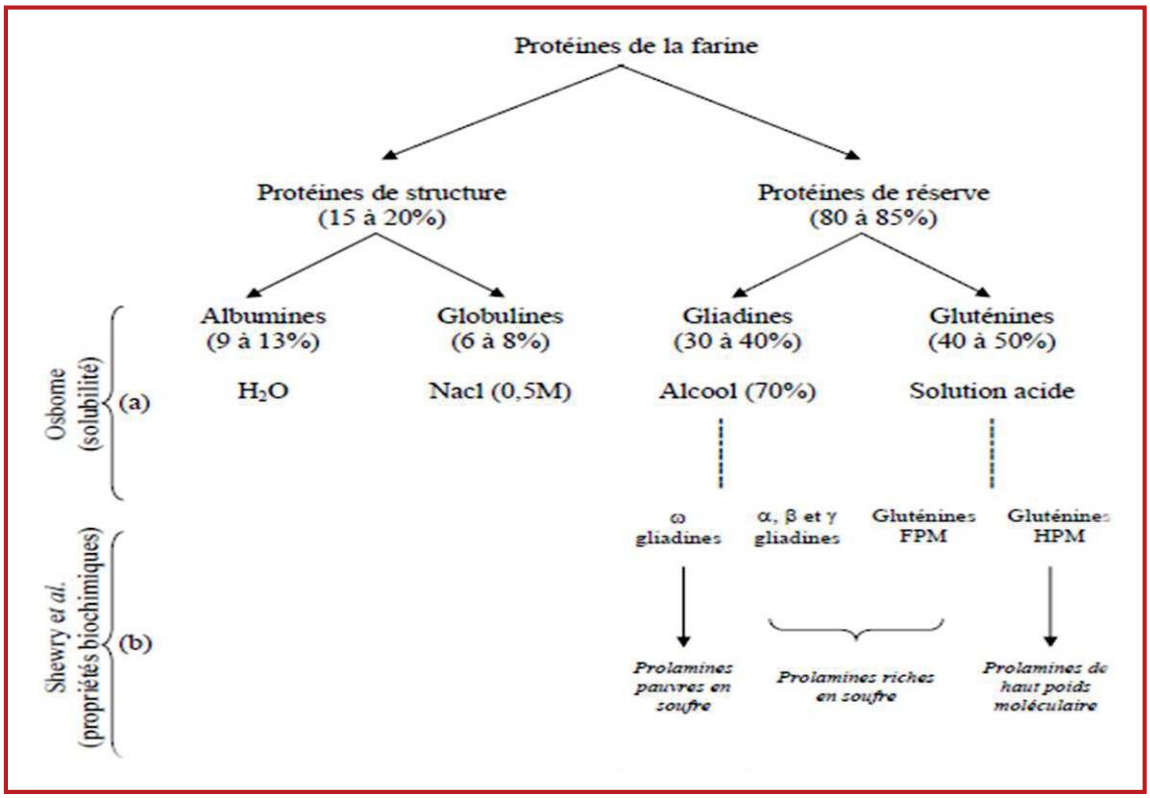

Figure 2 : Classifications des protéines de la farine proposées par :
(a) Osborne (1907) et (b) Shewry et *al*. (1986).

- FPM : Faible Poids Moléculaire
- HPM : Haut Poids Moléculaire

Les relations entre propriétés rhéologiques et composition de la farine sont essentiellement basées sur les protéines de haut poids moléculaires (gluten du blé) (Chaunier et *al*., 2005).

Les constituants minoritaires de la farine, (lipides, protéines de faible poids moléculaire, pentosanes), étudiés aussi pour de faibles déformations, sont susceptibles de modifier la

structure alvéolaire des mies de pain, par leurs propriétés moussantes et fluidifiantes (Chaunier et *al.* 2005).

L'agrégation des protéines du réseau de gluten semble organisée de plus en plus en fibres lorsque la teneur en eau augmente, la structuration du réseau de gluten est essentiellement affectée par une augmentation de la teneur en eau 60% (Lassoued, 2009).

1.3.3. Glucides

Le groupe des glucides est pondéralement le plus important dans le grain du blé, comme dans la farine qui en est issue (Godon et William, 1990). C'est l'un des éléments de la réaction de Maillard puisqu'elle intervient, par ses réactions avec les protides, dans la formation de la couleur, de l'odeur, de la saveur des produits cuits. Enfin, la fraction glucidique joue un rôle non négligeable dans les caractéristiques mécaniques et la texture des produits, intervenant souvent dès le pétrissage (Godon et William, 1990).

♣ **Amidon**

L'amidon est l'un des polymères fonctionnels les plus importants en boulangerie en raison de son pouvoir gélifiant et fixateur d'eau (Salem, 2008).

Il intervient de différentes manières au cours de la panification. C'est d'abord une source de sucres fermentescibles pour les levures. Il joue également un rôle essentiel dans l'absorption de l'eau avec 45 % d'absorption de l'eau ajoutée à la farine, ce rôle est d'autant plus important que la quantité de grains d'amidon endommagés mécaniquement au cours de la mouture est élevée (Turbin-orger, 2012).

La gélatinisation de l'amidon durant la cuisson est contrôlé par trois facteurs principaux ; l'absorption d'eau, la température et le temps de cuisson (Falek, 2013).

1.3.4. Lipides

La farine du blé tendre renferme approximativement de 2 à 2,5% des lipides (Pareyt et *al*., 2011). Des techniques de fractionnement et de reconstitution, montrent qu'une farine à des faibles quantités en lipides stabilise mieux les alvéoles gazeuses, et par conséquent, le volume du pain (Sroan et Macritchie, 2009).

Au pétrissage, il y'a formation de complexes lipides-protéines qui renforcent les qualités viscoélastiques du gluten, améliorant ainsi les propriétés de rétention d'eau, d'augmentation du volume du pain, d'extensibilité et d'élasticité de la pâte. La pâte montre, ainsi, une tolérance plus grande aux différentes phases de la panification (Guinet R. et Godon B., 1994).

2. Composant mineurs de panification

2.1. Eau

Une pâte panifiable contient typiquement 0,6 à 0,8 g d'eau (par g de farine sèche) (lessoued, 2005). L'eau hydrate la farine, donne la cohésion à la pâte et fournit la mobilité nécessaire aux constituants de la farine pour la réalisation des réactions chimiques (shehzad, 2010). Dont l'hydratation des protéines et des hydrates de carbone et pour le développement d'un réseau de gluten. Elle affecte la nature des interactions entre les divers constituants de la formule et contribue à la structuration de la pâte (Benkadri, 2010).

Elle favorise les réactions biochimiques et sert également d'agent plastifiant, c'est-à-dire qu'elle abaisse les températures auxquelles les protéines et l'amidon passent d'un état solide et rigide à un état caoutchoutique (pâte) (lavavasseur, 2009).

Il est recommandé de réduire la quantité d'eau dans la formulation des pâtes congelées, ce qui réduit la quantité d'eau libre lors de la congélation limitant ainsi la formation de cristaux de glace (Gelinas et *al*., 1995).

2.2. Sel

Le sel alimentaire (Na Cl) est présent dans la plupart des produits de panification à raison de 2% du poids de la farine en moyenne (Roussel et Chiron, 2002). Le sel améliore la saveur du produit et ralentit l'activité de la levure par inhibition des activités enzymatiques. Il a aussi tendance à limiter la disponibilité de l'eau et donc améliore l'aptitude à la conservation (Ndangui, 2015). Le sel dans une pâte à pain va agir sur les protéines et créer des liaisons de type ionique, ce qui entraîne la formation de liaisons entre les protéines et assure ainsi une meilleure stabilité et résistance du gluten, le sel favorise également la coloration de la croûte, qui reste pâle en son absence (Brochoire, 2003).

Les interactions hydrophobes importantes du réseau du gluten sont améliorées par l'ajout de sel (Tolstoguzov, 1997, cité par Meziani 2012).

Dans le cas des pâtes congelées, le sel retarde la fermentation ce qui provoque une diminution de la production de CO_2 par la levure (Yadavet *al*., 2009, cité par Meziani 2012).

2.3. Levure

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est un ingrédient naturel, Elle est essentiellement utilisée en panification à une quantité de 1 à 2,5% du poids de la farine (Kiger, 1968).

C'est l'un des ingrédients fondamentaux; son rôle majeur est de transformer les sucres fermentescibles (glucose, fructose, saccharose et maltose) en dioxyde de carbone et en éthanol, induisant aussi la production de composés aromatiques (Giannou et *al*., 2003).

Les levures produisent en anaérobiose du CO_2 et de l'éthanol à partir de glucose. La production de gaz est le moteur de l'expansion des pâtes au cours de l'étape de fermentation (Aamir, 2010).

L'action de la levure dépend largement des conditions environnantes (température, pH, teneur en eau). Par exemple, dans une plage de température entre 20 et 40 °C, une élévation de la température de la pâte d'un degré Celsius entraîne une augmentation de la vitesse de fermentation de 8 à 12% selon le type de levure (Ndangui, 2015).

3. Technologie de la panification

Le pain est le produit résultant de la cuisson d'une pâte, préparée avec un mélange de farine panifiable, d'eau potable et de sel, et ensemencé avec un agent de fermentation (Dandoy, 1996).

3.1. Pétrissage

Le pétrissage est une opération de mélange de farine de blé et d'eau pendant laquelle un ensemble de réactions bio-physicochimiques ont lieu. Elles permettent de passer d'un milieu discontinu, constitué de particules de farines solides et indépendantes, à un milieu continu macroscopiquement homogène, lisse, où les particules sont liées entre elles suite à leur hydratation. À l'échelle microscopique, le pétrissage permet l'obtention d'un réseau de gluten cohésif et viscoélastique qui assurera la rétention du CO_2, de l'éthanol et des arômes pendant la fermentation (Buch, 2015).

L'étape de pétrissage assure trois fonctions intimement liées, essentielles pour l'obtention d'une pâte bien aérée (Ndangui, 2015).

- Le mélange des différents ingrédients en une pâte homogène
- Le développement du réseau glutineux
- Structuration du réseau protéique.

Ces trois actions conjointes aboutissent en fin de pétrissage à un mélange cohésif aux propriétés viscoélastiques, c'est-à-dire possédant des propriétés visqueuses aux temps longs (écoulement) et élastiques aux temps courts (Bloksma, 1990). Comme le montre la figure (3).

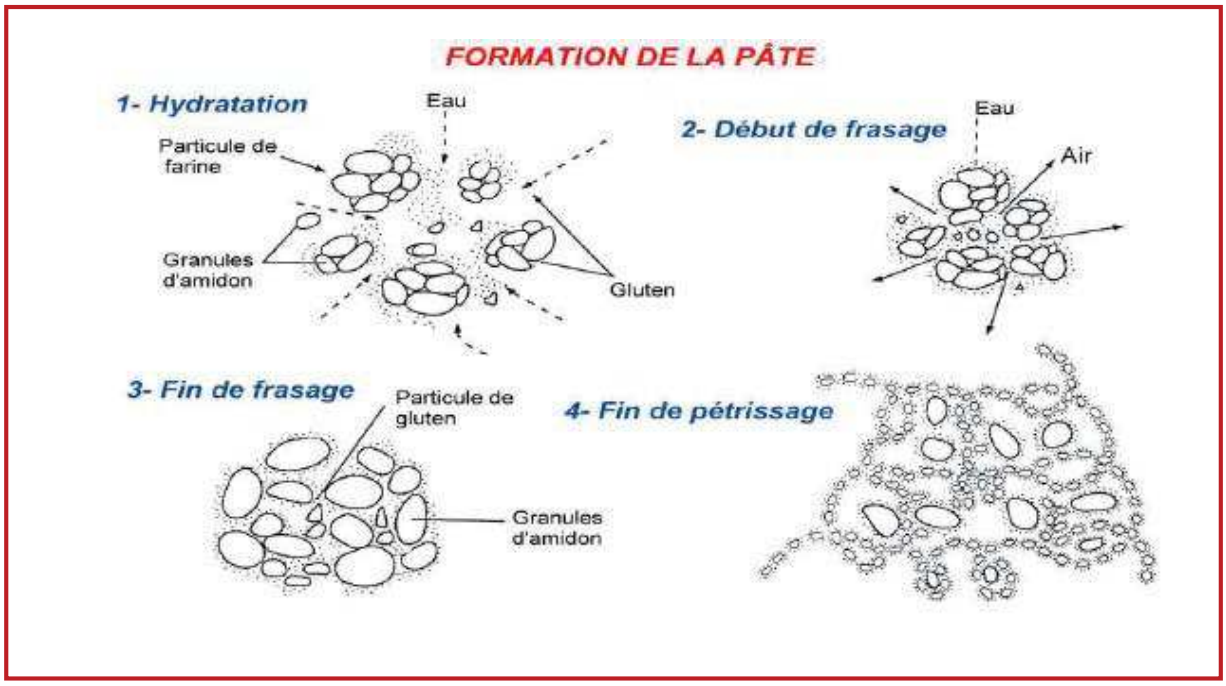

Figure 3: Formation de la pâte au cours du pétrissage (Guinet, 1992).

Le pétrissage peut être décomposé en plusieurs étapes (associées à plusieurs fonctions).

3.1.1. Frasage

S'effectue à vitesse lente, elle correspond au mélange des ingrédients pour former la pâte (buche, 2015). L'état physique du mélange évolue d'un état particulaire (milieu discontinu) à une pâte cohésive. En général, son but est l'homogénéisation des quatre composants de la pâte. L'eau assure la plastification du système (Potus *et al.*, 1992), favorisant la mobilité moléculaire permettant notamment aux enzymes d'agir, mais aussi la migration des lipides aux interfaces gaz-pâte. Cette étape est marquée par une augmentation rapide de la température du milieu, la chaleur dégagée est appelée chaleur d'imbibition (Levavasseur, 2007).

3.1.2. Malaxage

Cette seconde phase du pétrissage s'effectue à vitesse rapide (environ le double de la vitesse de frasage). Le bras du pétrin réalise simultanément le mélange, l'étirement, la compression et le cisaillement de la pâte. Ceci participe à l'acquisition des propriétés viscoélastiques de la pâte et à la formation d'un réseau glutineux (Buche, 2015). La figure (4) illustre l'action du pétrissage sur la réorientation des protéines du gluten.

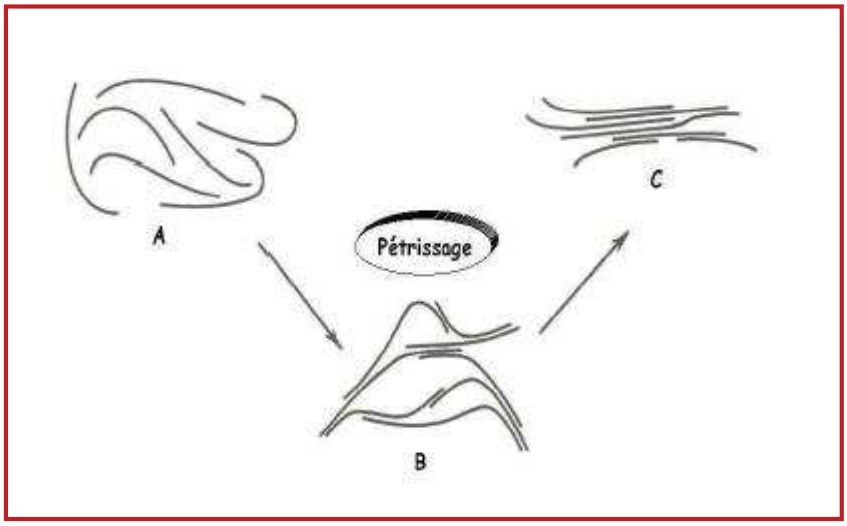

Figure 4 : Action du pétrissage sur la réorientation des protéines du gluten

A : menant à la formation d'un réseau cohésif assurant une meilleure élasticité et rétention de gaz
B : Un pétrissage trop important forme une pâte cassante
C : sous l'effet des interactions fortes entre protéines.

3.2. Fermentation

La fermentation, étape spécifique aux produits de panification, son rôle est d'enrichir la pâte en dioxyde de carbone (Chargelegue et *al*., 1994), qui sera par la suite retenu par le réseau glutineux (Autio et Sinda, 1992). Le pouvoir fermentatif dépend d'autres facteurs dont le nombre de cellules de levure et la quantité de sucre (Autio et Sinda, 1992). La fermentation panaire, est provoquée par l'action de la levure qui transforme les sucres présents dans la pâte en alcool (éthanol) et en gaz carbonique (CO_2) et est accompagnée d'un dégagement d'énergie (Falek, 2013). Dans un premier temps, le gaz carbonique s'accumule dans la phase aqueuse de la pâte provoquant une diminution du pH (Beuchat, 1987). Après saturation, il s'accumule sous forme gazeuse dans les alvéoles et exerce une pression interne sur le réseau de gluten ce qui provoque une expansion du volume de la pâte (Giannou et *al.*, 2003).

Au cours de la fermentation, la croissance des cellules de gaz dépend en partie de leur taille et leur stabilité ainsi que leur capacité à retenir le gaz. Elles sont d'un intérêt considérable car elles déterminent la structure de la mie et le volume final du produit (Falek, 2013). L'évolution de la taille et de la forme des cellules gazeuses dans une pâte en cours de fermentation est illustrée par la figure (5) (Ngangui, 2015).

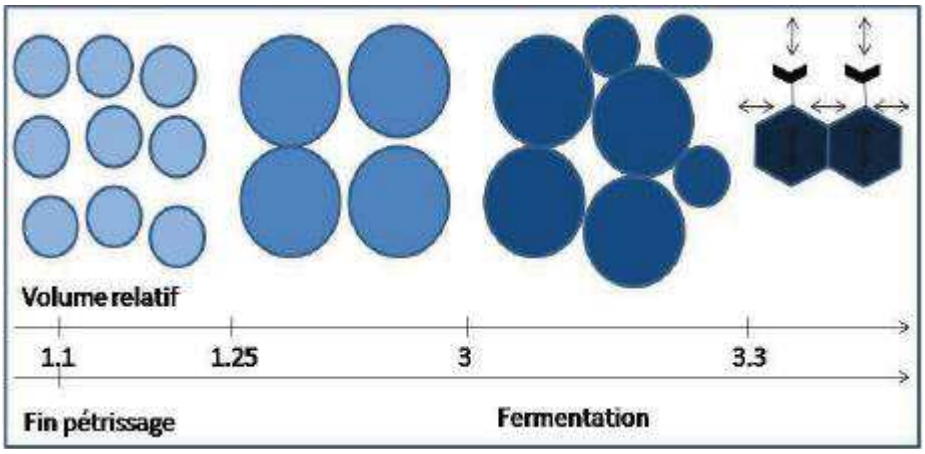

Figure 5 : Évolution de la taille et de la forme (de sphérique à polyédrique) des cellules gazeuses dans une pâte en cours de fermentation (Van Vliet et *al*., 1992).

3.2.1. Pointage

Le pointage, constitue la première période de fermentation de la pâte. Il commence dès l'arrêt du pétrin et se termine au moment du façonnage, la durée du pointage est liée aux conditions dans lesquelles s'effectue la fermentation. Elle varie selon les méthodes de travail adoptées, Le pointage fixe les arômes et donne à la pâte les qualités plastiques qui lui sont nécessaire (Biremont, 2003).

3.2.2. Façonnage

Le façonnage, ou mise en forme des pâtons, peut avoir une influence non négligeable sur le goût, ou plutôt sur la mâche et la flaveur de la mie et, par extension, sur celle du pain (Calvel,
1990). Il se pratique manuellement ou à l'aide d'une machine. La pâte à l'intérieure de la façonneuse est laminée, enroulée, puis allongée. Dans le cas d'un façonnage manuel, chaque pâton est repris un par un par le boulanger. Selon le degré de fermentation et la consistance de la pâte, le serrage des pâtons est plus ou moins fort. Si une pâte manque de force, le serrage sera plus important. Le serrage consiste à expulser le maximum de gaz carbonique contenu dans la pâte, tout en donnant une certaine cohésion au réseau glutineux. Dans cette étape, le boulanger travaille la pâte pour la dernière fois et il donne la forme définitive au pâton (Langraf, 2002).

3.2.3. Apprêt

C'est la deuxième période de la fermentation de la pâte. Celle-ci débute dès la fin du façonnage et se termine avec la mise au four. Tout au long de l'apprêt, le pâton augmente de volume sous l'action de la levure incorporée et grâce au gluten, contenu dans la pâte, qui agit en retenant les gaz produits, l'apprêt conditionne le volume du pain et lui confère sa légèreté

(Biremont, 2003). Le temps d'apprêt varie selon les méthodes de fabrication : plus le temps de pointage est long, plus le temps d'apprêt est court. L'apprêt doit se dérouler dans de bonnes conditions de température et d'hygrométrie. Il est plus facile de maîtriser ces deux facteurs en réalisant l'apprêt dans des enceintes climatisées appelées chambres de pousse contrôlée (Langraf, 2002).

3.2.4. Durée de fermentation panaire

Le tableau (2) détermine la durée totale des périodes de fermentation panaire, pointage et apprêt, selon Biremont est conditionné par différents facteurs :

- Le pouvoir enzymatique des farines employées ;
- La méthode de pétrissage employé ;
- La quantité de levure incorporée au cours du pétrissage ;
- La consistance de la pâte (pate douce ou ferme)
- Le mode de fermentation choisi (levain, levure, poolish)
- La température du fournil ou de la chambre de fermentation ou s'opère la fermentation des pâtons ;
- L'hygrométrie de l'air.

Tableau 2 : Durée des fermentations selon la méthode de pétrissage employé (Birmont, 2003).

	Durée de pointage	Durée de l'apprét	Durée totale
Pétrissage à vitesse lente	2h 30	1h 30	4h
Pétrissage amilioré	1h 30 à 2h	2 h	3h 30 à 4h
Pétrissage intensifié	1h	3h	4h

3.3. Cuisson

La cuisson a pour but essentiel de gélatiniser l'amidon et de coaguler les protéines afin d'accroître leur digestibilité. Elle permet en plus d'assurer une durée de conservation convenable au produit par destruction des enzymes et des microorganismes (Potus et Drapron 1990). La cuisson est une étape complexe au cours de laquelle a lieu une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques concomitantes telles que l'expansion du produit, la perte d'eau par évaporation, la formation d'une structure alvéolaire plus ou

moins développée, la dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, la formation d'une croûte et les réactions de coloration (Sablani et *al*., 1998).

3.3.1. Etapes de cuisson

La cuisson des pains se déroule en trois étapes :

- De 25 à 50 °C : La température au cœur de la pâte passe assez rapidement de 25 à 50 °C. Les ferments de la levure dégradent les sucres en gaz carbonique. Cette dilatation gazeuse provoque un développement rapide du pâton. Cette action se développe jusqu'à ce que la température interne du pâton atteigne 50 °C. Les ferments sont alors détruits, c'est la fin de la fermentation.

- De 50 à 80 °C : La pâte continue à se développer sous l'effet de la chaleur, les alvéoles se forment. Autour de 70° C, l'amidon se gonfle d'eau, se gélifie et les protéines se figent (il y a coagulation du gluten). Le pain atteint son volume définitif.

- De 80 à 100 °C : Pendant la cuisson, la température intérieure des pains ne dépasse pratiquement pas 100 °C. En revanche, à la surface du pâton, la température peut atteindre jusqu'à 230 °C et dès 180 °C se produisent des réactions de caramélisation et de brunissement non-enzymatique de Maillard qui caractérisent la formation de la croûte. Les sucres simples situés à la surface du pâton réagissent entre eux et donnent, par caramélisation, d'une part des produits colorés de saveur légèrement amère et d'autre part une longue série de composés olfactifs variés (Roussel et Chiron, 2005).

Chapitre 2

Procédé de Congélation

1. Techniques de conservation par le froid

Le froid est une technique de conservation des aliments qui arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des microorganismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des produits frais, végétaux et animaux en limitant leur altération (Murielle, 2009).

1.1. Réfrigération

La réfrigération consiste à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation mais toujours positive par rapport à celui-ci. Généralement la température de réfrigération se situé dans les alentours de 0°C à 4°C (Emilie, 2009).

1.2. Congélation

La congélation est un procédé qui consiste à abaisser la température du produit, le but est la conservation des aliments à long terme car en dessous de -10 °C, aucun microorganisme n'est capable de se développer et aux températures d'entreposage pratiquées dans le domaine alimentaire (-18°C), la vitesse des réactions chimiques est fortement abaissée (Bazinet et Castaigne, 2011).

1.3. La surgélation

C'est une technique de refroidissement brutal, qui met en œuvre des températures plus basses que la congélation (-35°C/-196°C) (Meghfour, 2014).

2. Congélation d'une matrice alimentaire

La congélation d'une matrice biologique peut être définie comme l'abaissement de la température sous le point de congélation commençante, jusqu'à solidification d'une certaine quantité de l'eau contenue dans la matrice. La congélation est largement utilisée pour la conservation à long terme de matrice biologique (aliments, tissus, …) et permet la préservation de la plupart des qualités des aliments. Son pouvoir de conservation résulte globalement de la baisse de l'activité de l'eau du fait du changement de phase eau-glace. L'abaissement de la température a également pour effet de ralentir les cinétiques des réactions de dégradation et de limiter voire de stopper le développement des microorganismes.

Cependant, certaines caractéristiques organoleptiques telles que le goût, la texture, et la valeur nutritive des aliments sont parfois affectées par la congélation. L'ampleur de ces dégradations dépend entre autres de la qualité initiale des produits mais aussi du contrôle du procédé de congélation et des étapes de stockage et de décongélation. Ces dégradations sont

principalement liées à des phénomènes physiques induits par la cristallisation de l'eau et par les phénomènes de diffusion associés. Les réactions chimiques et biochimiques de dégradation peuvent être soit induites par ce phénomène de cristallisation soit simplement ralenties par la basse température (Brice Tremeac, 2005).

2.1. Etapes de congélation d'un aliment

La congélation d'un aliment peut être séparée en trois phases (figure 6)

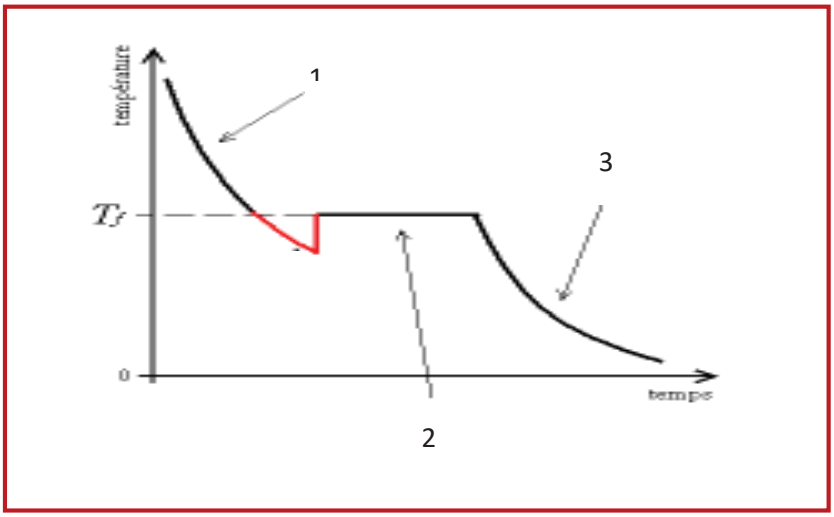

Figure 6 : Représentation schématique d'une courbe de congélation d'un aliment placé dans un congélateur à une température T (Bazinet et Castaigne, 2011)

- La première phase (1) correspond au refroidissement de la température initiale au point de congélation
- La deuxième phase (2) correspond au changement d'état de l'eau qui passe de l'état liquide à l'état solide. Pendant toute cette période, la chaleur latente de changement d'état est absorbée et le produit varie peu en température.
- La troisième phase (3) correspond à l'abaissement de la température jusqu'à la température de fin de congélation (Bazinet et Castaigne, 2011).

2.2. Phénomènes intervenant lors de la congélation

La solidification de l'eau pure se produit à 0°C sous pression atmosphérique. Cependant, l'état liquide peut être observé à une température inférieure à la température théorique de solidification; on parle alors de surfusion. L'eau présente dans les produits alimentaires l'est sous forme d'une solution saline. Cela a pour effet d'abaisser le point de solidification de l'eau à une température inférieure à 0°C. Deux processus gouvernent le phénomène de

cristallisation dans un procédé de congélation : la nucléation et la croissance des cristaux de glace (Brice Tremeac, 2005).

2.2.1. Nucléation

L'existence d'un cristal de glace stable est précédée par l'apparition d'un nucleus à partir duquel le cristal pourra se développer. Le processus de production de ces nucléus s'appelle la nucléation. Les nucleus sont des groupes de molécules qui jouent le rôle d'interfaces pour la condensation de molécules additionnelles. Si les nucleus sont formés par un agrégat de molécules du liquide refroidi, la nucléation est dite homogène ou spontanée. Si les germes sont formés par des particules étrangères ou par des surfaces, la nucléation est dite hétérogène. La nucléation spontanée de la glace se produit à des températures de l'ordre de -40 °C. La nucléation hétérogène peut se produire à des températures plus élevées mais inférieures à zéro (Brice Tremeac, 2005).

2.2.2. Croissance

La phase de nucléation est suivie d'une phase de croissance qui est contrôlée par deux phénomènes physiques : l'évacuation de la chaleur latente de la zone de cristallisation et la diffusion de l'eau vers les cristaux en croissance. Les molécules d'eau doivent diffuser de la masse du liquide vers le cristal pour s'ajouter au cristal croissant, et en même temps les molécules de soluté doivent quitter la surface de croissance du cristal. Le flux thermique détermine également le nombre de sites de nucléation formés. Or, la taille des cristaux est inversement proportionnelle au nombre de nucléus. Dans le cas d'une vitesse de progression rapide du front de changement de phase, la croissance des cristaux de glace initiaux qui est limitée par les phénomènes de diffusion est faible ; le taux de nucléation sera donc plus élevé que dans le cas d'une vitesse de déplacement faible (Reid, 1997).

3. Effet de la congélation sur l'aliment

La congélation, bien qu'elle soit bénéfique pour la conservation de l'aliment, présente divers effets indésirables qui se manifestent par une détérioration de la texture et de la qualité. C'est le changement d'équilibre qui est responsable de ces détériorations.

Equation :

$$\text{Eau liquide} \longrightarrow \text{eau solide (glace)}$$

Ce changement d'équilibre se produit durant la congélation, l'entreposage à l'état congelé et la décongélation (Bazinet et Castaige, 2011).

3.1. Effet de la congélation sur l'eau non congelée

Au début de la congélation à -5 °C, entre 25 et 50 % de l'eau est à l'état congelé, en revanche, à -18°C, température d'entreposage habituelle des aliments congelé, il y a encore entre 5 et 25% d'eau qui reste sous forme liquide. Plus on baisse en température, moins il restera d'eau à congeler. La congélation augmente la concentration des solutés dans l'eau non congelé (liquide) Ceci a pour effet, au début de la congélation, d'augmenter les vitesses de réaction des solutés entre eux ou avec les constituants cellulaire des cellules de l'aliment. En dessous de -15°C, la vitesse de réaction diminue rapidement à cause de la baisse de température qui rentre en compétition avec l'effet de la concentration (Bazinet et Castaige, 2011).

3.2. Effet de la congélation sur la structure cellulaire

- **Augmentation de volume**

Lors de la transformation de l'eau en glace, le volume augmente d'environ 9%, ceci provoque des ruptures internes qui peuvent briser les parois cellulaires qui sont la cause de l'exsudation lors de la décongélation (Bazinet et Castaige, 2011). Pour les aliments cette augmentation de volume est faible car toute l'eau n'est pas congelée (Cheftel et Cheftel 1977).

- **Déshydratation des tissus**

Dans le cas d'une congélation lente, la congélation extracellulaire augmente la concentration en soluté à l'extérieur des cellules, ce qui entraine une déshydratation par osmose de celle-ci (plasmolyse), et les cristaux de glaces grossissent à l'extérieure des cellules, pouvant endommager celles-ci. On n'observe pas de formation de cristaux à l'intérieure des cellules qui sont complétement déshydraté (Bazinet et Castaige, 2011).

Cette déshydratation des cellules abaisse encore la probabilité d'une nucléation intracellulaire dans la plupart des tissus ou des suspensions de cellules congelées lentement. L'augmentation de la concentration saline et une baisse de pH sont dues à l'élévation de la force ionique. Des modifications de la pression osmotique, du potentiel d'oxydoréduction, de la tension superficielle et de la pression de vapeur ou encore de point de congélation ont lieu (Cheftel et Cheftel 1977 ; Jeantet et *al*., 2006).

3.3. Effet de la congélation sur l'activité enzymatique

Toutes les enzymes ne sont pas inhibées de la même façon par le froid. Lors d'une congélation lente, l'activité prolongée de certaines enzymes devient significative (Jeantet et *al*., 2006). Fredot, (2005) estime que les lécithinases, phospholipases et lipases ne sont

inhibées qu'à -25 °C. Il se produit donc une hydrolyse enzymatique des phospholipides, avec libération d'acides gras libres oxydables entraînant un rancissement biologique. Cette oxydation peut être spontanée, c'est le rancissement chimique (Falek, 2013).

4. Entreposage à l'état congelé

Les fluctuations de températures lors de l'entreposage qui sont inévitable contribuent à l'augmentation de la taille des cristaux de glace, ce qui affecte la texture et l'aspect des produits. Pour éviter ceci le glaçage en surface et l'emballage avec un film imperméable à la vapeur d'eau constitue une bonne protection. Pour avoir un meilleur effet, l'emballage doit adhérer à la surface du produit afin d'éviter la dessiccation à la surface du produit avec condensation de l'eau sur la surface interne de l'emballage (Bazinet et Castaige, 2011).

5. Décongélation

C'est une opération très délicate qui conditionne complètement la qualité gustative et bactériologique du produit décongelé. Il faut donc un contrôle rigoureux de la vitesse de décongélation (Falek. 2013).

La décongélation est une opération quatre fois plus lente que la congélation car la conductivité thermique de l'eau est quatre fois plus faible que celle de la glace. Il se forme au début de la décongélation une couche aqueuse qui va freiner le processus (Cheftel et Cheftel 1977). La zone -5 à -1°C sera la plus difficile et la plus longue à franchir : on est dans la zone critique de cristallisation maximum à la congélation et de plus forte résistance à la décongélation car le gradient thermique entre le fluide qui réchauffe et le produit devient très faible (Oudot, 1999).

Lorenz & Kulp, (1995) recommandent une décongélation à température constante ou avec une température qui augmente graduellement pour éviter la condensation à la surface de la pâte. Pour Kenny et *al*., (2001) une décongélation rapide élève les températures de surface qui seront prêtes pour la fermentation, alors que le centre de la pâte reste encore congelé.

Selon Marston, (1978), la décongélation respectant le mieux la qualité des pâtes congelées (volume final et texture de la mie) semble être de l'ordre de 12 heures entre 0 et 5 °C.

6. Impactes de la congélation sur la pâte à pain et la qualité finale du pain

Si la congélation contribue à augmenter la durée de vie des produits de boulangerie, le stockage à basse température est connu affecter la pâte, endommager la structure du pain et réduire la qualité finale du pain (Ohgren et *al*., 2015).

Les traitements de congélation et de décongélation influencent profondément la stabilité des pâtes. Les effets se traduisent par une diminution du volume du produit et une augmentation du temps de fermentation, les conséquences augmentent avec la durée du stockage. La dégradation de la qualité des pâtes congelées est attribuée à deux problèmes fondamentaux : la rétention du gaz par le réseau de gluten et la production du CO_2 par les levures (Meziani, 2011).

Le taux de perte de poids de la pâte congelée à une température constante, précisé par la cinétique d'Arrhenius, augmente avec l'amplitude des fluctuations de température (Falek, 2013). Giannou and Tzia (2007) ont constatés que la perte de poids de la pâte congelée variait de 11 à 13% durant l'entreposage pour un maximum de 270 jours. La perte de poids est une altération importante de la qualité des produits alimentaires congelés qui dépend des conditions et de la fluctuation de la température de stockage (Phimolsiripola et *al*., 2011).

Une congélation lente pourrait dénaturer les protéines, qui entraîne une dissociation des structures oligomériques sans que leur réassociation soit forcément fonctionnelle cela provoque des effets chimiques qui résultent l'acidité et l'abaissement du pH (Meziani, 2011).

Des changements de la solubilité des protéines ainsi que l'altération définitive de la structure de la gluténine qui se dépolymérise en des molécules de plus faible poids moléculaire, causée en partie par la libération de substances réductrices des cellules mortes de levures sont des explications possibles de l'affaiblissement de la pâte et de l'effet sur l'extensibilité au cours de la congélation (Falek, 2013).

Lorsque la pâte est soumise à des températures En dessous de zéro, des fuites d'eau et des cristaux de glace poussent et endommagent le réseau de gluten pendant le stockage, ces cristaux de glace peuvent également affecter la levure Membrane conduisant à une diminution de la viabilité (Ohgren et *al*., 2015).

D'après la figure (7) une faible vitesse de congélation conduit à la formation des cristaux de glace à l'extérieur de la cellule de levure et provoque une augmentation de la concentration extracellulaire (conditions hyperosmotiques), causant un efflux d'eau du milieu intracellulaire vers le milieu extracellulaire (Chua & Chou, 2009). Ce transfert d'eau par exosmose provoque une déshydratation des cellules de levure (Beney et *al*., 2000). Au contraire, une vitesse de congélation élevée entraîne la formation de petits cristaux de glace à l'intérieur des cellules de levure (congélation intracellulaire) (Dumont et *al.*, 2003). La recristallisation des petits cristaux en gros pendant un stockage prolongé et une décongélation lente à basses températures conduit à la rupture des membranes cellulaires des levures.

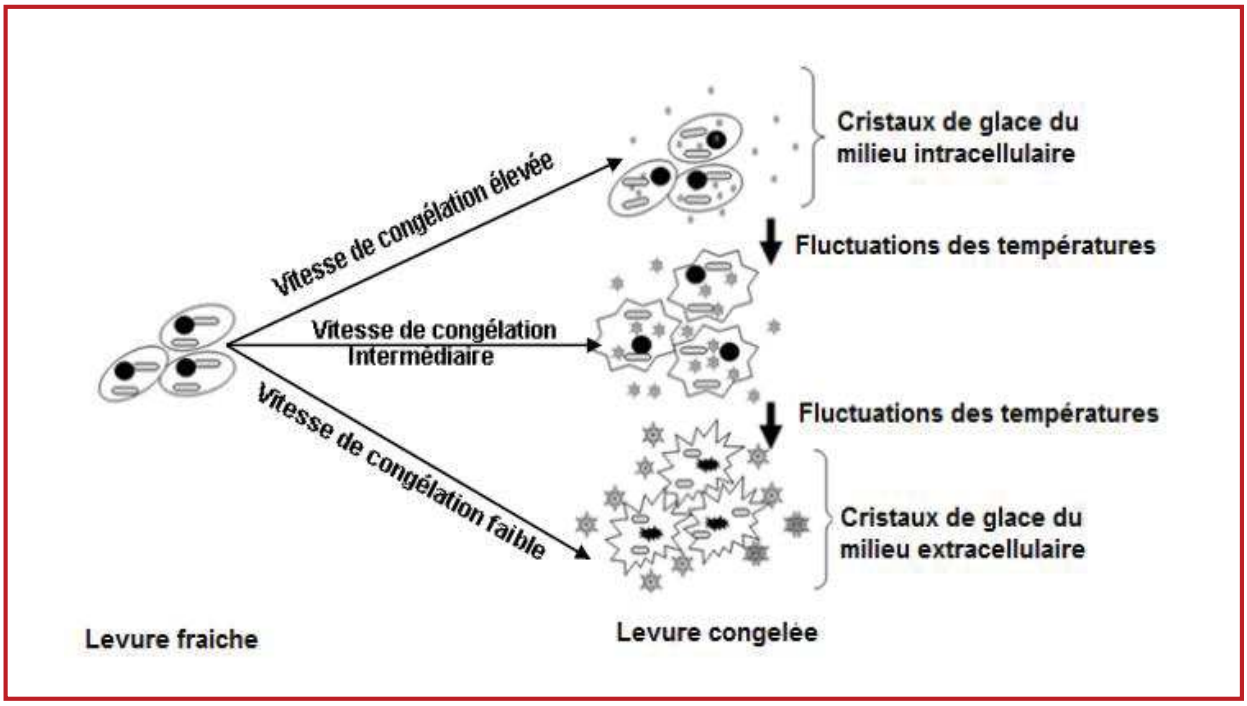

Figure 7 : Effet de la vitesse de congélation sur les cellules de levures (Meziani, 2011)

La diminution du volume du pain cuit à partir de la pâte congelée est l'un des principaux problèmes de qualité de l'utilisation de la pâte, On observe une diminution continue pendant le stockage au congélateur (Eckardt et *al*., 2013). La baisse la plus marquée de volume a été observée pendant la première semaine de stockage et a continué de baisser au cours de la deuxième semaine (Rasanen et *al*.1995). Le rapport de forme, rapport de la hauteur (H) sur la largeur (L) à mi-hauteur, des pains de pâtes congelées ont été plus plats que ceux de pâtes fraîches. La grande différence dans les rapports forme des pains pâtes fraiches et de ceux congelés peut-être due à la température trop élevée de décongélation créant un gradient de température important en plus de la perte d'étanchéité de la partie extérieure de la pâte (Falek, 2013).

Des analyses microscopiques montrent que le pain de pâte fermentée et congelée à une mie dense avec de grosses alvéoles sous la croûte. Ainsi, la destruction du réseau de gluten a libéré la plupart du CO_2 (Rasanen et *al*.,1995). La perte d'humidité ainsi que la rétrogradation de l'amidon sont deux des mécanismes de base opérant dans le raffermissement de la mie **(**Ribottaa et *al*., 2003**).** Martin et *al*., (1991), ont suggéré que la principale raison de la fermeté du pain est la formation de liaisons hydrogènes entre le gluten et les granules d'amidon. Par ailleurs, la congélation affecte la viabilité de la levure et son pouvoir fermentaire (Rasanen, 1998).

Deuxième partie

Etude expérimentale

Chapitre 3

Matériels et méthodes

Dans ce chapitre l'étude est consacrée au premier temps à la caractérisation physico-chimique de la matière première (farine de blé tendre) et les constituants mineurs de la panification (sel, levure et l'eau), puis à la préparation des échantillons de l'étude. Le travail se focalise sur la variation des paramètres au niveau des constituants, processus de fabrication et aux conditions de décongélation. Le control et le suivi des effets sur les pâtes ont été réalisés sur des échantillons de pâtes régulièrement estimé par l'évolution du temps.

1. Matières premières

1.1. Farine de blé

La farine utilisée dans l'étude est une farine panifiable achetée du commerce, provient de moutures industrielles de blé tendre de l'année 2016, avec un taux d'extraction de 60%, De la Semoulerie SOUMMAM GRANI, Akbou, Bejaia, Algérie. La farine est stockée au réfrigérateur à une température de 4°C pendant toute la période du travail.

1.2. Sel

Le sel est commercialisé sous forme de petits cristaux (Dimension moyenne ≤ 800 µm) d'un blanc pur, obtenus par recristallisation après évaporation sous vide à haute température. (Roussel et Chiron, 2002). Le sel est acheté dans le commerce, c'est un sel de table produit par ENASEL (Entreprise National du Sel) avec 1 kg du même lot.

1.3. Levure

La levure sèche utilisée est une levure instantanée, *Saccharomyces cerevisiae*. Fabriqué par S.*I.Lesaffre 59703 Marcq France*. Se présente sous forme de vermicelle, de couleur brune avec une odeur caractéristiques de la levure, son utilisation est facile. Elle est emballée sous vide afin de garantir la stabilité du produit à température ambiante. Il est recommandé, préalablement à son utilisation, de la mélanger à la farine puis d'éviter tout contact avec l'eau de coulage ou tout autre liquide avant le pétrissage (Biremont, 2003).

- Date de production : 06.07.2015
- Date de péremption : 06.07.2017

Après ouverture, la levure est conservée dans une boite hermétique au réfrigérateur à 4° C durant toute la période de l'étude.

1.4. Eau

On a utilisé l'eau de robinet du laboratoire.

2. Caractérisation physico-chimique de la farine de blé étudiée

2.1. Propriétés physiques des farines

2.1.1. Blancheur de la farine de blé

Les farines ont une couleur différente selon les variétés et le conditionnement des blés dont elles sont issues, elle peut aller du très blanc au légèrement crème. Selon Birmont, (2003), la couleur de la farine est un indice de pureté, peut être appréciée par un essai Pékar.

Test de Pékar sec : consiste à lisser 3g de farine sur une planchette à l'aide d'une spatule, après l'avoir aplatis et lissé, l'échantillon de farine est observé a l'œil nu puis analysé.

2.1.2. Couleur de la farine

La blancheur d'une farine est une caractéristique essentielle de sa qualité. Pour cette raison, les mesures de la couleur de la farine ont été effectuées en utilisant un colorimètre (Minolta, France) (Aboubakar, 2009).

La couleur est un attribut perceptif, subjectif, élabore dans notre système visuel à partir de la lumière renvoyée par les objets et par leur environnement.

La colorimétrie consiste en un ensemble de données et de méthodes permettant de quantifier la couleur objective. L'espace chromatique L, a*, b*, définit par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) est un espace a trois dimensions approximativement uniforme du point de vue des écarts chromatiques (Akdowa, 2014). Les trois coordonnées de CIE L, a, b sont des correspondants approximatifs de la luminance (L*), de la balance ≪rouge-vert≫ (a*) et de la balance ≪jaune-bleu≫ (b*) (Figure 8).

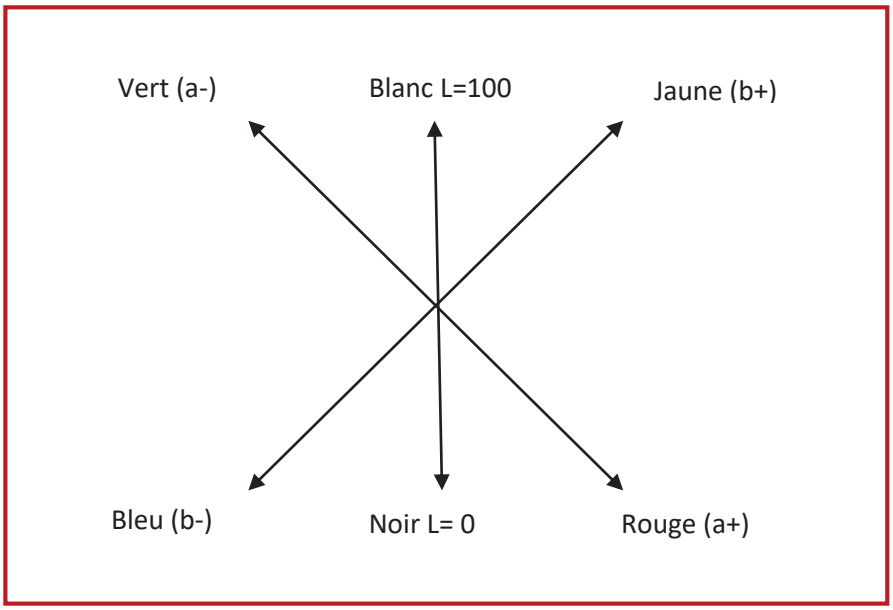

Figure 8 : Espace chromatique CIE L*a*b* (Akdowa, 2014)

♣ Mode opératoire :

Les mesures sont effectuées sur l'échantillon de farine, répartis dans des boites de Pétri transparentes. Après une calibration de l'appareil avec des étalons noirs et blancs, la cellule de l'appareil est directement positionnée sous la boite de pétri contenant la farine pour effectuer la mesure (Ndangui, 2015). Les résultats représentent la moyenne et l'écart type de 3 mesures.

Selon Nguimbou *et al*., (2012), L'Indice de Blancheur (IB) a été calculé suivant l'équation :

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad \text{..... (1)}$$

2.1.3. Distribution granulométrique

La granulométrie est l'étude de la distribution de la taille des particules d'une farine. C'est une caractéristique fondamentale, Elle joue un rôle important sur les propriétés fonctionnelles : réhydratation, capacité d'absorption d'eau, aptitude à la panification (NDANGUI, 2015).

Les travaux de Scher *et al.,* (1998) ont montré que la granulométrie est le principal facteur influençant les propriétés rhéologiques des farines, De façon générale, les propriétés d'usage (rhéologie, capacité d'absorption d'eau) des poudres dépendent fortement de la taille, de la distribution de taille et de la forme des particules qui les composent. De nombreuses techniques permettent de déterminer la granulométrie et la morphologie des poudres.

Le choix de l'examen permet d'apprécier dans un planchister la finesse de la mouture. Il consiste à passer à travers un tamis, de 200 µm d'ouverture de maille, une prise d'essai de 100 ± 0,01 g de farine. Le planchister fonctionne à une vitesse constante de 200 tr/min. Les tamis sont en bronze phosphoreux d'une surface utile de 283 cm^2. Le dégommage est assuré par 4 billes de caoutchouc de 15 cm de diamètre. Le tamisage dure 5 min et le refus du tamis est pesé à 0,001g près.

2.1.4. Odeur et saveur de la farine

D'après Birmont, 2003 une farine saine et fraiche ne doit pas avoir d'odeur forte. Sa saveur doit être douce. Les farines altérées présentent, généralement une odeur désagréable et un goût qui peut être acre, amer, acide, voire rance.

2.2. Composition biochimique de la farine de blé

2.2.1. Teneur en eau

La teneur en eau est déterminée par une balance mesurant d'humidité de marque (Radwag série M.RA) le principe de cette méthode utilise un rayonnement direct infrarouge pour sécher l'échantillon. Le rayonnement infrarouge est absorbé par l'échantillon. L'énergie absorbée provoque l'échauffement souhaité de la substance.

♣ Mode opératoire

L'échantillon est pesé et réparti uniformément dans le plateau d'aluminium. Au début de la mesure, le dessiccateur mesureur d'humidité détermine le poids de l'échantillon, puis l'échantillon est rapidement échauffé et l'humidité s'évapore. Pendant la dessiccation, l'instrument détermine continuellement le poids de l'échantillon et indique la diminution de l'humidité. A la fin de la dessiccation, le taux d'humidité ou le taux de matière sèche de l'échantillon en (%) est affiché en tant que résultat final.

2.2.2. Teneur en cendres

La teneur en matière minérale existant dans les différentes farines est déterminée par incinération d'une prise d'essai de 5 g à 900°C pour les farines de blé tendre selon la méthode AOAC(1990). L'incinération est réalisée dans un four à moufle Nabertherm GmbH. La minéralisation est poursuivie pendant 3 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanchâtre. (Bencadri, 2010).

La teneur en cendres "C" en g pour 100 g de produit sec est calculée par la relation :

$$C = Ri \times \frac{100}{Pe} \times \frac{100}{(100 - H)} \quad .....(2)$$

Avec :

Ri : résidu après incinération en g ;

Pe : prise d'essai de l'échantillon humide en g ;

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

2.2.3. Teneur en lipides

Le principe de la méthode est basé sur l'extraction complète au soxhlet de tous les corps gras présents dans un échantillon (Himeda, 2012).

♣ Mode opératoire

Les lipides ont été déterminés par différence de poids après extraction des lipides au soxhlet. Pour ce faire, de petites enveloppes en papier filtre ont été préalablement séchés pendant 1 heure à l'étuve à 105°C et refroidis dans un dessiccateur; puis une prise d'essai (5g) de poudre sèche y a été introduite et l'ensemble a été pesé. Les lipides ont été extraits durant 8 heures à l'hexane (250 ml). Après extraction, les enveloppes contenant les poudres délipidées ont été séchées pendant 24 heures à l'étuve puis pesés. La teneur en lipides, exprimée en grammes pour 100 g de matière sèche représente le rapport de la différence de poids du sachet avant et après l'extraction sur la masse sèche de la poudre. Les résultats exprimés représentent la moyenne de trois essais.

2.2.4. Protéines totales

Le dosage des protéines est estimé par la détermination de l'azote total par la méthode de KJELDHAL décrite par la norme AFNOR (NFV03-050). Le coefficient de conversion de l'azote total en protéines est de 5,7 pour la farine de blé (Kiger et Kiger, 1967).

♣ Le principe de la méthode

Consiste en la minéralisation de l'azote de la matière organique sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence d'un catalyseur approprié (sulfate de potassium et sulfate de cuivre). L'azote passe sous forme de sulfate d'ammonium. Après déplacement de l'ammoniac par la lessive de soude, il est dosé par titration.

♣ Les principales étapes sont :

<u>Minéralisation</u>

À chaud, l'acide sulfurique concentré (d = 1,98, 98 %) oxyde la matière organique et transforme l'azote organique en azote minéral. Avant d'être fixé sous forme de sulfate d'ammonium, l'azote passe d'abord à l'état d'ammoniac (Godon, 1991).

<u>Distillation de l'ammoniac</u>

L'ammoniac est déplacé de son sel par la lessive de soude (30 %). Sous l'action de la chaleur, l'ammoniac est libéré de son sel et entraîné avec les vapeurs d'eau. Il est récupéré dans un volume connu d'acide borique (4 %) sous forme de borate d'ammonium.

<u>Titration</u>

Le borate d'ammonium est titré avec une solution d'acide sulfurique à 0,01 N en présence de rouge de méthyle et de bleu de méthylène.

La teneur en azote (A) est exprimée en gramme pour 100 g de matière humide

$$A = \frac{N \times 14 \times D \times V}{1000 \times Pe} \times 100 \text{ ..... (3)}$$

Avec :
N : Normalité de l'acide sulfurique

14 : Masse en gramme d'un atome d'azote.

V : Volume en ml de solution d'acide sulfurique utilisée pour la titration.

D : Coefficient de dilution de l'échantillon.

Pe : Prise d'essai en g

2.2.5. Teneur en gluten

Le gluten est défini par le pourcentage de gluten humide restant sur une filière spéciale, après extraction et centrifugation selon la méthode préconisée et standardisée.

♣ Principe

Le gluten humide est extrait mécaniquement à l'aide d'un système glutomatic 2100 ou 2200. La centrifugeuse est utilisée pour forcer le gluten humide à traverser une filière spéciale.

♣ Mode opératoire

Peser 10 g de farine et la mettre dans la chambre de lavage du glutomatic équipé d'un tamis polyester 88 microns. Verser 4.8 ml d'une solution de chlorure de sodium (à 2%) sur la farine. La farine et la solution de chlorure de sodium se mélangent et forment une pâte pendant la phase de pétrissage de 20 secondes, lorsque la phase de pétrissage est terminée la lixiviation démarre automatiquement et dure 5 minutes. 30 secondes après la fin de la lixiviation la boule de gluten est récupérée puis centrifugée dans la cassette spéciale, la centrifugation est effectuée à une vitesse de 6000 +ou- 5 tpm pendant une minute. La fraction de gluten est récupérée à l'aide d'une spatule puis pesée, le gluten humide est ainsi obtenu

Le gluten humide obtenu est aplati et séché dans une plaque chauffante ainsi on obtient le poids du gluten sec. La capacité d'hydratation (CH %) du gluten est calculée par la formule:

$$CH\% = \frac{GH - GS}{GH} \times 100 \text{ ..... (4)}$$

CH : capacité d'hydratation

GH : gluten humide

GS : gluten sec

2.2.6. Teneur en amidon

La teneur en amidons totaux est déterminée par la méthode enzymatique décrite par Miller *et al*., (1997) avec de légères modifications.

♣ Principe

La méthode est basée sur la conversion totale de l'amidon en D-glucose par les enzymes purifiées indiquées pour l'amidon, et le dosage du D-glucose libéré par une enzyme ou un réactif spécifique (acide 3, 5-dinitrosalicylique).

♣ Mode opératoire

Une prise d'essai de 30 mg de farine est dispersée dans un tube contenant 6 ml d'éthanol 80 % (v/v). Après ajout de diméthylsulfoxide (DMSO), le tube est porté à ébullition dans un bain d'eau agitateur pendant 30 min. L'amidon solubilisé est ensuite hydrolysé par addition de 60µl d'α-amylase (40 mg/ml) d'*Aspergillus niger* puis, le tube est porté de nouveau à ébullition. Après 5 min, le tube est sorti du bain puis refroidi et 1 ml d'une solution tampon acétate (pH 4,5) et 40 µl d'amyloglucosidase d'*Aspergillus Niger* y sont ajoutés et l'ensemble est porté à 50 °C. Les contenus des tubes sont par la suite centrifugés (3000g, 10 min), et la concentration en glucose dans le surnageant est déterminée par la méthode de Fischer et Stein (1961) utilisant l'acide 3-5 dinitrosalicylique (DNS). L'absorbance est lue à 540 nm et la concentration en glucose est par la suite convertie en teneur en amidon en utilisant un facteur multiplicatif de 0,9.

2.3. Propriétés mécanique et plastique de la farine (Alvéographe)

On parle souvent de la force d'une pâte. On peut à ce titre rappeler que lorsqu'on fait du pain, on observe une levée, sous l'action des gaz issus de la fermentation. Cette levée est fonction bien sûr de la poussée gazeuse, mais aussi de la qualité du réseau glutineux, notamment de la capacité a ce déformer et à retenir le co_2 formé. (Delefrate, 2005).

L'Alvéographe permet l'évaluation de la valeur boulangère des farines destinées à la panification et de mesurer leurs force et élasticité à travers leur expansion sous forme d'une bulle par insufflation d'air sous une pression donnée. (Falek, 2013) Ceci est réalisé par l'Alvéographe Chopin au niveau du laboratoire 'moulins des Aurès' Batna.

♣ Mode Opératoire

Les pâtes destinées aux mesures à l'Alvéographe Chopin ont été préparées sans ajout de levure. Les pâtons sont préparés à partir de 250 g de farine et d'une quantité d'eau salée (2,5 p. cent) déterminée à partir d'une table en fonction de l'humidité de la farine. De l'air est insufflé

sous une certaine pression à l'intérieur de la pâte. Celle-ci s'expanse en bulle. Le temps d'expansion et de résistance à la rupture de cette dernière varie d'un échantillon à un autre. La pression à l'intérieur de la bulle de pâte est enregistrée comme une courbe sur un support en papier. Une courbe moyenne est tracée à partir des enregistrements des 5 pâtons (figure 9) (Falek, 2013).

♣ Lecture de la courbe :

W : désignant le travail au sens physique du terme. Sa valeur est proportionnelle à la surface sous la courbe obtenue, calculée automatiquement par l'Alvéographe. Il est exprimé en joule.

P : Connu sous le nom de pression, il représente la résistance à la déformation de la pâte (ou ténacité) sous la pression de l'air insufflé. Il est exprimé en mm d'eau sur l'axe des ordonnés de l'alvéogramme.

L : La longueur ou allongement correspond à l'extensibilité de la pâte, depuis le début du gonflement jusqu'à éclatement de la bulle. Il est exprimé en mm. Avec la valeur de L, on peut calculer l'indice de gonflement G selon :

$$G = 2.226 \times \sqrt{L} \text{ .....(5)}$$

Il est exprimé en cm^3. (DELFRATE, 2005).

P/L : Rapport de configuration de la courbe ou rapport de ténacité au gonflement, représente l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte. (NEAGA, 2005)

La réglementation algérienne (J O R A. 1991) en matière de panification exige :

- W compris entre 130 et 180
- G supérieur à 20
- P/L compris entre 0,45 et 0,65

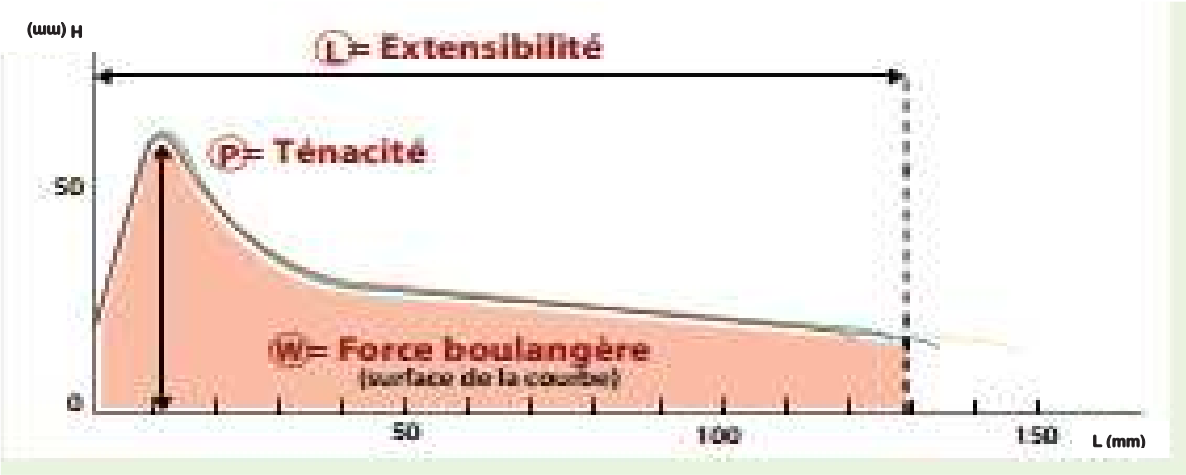

Figure 9 : Alvéogramme type d'une pâte à base de blé tendre réalisé sur l'Alvéographe Chopin (Delefrate, 2005).

Figure 10 : Photographie de l'Alvéographe Chopin

3. Démarche du travail expérimental

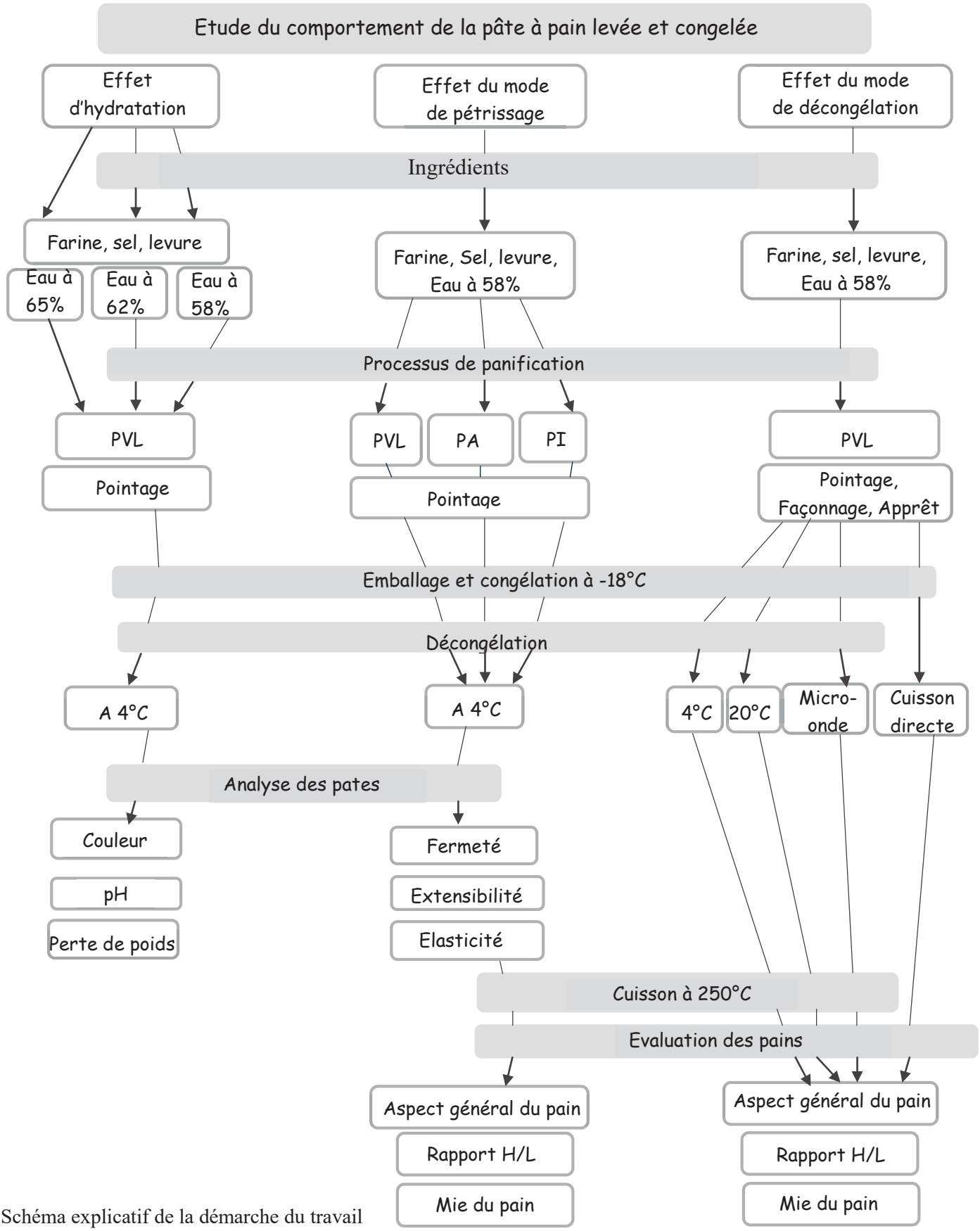

Schéma explicatif de la démarche du travail expérimental

3.1. Étude de l'effet d'hydratation sur le comportement de la pâte levée et congelée

Pour une même farine, la consistance de la pâte varie en fonction de la quantité d'eau incorporée. D'après Biremont (2003), généralement trois sortes de pate sont distinguées selon leur consistance :

- La pâte douce : est une pâte molle, obtenue avec une farine hydratée avec un taux de 65% et plus ;
- La pâte batarde : est une pâte intermédiaire, pour laquelle la farine est hydratée à 62%
- La pâte ferme obtenue avec une farine hydratée à 58%.

3.1.1. Fabrication des échantillons de l'étude

La formulation (figure 11) utilisée au cours de la panification de cette étude est la suivante

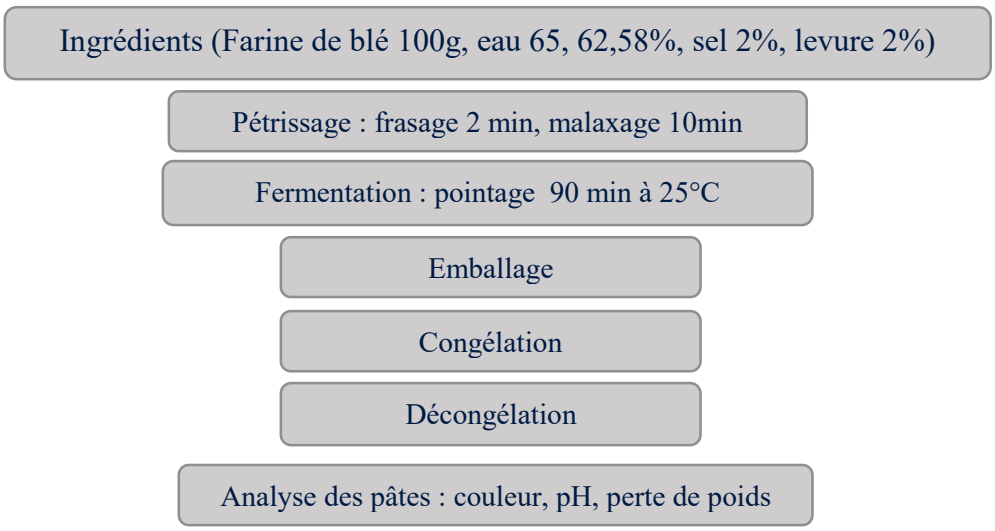

Figure 11 : Schéma représentatif des étapes de la fabrication des échantillons de l'étude de l'effet de l'hydratation

♣Ingrédients

La recette utilisée est une recette de base c'est-à-dire sans l'ajout de sucre, ni de matière grasse ni un agent améliorant. La farine est ressortie du réfrigérateur 24 h avant la pesée. L'eau est ajoutée selon le taux d'hydratation souhaité on a alors respectivement les taux utilisés pour cette étude 65%, 62%, 58%. Les quantités de sel et de levure sont déterminées par rapport à la quantité de la farine utilisée, le sel 2 % et la levure de 2 % du poids de la farine.

♣ Processus de fabrication

Le pétrissage

Le pétrin choisi est un pétrin à spiral de boulangerie, de 3 vitesses, de marque *COMAF* est sa capacité est de 5 kg de pâte.

Le temps de pétrissage :

- Frasage ; 2 minutes à première vitesse
- Malaxage ; 10 minutes à deuxième vitesse

La fermentation

Fermenteur (la chambre de fermentation)

C'est une sorte d'armoire métallique, équipé d'étagères amovibles permettant le stockage des pâtons pendant la durée de l'apprêt. Les portes sont fermées, pour maintenir la température et l'état hygrométrique de l'atmosphère dans lesquels évolue la pâte afin d'éviter son suintement ou son croutage, pendant la fermentation.

Ces appareils permettent de prolongé la durée de l'apprêt ; ils peuvent :

- Faire varier la température pour ralentir ou accélérer la fermentation ;
- Produire la chaleur nécessaire à réactiver la fermentation (entre 15 et 25°C).

Fournir l'humidité relative (idéalement entre 75 et 80% hygrométrie) permettant d'éviter le croutage ou le suintement des pâtons

Après le pétrissage, la pâte est ressortie de la cuve du pétrin et laisser se reposer en masse pendant 90 minutes dans une chambre a fermentation dont la température est maintenue à 25°C, c'est une fermentation primaire dite pointage.

L'emballage

Après pointage la pâte est découpée en plusieurs portions, pesées, emballée dans du film alimentaire ensuite mise dans des boite en plastique pour une meilleur conservation pour être ensuite congelée.

Congélation

Le congélateur utilisé est un congélateur domestique de marque *Condor*, la température est maintenue à -18°C

3.1.2. Analyse des pâtes congelées

Des portions de pates journalières sont décongelées la veille des expérimentations et placées dans un réfrigérateur à 4°C. Les pâtes obtenues ont été sujettes aux analyses suivantes :

3.1.2.1. Couleur

La couleur de la pâte est mesurée chaque semaine pendant les trois mois de conservation. Après une calibration de l'appareil avec des étalons noirs et blancs, la cellule de l'appareil est directement positionnée sur les portions de pate décongelées pour effectuer la mesure des trois coordonnées de CIE L, a, b sont des correspondants approximatifs de la luminance (L*), de la balance ≪rouge-vert≫ (a*) et de la balance ≪jaune-bleu≫ (b*)

Selon Gianou et *al.,* (2006) la variation de couleur E est estimée par l'équation suivante :

$$E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2} \quad .....(6)$$

3.1.2.2. pH

Le pH a été déterminé suivant la méthode modifiée de Nout (1989). Nous avons utilisé un pH-mètre préalablement étalonné avec des solutions tampons de pH=7 et pH=4 à la température ambiante. La mesure a été effectuée sur une suspension aqueuse constituée de 10 g d'échantillon et 20 ml d'eau distillée. (Malete et al, 2013). Le pH des pates est mesuré chaque semaine pendant les trois mois de conservation.

3.1.2.3. Perte de poids

La pesée de la perte de poids se fait sur des morceaux de pâte à l'état congelé c'est-à-dire on ne décongèle pas les échantillons destiné a mesuré la perte de poids, les trois échantillons de chaque taux d'hydratation sont retirées du congélateur puis pesée avec une précision de ±0.01 g. Avant d'être retourné au congélateur, ce processus entier a pris moins de 3 minutes pour éviter la décongélation des pâtes, la perte de poids étais la différence entre la valeur du poids initiale c'est à dire le poids des échantillons avant la congélation et le poids final.

3.2. Etude de l'effet du mode de pétrissage sur le comportement de la pâte levée et congelée

Dans cette partie, l'étude se base sur les différents types de pétrissage, ce dernier est la base de l'élaboration de la pâte ; en incorporant différents ingrédients puis en exerçant un travail mécanique sur le mélange, on cherche à obtenir une pâte de caractéristiques optimales. (Birmont, 2003)

Le temps de pétrissage influe sur les propriétés de la pâte ; ils varient selon :

- La qualité de la farine (une farine forte exige un pétrissage plus long, et inversement) ;
- Le type de pétrin utilisé ;
- La méthode de pétrissage ; PVL (pétrissage à vitesse lente), PA (pétrissage à vitesse moyenne), PI (pétrissage intensifié) ;
- La température de fournil et de la farine.

3.2.1. Préparation des pâtes à étudier

La formulation (figure 12) utilisée au cours de la panification de cette étude est la suivante

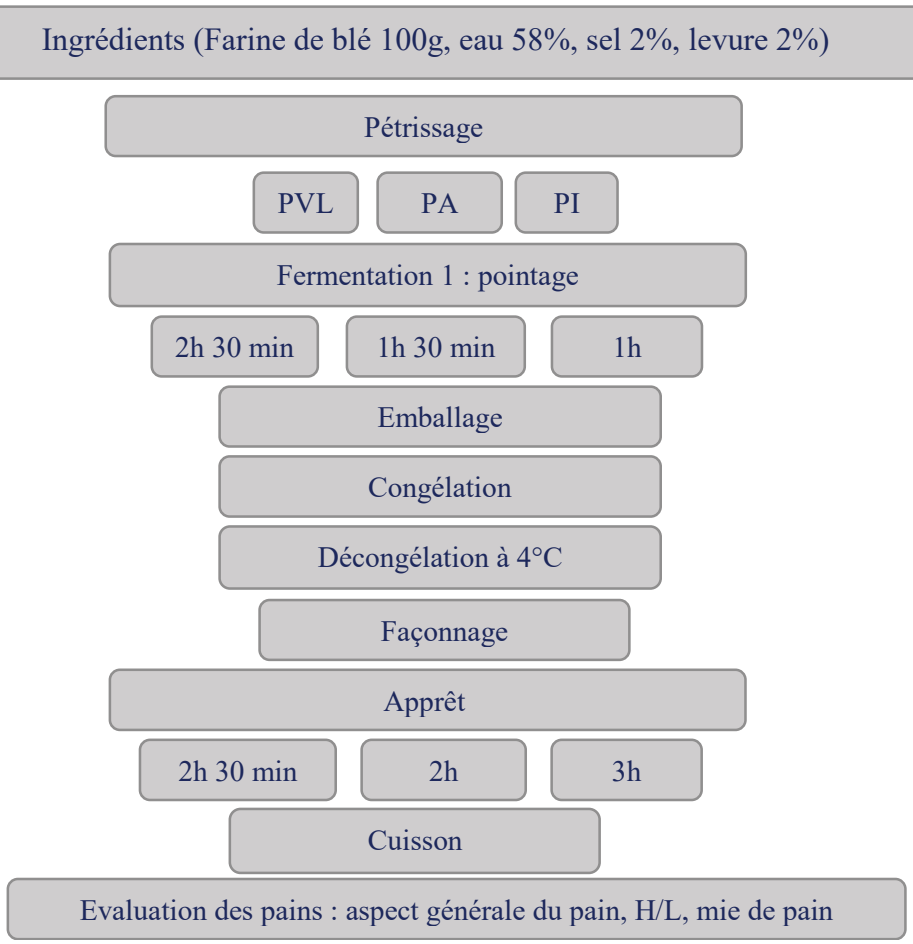

Figure 12 : Schéma représentatif des étapes de la fabrication des échantillons de l'étude de l'effet de Pétrissage

Ingrédients

La recette de base utilisée est la même utilisée dans la première partie, le taux d'hydratation par contre il a était fixé à 58% selon les résultats obtenus dans la première étude, ce taux a présenté de meilleurs qualité au niveau de la pâte, le taux de sel est de 2%, le taux de levure est de 2% par rapport au poids de la farine utilisée.

Processus de fabrication

Le pétrissage

Le pétrin utilisé est un pétrin à spirale de boulangerie de marque *COMAF* est sa capacité est de 5 kg de pâte. Le pétrin possède 3 vitesses de pétrissage

Les différents types de pétrissage utilisé dans cette étude :

- Le pétrissage à vitesse lente (PVL) :

Ce mode de pétrissage nécessite un temps de 15 minutes en première vitesse, avec une vitesse de rotation de 40 tours par minute.

- le pétrissage amélioré (PA)

Ce mode nécessite un pétrissage plus rapide : 12 minutes, dont 2 minutes en première vitesse pour l'opération appelée frasage, et 10 minutes en seconde vitesse pour le reste du pétrissage ; opération dite malaxage.

- le pétrissage intensifié (PI)

Ce mode nécessite une durée plus longue, il dure 20 minutes dont 3 minutes en première vitesse pour l'opération de frasage et 17 minutes en seconde vitesse pour le reste du pétrissage

La fermentation (pointage)

Après le pétrissage la pâte est ressortie de la cuve du pétrin et subis une première fermentation dite pointage selon la méthode de pétrissage employée, la pâte est placée dans une enceinte de fermentation avec une température maintenu à 25°C, la durée de pointage qui correspond à la méthode de pétrissage est présenté dans le tableau (3)

Tableau 3 : Durée de pointage selon la méthode de pétrissage employée (Birmont, 2003).

Mode de pétrissage	Durée de pointage
PVL	2 heures et 30 minutes
PA	1 heure et 30 minutes
PI	1heure

PVL : pétrissage à vitesse lente, PA : pétrissage, PI : pétrissage intensifié.

Emballage

Après la première fermentation la pâte est divisée et pesée en portion identique, ensuite pesée et emballée dans du film alimentaire mise en boite pour une bonne conservation pour être ensuite congelée.

La congélation

La congélation des échantillons se fait dans un congélateur domestique de marque *CONDOR* à une température maintenu à -18°C.

La décongélation

Les portions de pâtes sont ressorties la veille des expérimentations pour subir une décongélation lente dans un réfrigérateur à température maintenue à 4°C.

Façonnage et apprêt

Après décongélation les morceaux de pâtes sont façonnés en petites baguettes puis retournées dans la chambre de fermentation pour subir une deuxième fermentation dite apprêt à une température maintenue à 25°C. La durée de l'apprêt est choisie selon la méthode de pétrissage employée suivant le tableau (4)

Tableau 4 : La durée de l'apprêt selon la méthode de pétrissage employé (Birmont, 2003)

Mode de pétrissage	Durée de l'apprêt
PVL	2 heures et 30 minutes
PA	2 heures
PI	3 heures

PVL : pétrissage à vitesse lente, PA : pétrissage amélioré, PI : pétrissage intensifié

Cuisson

La cuisson est effectuée dans un four électrique ventilé il peut atteindre une température de 500 °C. Ce qui différencie un four traditionnel d'un four ventilé ou à convection, c'est la présence d'un ventilateur installé au fond du four. Durant la cuisson, un vent d'air chaud souffle constamment sur les aliments, ce qui accélère les échanges thermiques, c'est-à-dire le transfert de chaleur de l'air chaud à l'aliment. Les aliments cuisent au moins 25 % plus vite que s'ils étaient dans un four traditionnel réglé à la même température. Les échantillons sont mis dans le four préalablement chauffé à une température de 250°C et le temps de cuisson est de 10 à 13 minutes. Notons que chaque essai comprend six pains cuits qui seront analysés pour leurs caractéristiques physiques.

3.2.2. Evaluation de la pâte après décongélation

L'évaluation de la pâte après décongélation est nécessaire, selon les termes retenus dans la norme expérimentale AFNOR (NF V 03-716) pour le jugement des caractéristiques des pâtes ;

Après une décongélation au réfrigérateur, la veille des analyses la pâte peut révéler plusieurs comportements

Tableau 5 : Terme retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques des pâtes (Roussel et *al*., 2010).

Etapes de panification	Caractéristiques physique des pâtes
Façonnage	Raidit reste ferme relâche Très extensible extensible peu extensible tenace cassante Très élastique élastique peu élastique terreuse
Apprêt	Non déchirée déchirée
Mise au four	Normale collante croutée

3.2.3. Evaluation du pain produit à partir d'une pâte congelée

Après une heure de la cuisson nos échantillons sont mis pour être évalués, ils sont analysés selon la grille d'appréciation de la qualité de pain (norme V03. 716, AFNOR, 1991).

3.2.3.1. Aspect général du pain

Plusieurs paramètres sont disposés pour évaluer l'aspect général du pain, La couleur de la croute qui peut varieer entre brune, rouge ou bien doré ou pale, la forme de la baguette entre ronde ou plate, l'épaisseur de la croute.

Tableau 6: Terme retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques des pains (Roussel et *al*., 2010).

	Caractéristiques du pain		
Section	Ronde	normale	plate
Couleur	Pale Brillante	normale terne	rouge
Finesse de la croute	Fine Molle	normale croustillante	épaisse dure

3.2.3.2. Rapport hauteur / longueur

La hauteur (H) de la section du pain au milieu, ainsi que la largeur (L) de cette section à mi-hauteur sont mesurées et le rapport de forme H/L est calculé.

3.2.3.3. Mie du pain

La mie de pain présente un rôle très important par rapport à l'aspect général du pain parmis les critères on peut citer la couleur, la texture et alvéolage, flaveur, le tableau (7) représente les termes retenus par AFNOR pour le jugement de sa qualité.

Tableau 7 : Terme retenus dans la norme expérimentale AFNOR pour le jugement des caractéristiques de l'aspect de la mie (Roussel et al, 2010).

Aspect de la mie	**Caractéristiques**		
Couleur	Blanche	légèrement crème	grise
Texture	Aérée Régulière	serrée irrégulière	
flaveur	Bonne	désagréable	

3.3. Etude de l'effet du mode de décongélation sur les pâtons de pains fermenté et congelée

La troisième partie traite les effets de la décongélation sur les pâtons de pain fermentés et congelés pendant une période de 3 mois. La décongélation est une opération très délicate elle est donc testée selon 4 modes ; la décongélation au réfrigérateur à 4°C, la décongélation à température ambiante 25°C, la décongélation par micro-ondes, et une cuisson directe sans décongélation préalable.

3.3.1. Préparation des pâtes à étudier

La formulation (figure 13) utilisée au cours de la panification de cette étude est la suivante

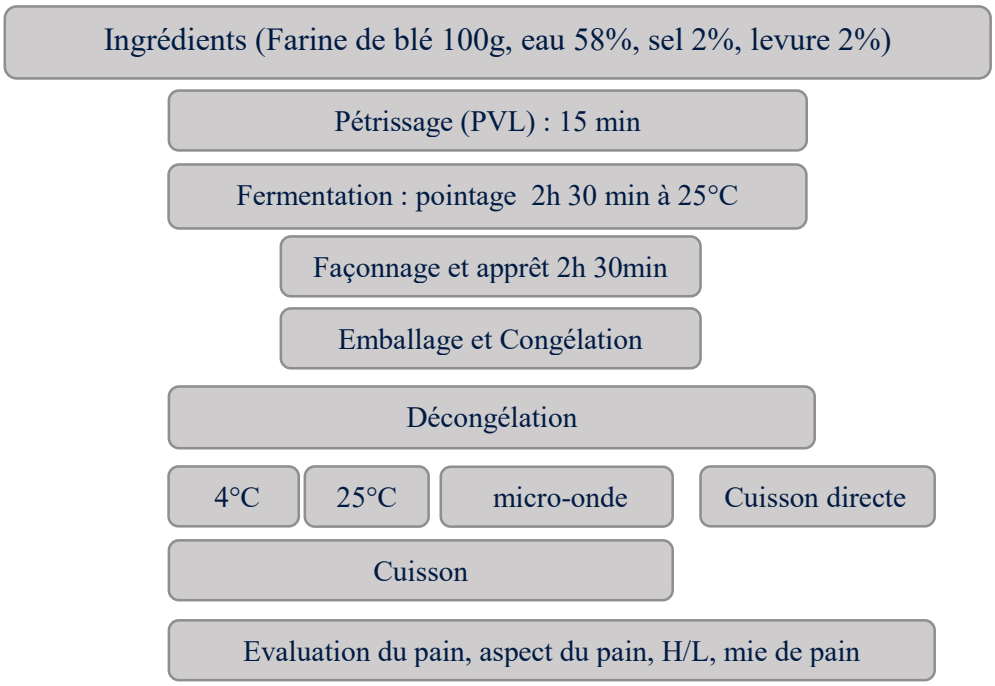

Figure 13 : Schéma représentatif des étapes de la fabrication des échantillons de l'étude de l'effet du mode de décongélation

♣ **Ingrédients**

La recette utilisée est une recette de base avec un taux d'hydratation fixé selon l'étude de la première partie à 58%, le taux de sel est de 2%, le taux de levure est de 2% par rapport au poids de la farine utilisée.

♣Processus de fabrication

Pétrissage Le mode de pétrissage choisi pour cette étude est le pétrissage à vitesse lente PVL selon les résultats obtenus dans la deuxième partie et qui nécessite 15 minutes de pétrissage,

Fermentation La fermentation se déroule dans une enceinte de fermentation avec une température maintenue à 25°C. Le temps de fermentation est choisi selon le mode de pétrissage employé, pour le pointage 2h 30 minutes et la deuxième fermentation dite apprêt prends 1h 30 minutes.

Le façonnage Le façonnage se déroule entre les deux phases de fermentation, les morceaux de pâtes sont pesés et façonnés en pâtons identique, longueur et hauteur.

Emballage Les pâtons sont donc emballés avec du film alimentaire et mis en boite pour une bonne conservation.

Congélation Les boites sont mises en congélateur à une température maintenue à -18°C. La durée de stockage est de trois mois.

Décongélation Des échantillons sont ressortis du congélateur chaque mois pendant les 3 mois de stockage, chaque mode de décongélation est contrôlé selon ses conditions :

1. Décongélation au réfrigérateur à 4°C ;

Les échantillons sont mis dans le réfrigérateur à une température réglée à 4°C, les pâtons sont mis dans compartiment le plus bas du réfrigérateur la veille des analyse et de la cuisson.

2. Décongélation à température ambiante 25°C

Les échantillons sont ressortis du congélateur 2 heures avant les analyses et la cuisson, les pâtons sont mis dans une enceinte métallique pour pouvoir contrôlé la température et l'humidité pour éviter le croutage. La température est maintenue à 20°C

3. Décongélation par micro-ondes ;

C'est la méthode la plus rapide, les échantillons donc sont ressortis du congélateur juste avant le traitement, Cependant comme l'eau liquide absorbe plus rapidement les micro-ondes que la glace, selon Bazinet et Castaigne (2011) il faut exposer le produit à décongeler de façon intermittente afin de permettre à la chaleur de se répartir par conduction dans l'aliment et d'éviter ainsi de cuire certaines parties de l'aliment.

4. Cuisson directe ;

Ce test ne nécessite pas une décongélation, le produits est mis directement dans le four préalablement chauffé à 250°C,

Cuisson Après la décongélation des échantillons, les pâtons sont mis au four à une température de 250°C**.** Le four utilisé est le même utilisé par les autres études.

3.3.2. Evaluation des pains après la cuisson

La procédure de l'évaluation des pains est la même suivi dans la deuxième étude c'est-à-dire suivant la norme AFNOR (V03. 716, AFNOR, 1991).

3.3.2.1. Aspect général du pain

Plusieurs paramètres sont disposés pour évaluer l'aspect général du pain (tableau 6), La couleur de la croute qui peut varie entre brune, rouge ou bien doré ou pale, la forme de la baguette entre ronde ou plate, l'épaisseur de la croute.

3.3.2.2. Rapport Hauteur/Longueur

La hauteur (H) de la section du pain au milieu, ainsi que la largeur (L) de cette section à mi-hauteur sont mesurées et le rapport de forme H/L est calculé

3.3.2.3. Mie de pain

La mie de pain présente un rôle très important par rapport à l'aspect général du pain parmi les critères on peut citer la couleur, la texture et alvéolage, flaveur, le tableau (7) représente les termes retenus par AFNOR pour le jugement de sa qualité.

Chapitre 4

Résultats et discussion

Dans ce chapitre l'étude est consacrée à la formulation des résultats obtenus durant le chapitre précédent concernant la caractérisation de la matière première et les effets de chaque paramètres étudiée sur la pâte à pain congelée, et suivre et discuté le comportement de la pâte et la caractérisation du produit finis durant toute la période de stockage au congélateur avec les résultats obtenus par la littérature.

1. Caractérisation physico-chimique de la farine

1.1. Propriétés physiques de la farine

1.1.1. Blancheur de la farine (Test Pékar)

L'image dans la figure (14) du test de Pékar de divers type de farines aplatis sur une planchette de bois, montre la différence de blancheur entre les trois types de farine. La farine de l'étude (2) est moins blanche par rapport à la farine supérieur (1) mais au niveau des piqures de son, elles sont presque identiques contrairement à l'autre farine panifiable (3) qui présente plus de piques et une couleur plus brune que l'échantillon de l'étude.

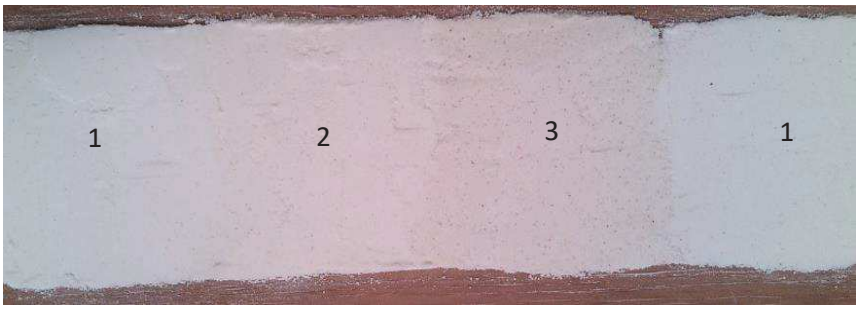

Figure 14 : Photographie d'analyse a l'œil nu de la blancheur de divers types de farines

1 : Farine panifiable industrielle supérieur achetée du commerce
2 : Farine panifiable achetée du commerce destinée à cette étude
3 : Farine panifiable fournie par un boulanger

1.1.2. Couleur de la farine

Les paramètres de couleur (L*, a*, b*) sont représentés dans le tableau (8) les résultats montrent que la farines a une blancheur appréciable (valeur élevée de L), moins rouge (valeurs très faible de a*) et moins jaune (valeur faible de b*). Ces valeurs sont presque identiques avec les travaux de Aboubakar, (2009) et Akdowa, (2014).

L'indice de blancheur (IB) représente la blancheur globale des produits alimentaires et peut indiquer le degré de décoloration au cours de l'opération de séchage (Nguimbou *et al*., 2012).

La couleur de la farine est très importante car elle détermine dans une large mesure la couleur de la croûte et de la mie du pain dans la panification (Ndangui, 2015).

Tableau 8 : Paramètre trichromatique L a* b* de la farine de blé tendre.

Paramètres de couleur	L*	+a*	+b*	IB
Valeurs	91.3 ± 1.5	0.1 ± 0.03	13.6 ± 0.7	83.86

Avec : L* = clarté ou luminance ; a* = composante chromatique (rouge-vert) ; b* = composante chromatique (jaune-bleu) ; IB : indice de blancheur.

1.1.3. Distribution granulométrique

Le pourcentage de refus au tamis d'ouverture de mailles de 200 µm est 5,89 %. Ce pourcentage est proche de la normale correspond à 6 % du grain de blé tendre, En boulangerie, la quantité d'eau absorbée, ainsi que la vitesse d'absorption d'eau augmente avec la finesse des particules de farine (Colas et Petel, 1984).

1.1.4. Odeur et la saveur de la farine

La farine ne présente ni forte odeur ni un goût désagréable, sa saveur est plutôt douce donc la farine est saine et fraiche.

1.2. Composition biochimique

1.2.1. Teneur en eau

La connaissance de la teneur en eau des farines est déterminante pour leur bonne conservation en raison de leur hygroscopicité, où il est nécessaire de l'abaisser jusqu'à 14 %, 12 % voire 7 % selon les utilisations (COLAS, 1998).

La teneur en eau de l'échantillon de farine est déterminée à plusieurs reprises afin de contrôler sa variation. Sa bonne conservation montre que la teneur en eau a très peu variée durant la période du travail expérimental, le tableau (9) présente la teneur en eau de notre farine durant la période expérimentale.

La farine de blé tendre utilisée a une humidité moyenne dès sa réception de 13.60 %, cette valeur est située dans l'intervalle 12,60-14,70 % donné par (Benkadri, 2010) et inférieure à 15,5 % maximum fixé par le *Codex Alimentarius* (FAO, 1996). La teneur en eau de la farine étudiée est considérée comme conforme aux normes.

Tableau 9 : Teneur en eau de la farine de blé tendre durant le travail expérimental

	Mois de réception	Après 3 mois	Après 6 mois
Valeurs	13.60 ± 0.04	13.17 ± 0.18	12.97 ± 0.07

1.2.2. Teneur en cendres

La teneur en cendres de l'échantillon de farine est en moyenne de 0.68%. Selon Gilbert et Gildas (2009) pour être utilisable en panification et en pâtisserie, les farines doivent avoir une faible teneur en cendre inférieur à 1%.

1.2.3. Teneur en lipides

La farine utilisée représente une teneur de 1.25 % de la matière grasse, ces résultats sont similaire à ceux mentionnés en littérature par turbin-orgger (2012) et Meziani (2012) entre 1 et 2% en masse sèche dans la farine. Ils sont négligés à cause de leur faible teneur ils jouent pourtant un rôle important sur les propriétés de la pâte, le comportement en cours de cuisson ainsi que sur le rassissement du pain. Les propriétés fonctionnelles des lipides dépendent de leurs liaisons ou interactions avec les autres constituants de la farine, tels que l'amidon ou les protéines (Turbin-orger, 2012).

1.2.4. Protéines totales

La teneur en protéines de la farine étudiée représente la moyenne de 10.42 ± 0.33 %, elle représente une valeur similaire à celle trouvé par Falek (2013) et pour chaunier (2005) une teneur de 11.5%. Selon Taupier (2005), Un seuil minimum de 10 % est nécessaire pour une farine panifiable de qualité.

1.2.5. Teneur en gluten

La farine présente un taux de gluten humide de moyenne de 12.47 ± 0.07 g c'est une valeur très faible par rapport au taux de gluten des farines panifiables qui varient entre 24 et 30 et un taux de gluten sec de moyenne de 9,19 ± 0.23 g qui se situe dans l'intervalle de 7 à 11g

1.2.6. Teneur en amidon

La teneur en amidon de la farine représente 54.09 ± 0.5 %, cette teneur est faible par rapport à la normal qui se situe entre 68 à 72 % (Chauni, 2005).

1.3. Propriétés mécanique et plastique de la farine

La caractérisation d'une pâte par l'Alvéographe Chopin est une indication de son comportement rhéologique durant son développement (Fetouhi, 2014). Les résultats de la caractérisation mécanique de la farine étudiée et les alvéogrammes obtenus pour chaque étape sont mentionnés dans le tableau (10).

L'échantillon de farine étudié à un travail de déformation de 133 x 10^{-4} Joule, elle est alors classée comme farine de bonne qualité selon les normes algériennes J.O.R.A. 1991 W est entre [130 et 180 $\times 10^{-4}$ joule]. La valeur d'indice de gonflement enregistré est de 15.6 cm³. Cette valeur est inférieure à celle indiquée par les normes de panification algériennes (J.O.R.A. 1991) qui exige un indice de gonflement supérieur à 20 cm³. La ténacité enregistrée est de 73 mm et l'extensibilité est de 49 mm, la norme recommande une ténacité supérieure à 45 mm. Cette forte ténacité indique de grandes capacités d'absorption d'eau, résistance et élasticité de la pâte (VERLING 1999). Ces valeurs sont similaires à celles rapportées dans la littérature par Levavasseur, 2009 et Falek 2013. Le rapport de configuration de la courbe (P/L) représente l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité des pâtes formées (Fetouhi, 2014), les résultats représentent un rapport de configuration de 1.49, ce rapport est nettement plus élevé que les exigences de panification algériennes (J.O.R.A. 1991) qui exige un rapport de [0.45 0.65].

Tableau 10 : Propriétés mécanique de la farine

Caractéristiques	Valeurs
Ténacité P	73 mm
Extensibilité L	49 mm
Indice de gonflement G	15.6
La force de la farine W	133 x 10^{-4} Joule
Rapport de configuration P/L	1 .49

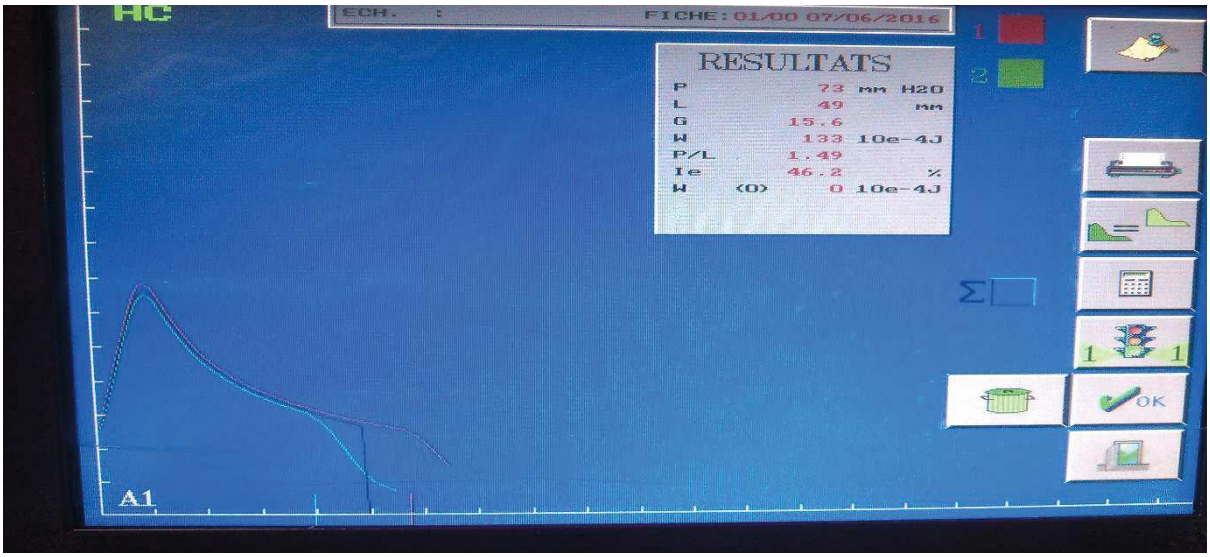

Figure 15 : Photographie des résultats donnés par l'Alvéographe Chopin

2. Effet d'hydratation sur le comportement de la pâte levée et congelée

2.1. Control et suivi de la couleur pendant la période de stockage au congélateur

Sur le tableau (11) est représenté l'effet de l'hydratation sur la variation de couleur de la pâte à pain congelé durant toute la période de stockage.

2.1.1. Paramètres de couleur

Aux taux d'hydratation 65% les paramètres de couleurs démontrent une large instabilité de la couleur de la pâte, la luminance L* varie entre 84.8 et 58.6, tandis que les valeurs a* (composante chromatique rouge-vert) varient entre 3.1 et 1.2 et celles de b* (composante chromatique jaune-bleu) varient entre 25.5 et 19.1, pour le taux d'hydratation 62% l'instabilité est moins large la luminance L* varie entre 85.7 et 69.3 et les valeurs a* et celle de b* respectivement varient entre (2.4 et 1.7), (25.9 et 18.2), par contre au taux d'hydratation 58% la variation de couleur est beaucoup plus stable la luminance L* est comprise entre (26.5 et 21.1) et les valeurs de a* et b* varient respectivement entre (3.3 et 2.7) et entre (26.5 et 21.1)

2.1.2. Variation de couleur

Une large variation de couleur observé (figure 16) dans le premier cas, celui de l'hydratation 65% elle est comprise entre 88.60 et 61.64, et pour l'hydratation 62% la variation est moins remarquable elle est comprise entre 89.56 et 71.67, contrairement au dernier cas celui de l'hydratation 58% elle est comprise entre 85.09 et 77.38 et démontre une grande stabilité notamment pendant les 8 premières semaines. Cependant même après 12 semaines d'entreposage en congélateur l'aspect de la couleur pour l'hydratation 58% reste

acceptable, en revanche lorsque la teneur en eau augmente provoque une altération élevée de la couleur des pates congelée (Giannou et Tzia, 2006).

Tableau 11: Variation des paramètres de couleur pendant les 12 semaines de stockage au froid (-18°C).

	65%			62%			58%		
semaine	L	a*	b*	L	a*	b*	L	a*	b*
0	86.1 ± 0.57^{r}	3.4 ± 0.2^{v,w}	25.9 ± 0.20^{u,v}	85.8 ± 0.26^{q,r}	2.6 ± 0.05^{k,l,m}	25.9 ± 0.49^{u,v}	84.5 ± 0.30^{p}	3.6 ± 0.08^{w}	26.6 ± 0.2^{w}
1	84.8 ± 0.49^{p,q}	3.1 ± 0.2^{q,r,s,t}	25.5 ± 0.46^{u}	85.7 ± 0.41^{q,r}	2.4 ± 0.05^{i,j,k}	25.9 ± 0.15^{u,v}	83.8 ± 0.1^{o,p}	3.3 ± 0.20^{u,v,w}	26.5 ± 0.5^{v,w}
2	82.8 ± 0.3^{n,o}	3.1 ± 0.05^{s,t,u,v}	24.6 ± 0.45^{s,t}	82.0 ± 0.5^{mn}	2.3 ± 0.05^{h,i,j}	24.8 ± 0.60^{t}	79.4 ± 0.46^{l}	3.2 ± 0.15^{t,u,v}	24.8 ± 0.4^{t}
3	79.3 ± 0.37^{l}	2.8 ± 0.05^{m,n,o,p,q}	23.9 ± 0.30^{q,r}	80.9 ± 0.46^{m}	2.3 ± 0.17^{h,i}	23.7 ± 0.79^{p,q,r}	78.9 ± 0.37^{l}	3.2 ± 0.05^{t,u,v}	24.3 ± 0.17^{r,s,t}
4	78.5 ± 0.40^{l}	2.6 ± 0.15^{k,l,m}	23.1 ± 0.05^{n,o,p}	79.7 ± 0.32^{l}	2.2 ± 0.05^{g,h,i}	22.9 ± 0.36^{l,m,n,o}	78.8 ± 0.1^{l}	3.1 ± 0.25^{r,s,t,u}	24.1 ± 0.43^{r,s}
5	74.6 ± 0.2^{f,g,h,i}	2.5 ± 0.05^{j,k,l}	23.1 ± 0.11^{n,o,p}	79.5 ± 0.51^{l}	2.2 ± 0.15^{g,h,i}	22.4 ± 0.05^{j,k,l,m}	76.7 ± 0.36^{j,k}	3.0 ± 0.2^{o,p,q,r,s,t}	23.8 ± 0.05^{q,r}
6	71.4 ± 0.45^{e}	2.2 ± 0.11^{g,h,i}	22.7 ± 0.43^{k,l,m,n}	78.4 ± 0.15^{l}	2.2 ± 0.17^{g,h}	21.8 ± 0.25^{i,j}	77.2 ± 0.26^{k}	3.03 ± 0.25^{p,q,r,s,t}	23.7 ± 0.2^{p,q,r}
7	70.4 ± 0.1^{e}	2.1 ± 0.11^{g,h}	22.2 ± 0.41^{j,k,l}	77.2 ± 0.40^{k}	2.1 ± 0.05^{f,g,h}	21.2 ± 0.3^{f,g,h}	76.7 ± 0.1^{j,k}	3.1 ± 0.05^{s,t,u,v}	23.4 ± 0.25^{o,p,q}
8	67.9 ± 0.3^{d}	1.9 ± 0.1^{d,e}	21.3 ± 0.1^{g,h,i}	75.6 ± 0.55^{h,i,j}	2.0 ± 0.1^{e,f,g}	20.6 ± 0.51^{d,e,f}	75.8 ± 0.45^{i,j}	2.9 ± 0.15^{n,o,p,qr,s}	22.9 ± 0.15^{m,n,o}
9	64.4 ± 0 .11^{c}	1.5 ± 0.1^{b,c}	20.7 ± 0.45^{d,e,f,g}	74.9 ± 0.58^{g,h,i}	1.8 ± 0.05^{d,e}	20.5 ± 0.15^{d,e}	75.2 ± 0.11^{h,i}	2.9 ± 0.1^{n,o,p,q,r}	22.7 ± 0.1^{k,l,m,n}
10	62.7 ± 0.47^{b}	1.7 ± 0.05^{d}	20.2 ± 0.28^{c,d}	74.7 ± 0.15^{g,h,i}	1.9 ± 0.05^{d,e,f}	19.8 ± 0.1^{c}	74.6 ± 0.37^{g,h,i}	2.8 ± 0.05^{m,n,o,p}	22.2 ± 0.30^{j,k}
11	59.2 ± 0.11^{a}	1.4 ± 0.43^{a,b}	19.2 ± 0.3^{b}	72.9 ± 0.45^{f}	1.7 ± 0.05^{d}	18.7 ±0.56^{a,b}	73.9 ± 0.35^{f,g}	2.7 ± 0.15^{m,n,o}	21.8 ± 0.36^{h,i,j}
12	58.6 ± 0.26^{a}	1.2 ± 0.05^{a}	19.1 ± 0.35^{b}	69.3 ± 0.80^{e}	1.7 ± 0.1^{c,d}	18.2 ± 0.15^{a}	74.4 ± 0.05^{f,g,h}	2.7 ± 0.17^{l,m,n}	21.1 ± 0.34^{e,f,g}

L* = clarté ou luminance ; a* = composante chromatique (rouge-vert) ; b* = composante chromatique (jaune-bleu) ; Les moyennes ± écarts-types.

Note : *Les résultats sont la moyenne de 3 répétitions exprimées en moyenne ± écart type. Les valeurs dans la même colonne avec différentes lettres présentent une différence significative (p<0.05)*

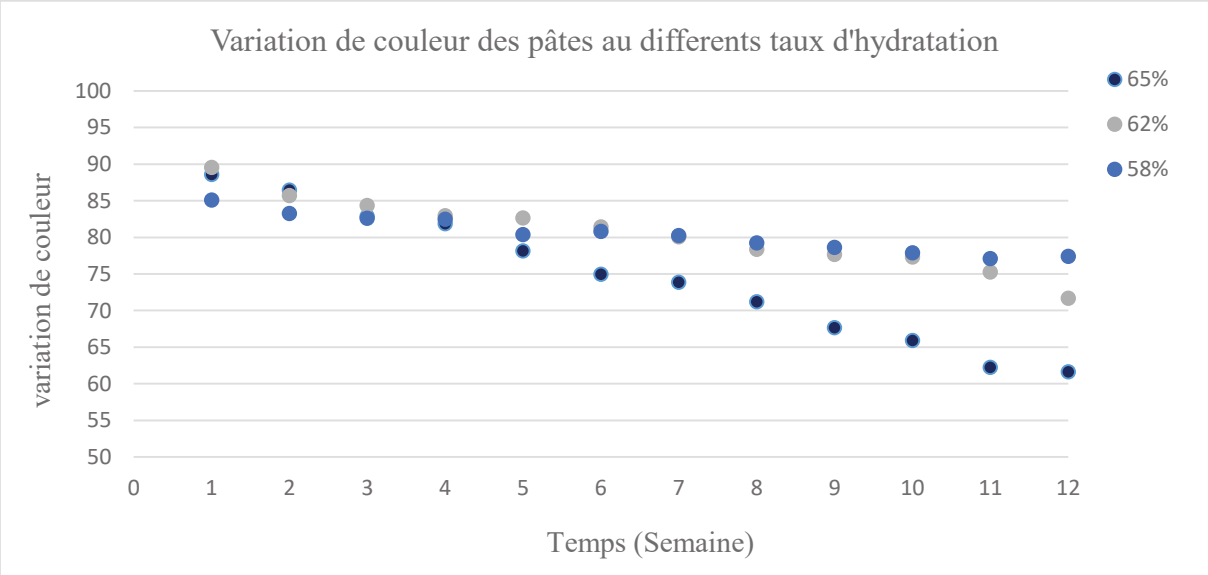

Figure 16 : Variation de la couleur des pâtes congelées hydratées à 65%, 62% et 58% durant 12 semaines d'entreposage à -18°C

2.1.3. pH

Le tableau 12 présente la variation du pH de différentes pâtes hydratées à 65%, 62% et à 58% pendant une période d'entreposage de 12 semaines en congélateur à une température maintenue à -18°C. La variation du pH au cours du stockage (congélation) prend presque le même rythme pour les 3 taux d'hydratation, durant les 2 premières semaines, on observe dans la figure (17) un léger abaissement de pH qui varie entre (4.82 et 4.78) pour le taux de 65 % et (4.71 et 4.65) pour le taux de 62 % et (4.84 et 4.52) pour le taux d'hydratation de 58%, selon Bazinet et Castaigne, (2011) la congélation augmente la concentration des solutés dans l'eau non congelée, ceci a pour effet au début de la congélation d'augmenter les vitesses de réactions des solutés entre eux ou avec les constituants cellulaire de l'aliment, par conséquents la concentration des solutés entraine la baisse du pH. En revanche après la deuxième semaine de congélation on observe dans (la figure 17), une augmentation du pH pour les trois taux d'hydratation pour le taux 65% est compris entre (5.80 et 7.01) pour le taux 62% varie entre (5.75 et 6.63) et pour le taux d'hydratation 58% le pH varie entre (5.80 et 6.39) cela explique la diminution rapide de la vitesse des réactions à cause de la baisse de température.

Tableau 12 : Variation du pH durant les 12 semaines de stockage au congélateur

	Variation du pH		
Semaine	**65 %**	**62 %**	**58 %**
0	$4.82 \pm 0.02^{c,d}$	$4.71 \pm 0.02^{b,c,d}$	4.84 ± 0.07^{d}
1	$4.75 \pm 0.025^{b,c,d}$	4.50 ± 0.17^{a}	$4.70 \pm 0.01^{b,c}$
2	$4.78 \pm 0.085^{b,c,d}$	4.65 ± 0.10^{b}	4.52 ± 0.01^{a}
3	5.80 ± 0.04^{e}	5.75 ± 0.07^{e}	5.80 ± 0.01^{e}
4	5.97 ± 0.01^{f}	5.80 ± 0.05^{e}	5.77 ± 0.02^{e}
5	5.98 ± 0.04^{f}	5.97 ± 0.12^{f}	5.93 ± 0.01^{f}
6	6.21 ± 0.06^{g}	5.95 ± 0.005^{f}	5.96 ± 0.02^{f}
7	6.38 ± 0.12^{h}	6.13 ± 0.02^{g}	5.98 ± 0.03^{f}
8	$6.52 \pm 0.04^{i,j,k}$	$6.42 \pm 0.03^{h,i}$	5.94 ± 0.005^{f}
9	6.82 ± 0.02^{l}	$6.46 \pm 0.06^{h,i,j}$	5.98 ± 0.02^{f}
10	7.02 ± 0.15^{m}	$6.56 \pm 0.01^{j,k}$	6.12 ± 0.005^{g}
11	6.89 ± 0.14^{l}	6.61 ± 0.01^{k}	6.25 ± 0.03^{g}
12	7.01 ± 0.23^{m}	6.63 ± 0.01^{k}	$6.39 \pm 0.02^{h,i}$

Note : *Les résultats sont la moyenne de 3 répétitions exprimées en moyenne ± écart type. Les valeurs dans la même colonne avec différentes lettres présentent une différence significative (p<0.05)*

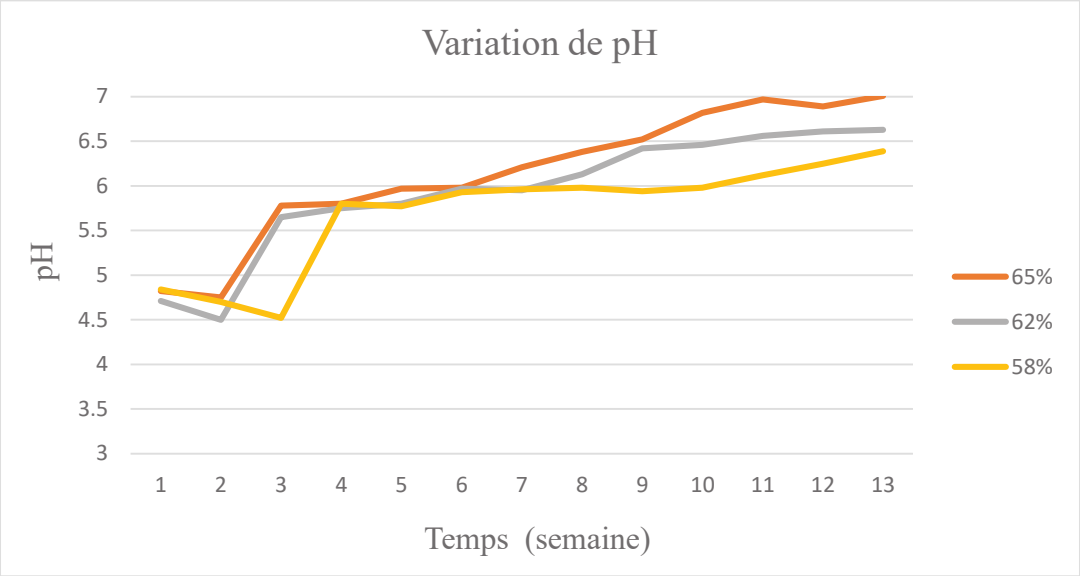

Figure 17 : Variation du pH durant la période de stockage au congélateur

2.1.4. Perte de poids

Le tableau (13) montre les résultats de la perte de poids qu'a subit les pâtes au congélateur pendant toute la période de stockage.

Les résultats du contrôle de la perte de poids pendant la période de stockage étaient raisonnablement faible pour le taux d'hydratation 58% qui varie entre (0.01 et 0.59) comme le montre la figure (18), le taux de perte était sensiblement plus haut pour les taux d'hydratation 65% et 62% qui varie respectivement entre (0.02 et 1.03) et entre (0.01 et 0.85) ; selon Phimolsiripol et *al.,* (2007) la perte de poids est due au transfert de l'eau de la pâte en glace et qui par la suite subit une sublimation à l'intérieur de l'emballage, ce modèle de la perte de poids des pâtes est compatible à la théorie standard de la perte de poids évaporative des aliments emballés (Laguerre et chiquenaude, 2007). La sublimation de glace produit une couche extérieure déshydratée qui change l'aspect, la couleur, la texture et le gout de l'aliment (Campanone et *al*., 2001).

Tableau 13 : Taux de perte de poids durant les 12 semaines de stockage.

	Le poids calculés en %		
semaine	**65%**	**62%**	**58%**
0	0.0 ± 00[a]	0.0 ± 0.0[a]	0.0 ± 0.0[a]
1	0.02 ± 0.01[b]	0.01± 0.15[a,b]	0.01 ± 0.005[a,b]
2	0.21 ± 0.005[d]	0.08± 0.23[c]	0.03 ± 0.005[b]
3	0.30 ± 0.005[f,g]	0.22 ± 0.01[d]	0.09 ± 0.01[c]
4	0.38 ± 0.01[h,i]	0.51± 0.005[k]	0.23 ± 0.005[d,e]
5	0.46 ± 0.005[j]	0.58± 0.01[l]	0.25 ± 0.02[e]
6	0.52 ± 0.005[k]	0.61 ± 0.01[m]	0.29 ± 0.01[f]
7	0.59 ± 0.01[l]	0.63± 0.05[m]	0.32 ± 0,01[g]
8	0.63 ± 0.01[m]	0.69 ± 0.05[n]	0.36 ± 0.01[h]
9	0.74 ± 0.02[o]	0.72± 0.01[o]	0.38 ± 0.01[i]
10	0.86 ± 0.02[r]	0.78± 0.01[p]	0.48 ± 0.01[j]
11	0.92 ± 0.02[s]	0.83 ± 0.01[q]	0.52 ± 0.005[k]
12	1.03 ± 0.03[t]	0.85 ± 0.05[r]	0.59 ± 0.005[l]

Note : *Les résultats sont la moyenne de 3 répétitions exprimées en moyenne ± écart type. Les valeurs dans la même colonne avec différentes lettres présentent une différence significative (p<0.05)*

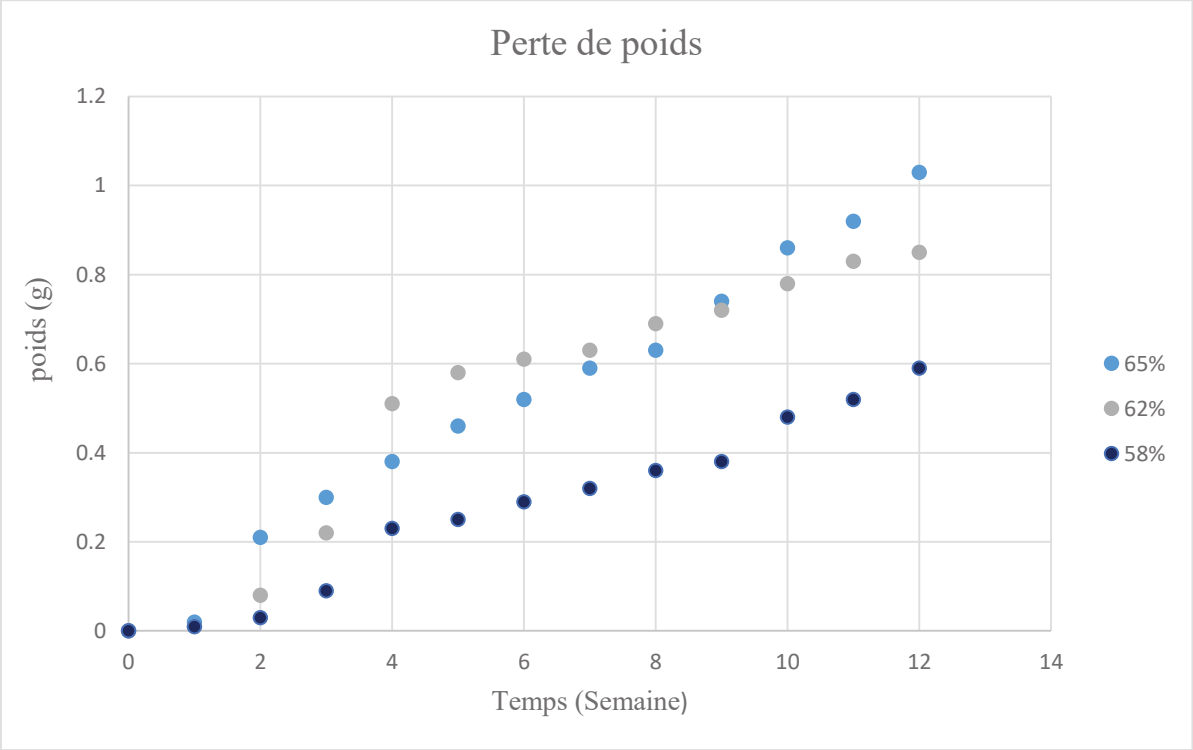

Figure 18 : Evolution de la perte de poids des pâtes hydraté à 65% , 62% et 58% pendant 12 semaines d'entreposage au congélateur a une température maintenue à -18 °C

3. Effet du mode de pétrissage sur les propriétés physique du pain produit à partir de la pâte congelée

3.1. Évaluation de la pâte après décongélation

La pâte qui révèle de meilleurs caractéristique est celle du mode de pétrissage PVL tableau (14) avec un temps de pétrissage de 15 minutes à vitesse lente, la pâte ne relâche pas même après une durée de congélation de 3 mois, elle présente de meilleures caractéristiques au niveau de l'extensibilité et l'élasticité, mais elle devient collante après 3 mois de congélation.

Le pétrissage amélioré présente des résultats assez satisfaisant mais seulement les deux premiers mois d'entreposage au congélateur, après les 2 mois la pâte relâche et devient très collante et par conséquents difficile à manier.

Le troisième mode de pétrissage dit le pétrissage intensifié présente des résultats médiocres et cela à partir du premier mois de stockage, la pâte devient très collante et trop élastique elle relâche et devient difficile à manier.

Tableau 14 : Caractérisation et suivi de la pâte durant les 3 mois de stockage au congélateur

		Durée d'entreposage au congélateur		
Mode de pétrissage	**Etapes de fabrication**	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
PVL	Façonnage Apprêt Mise en four	-Reste ferme -extensible -élastique -non déchirée -normal	-Reste ferme -extensible -élastique -non déchiré -normal	-reste ferme -peu extensible -peu élastique -non déchiré -collante
PA	Façonnage Apprêt Mise en four	-reste ferme -extensible -très élastique -non déchiré -collante	-reste ferme -extensible -très élastique -non déchiré -collante	-relâche -peu extensible -très élastique -non déchiré -collante
PI	Façonnage Apprêt Mise en four	-reste ferme -extensible -élastique -non déchiré -collante	-relâche -très extensible -très élastique -non déchiré -collante	-relâche -très extensible -très élastique -non déchiré -collante

PVL : pétrissage à vitesse lente, PA : pétrissage amélioré, PI pétrissage intensifié

3.2. Evaluation du pain produit à partir d'une pâte congelée

3.2.1. Aspect général du pain

Le tableau (15) représente l'aspect général des pains qui ont étaient pétris avec 3 différents modes de pétrissage et entreposés au congélateur d'une période de 3 mois, à une température maintenue à -18 °C,

D'après les résultats obtenus le mode de pétrissage PVL semble donner les meilleurs résultats pendant les trois mois de stockage avec un pain qui a présenté une bonne rondeur et coloration de la croute ; le PA dispose un bon aspect durant les deuxièmes mois de stockage seulement en ce qui concerne la croute qui était plus ou moins dure, par contre le PI après le premier mois de stockage le pain a pris une couleur pale et aussi la section était plate et une croute dure cela à un rapport avec la longue période de l'apprêt qui prend 3 heures.

Tableau 15 : Aspect général des pains pétris avec 3 différents modes de pétrissage (PVL, PA, PI)

		Durée d'entreposage au congélateur		
Mode de pétrissage	**Caractéristiques du pain**	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
PVL	Section Couleur Finesse de la croute	-ronde -rouge -normale, molle	-ronde -rouge -normale, croustillante	-normale -normale -normale, croustillante
PA	Section Couleur Finesse de la croute	-ronde -rouge -fine, croustillante	-normale -normale -normale, dure	-plate - pale, terne -normale, dure
PI	Section Couleur Finesse de la croute	-normale -normale -normale, dure	-plate -pale, terne -épaisse, dure	-plate -pale, terne -épaisse, dure

PVL : pétrissage à vitesse lente, PA : pétrissage amélioré, PI : pétrissage intensifié

3.2.2. Rapport hauteur / longueur

Le tableau (16) démontre le rapport calculé hauteur / largeur à mi-hauteur des pains des trois modes de pétrissage PVL, PA, PI, durant les 3 mois d'entreposage au congélateur

Le PI représente de très mauvais résultat avec un rapport H/L qui vari ente (0.572 et 0.531), le résultat était évident vu la pâte qui a relâché au bout d'un mois d'entreposage au congélateur et la section plate après la cuisson, le PVL par contre dispose d'un rapport assez satisfaisant pendant toute la période d'entreposage qui varie entre (0.651 et 0.642) comme le

montre la figure (19) , le PA après le premier mois d'entreposage a montré une baisse qui est due au relâchement de la pâte lors de la congélation.

L'instabilité du rapport H/L que montre la figure (19) du PI, confirme qu'au-delà d'une certaine durée de pétrissage qui est estimé à 20 minutes d'après Falek (2013) il y a un surpétrissage, qui provoque selon Cecylia et Boushuk (1967) un mauvais développement du réseau de gluten, responsable de la capacité de rétention gazeuse. La gluténine est solubilisée résultant en un faible volume du pain (Bushuk et *al*., 1994). Il existe une quantité d'énergie optimale fournie à la pâte durant le pétrissage pour laquelle le volume de pain est maximum (Frazier et *al*., 1979).

Tableau 16 : Evolution du rapport H/L des pains issus d'une pâte congelé pendant 3 mois de stockage

	Période d'entreposage au congélateur		
Mode de pétrissage	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
PVL	0.651 ± 0.03	0.643 ±0.40	0.642 ± 0.05
PA	0.625 ± 0.23	0.574 ± 0.08	0.552 ± 0.18
PI	0.572 ± 0.04	0.561 ± 0.09	0.531 ± 0.02

PVL : pétrissage à vitesse lente, PA : pétrissage amélioré, PI : pétrissage intensifié.

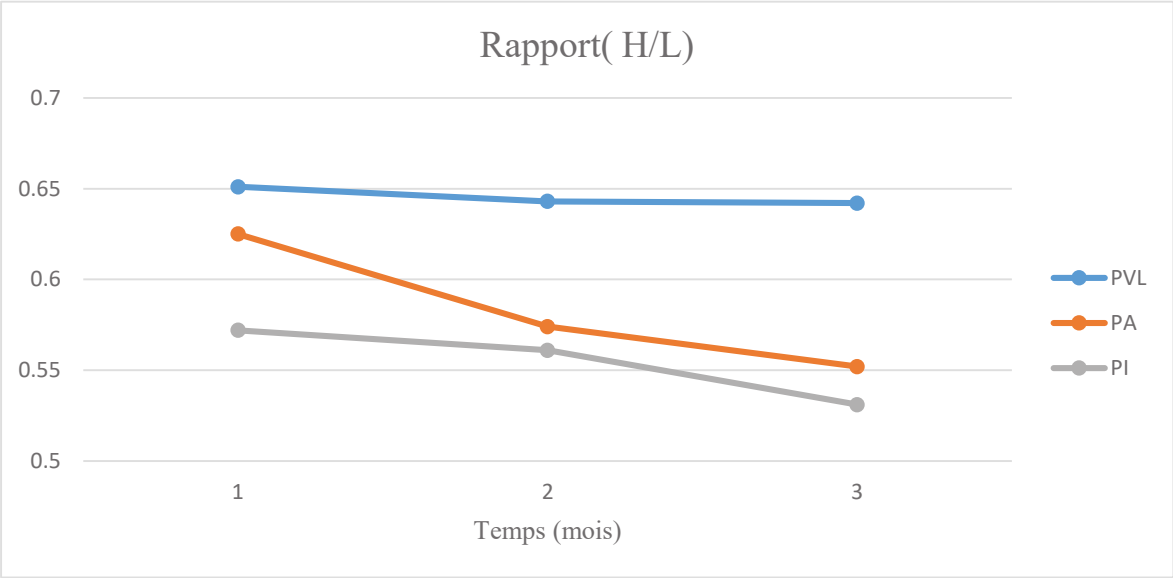

Figure 19 : Evolution du rapport H/L des pâtes durant la période de l'entreposage à une température de -18°C

3.2.3. Aspect de la mie de pain

Le tableau (17) représente l'aspect de la mie de différents pains qui ont étaient pétris par 3 modes de pétrissage PVL, PA, PI, pendant une période d'entreposage au congélateur de 3 mois à une température maintenue à -18 °C.

L'aspect de la mie de pain du PVL et du PA présentent de bonne résultats par rapport à la coloration blanche et une texture aéré et régulière pendant les 2 mois d'entreposage au congélateur, après le troisième mois elle subit une légère décoloration qui se manifeste par une couleur légèrement crème et une texture assez serré et irrégulière que d'habitude, le PI par contre après un mois de stockage la mie présente une modification au niveau de la texture de aérée et régulière elle devient serré et irrégulière cela est dû au relâchement de la pâte qui a était démontré lors de l'expérience précédente.

Tableau 17: représentation de l'aspect de la mie de différents pains qui ont étaient pétris par 3 modes de pétrissage PVL, PA, PI, pendant une période d'entreposage au congélateur de 3 mois.

		Période d'entreposage au congélateur		
Mode de pétrissage	**Aspect de la mie**	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
PVL	Couleur Texture flaveur	-blanche - Aérée - régulière - Bonne	-blanche - Aérée - régulière - Bonne	- légèrement crème - serrée - irrégulière - Bonne
PA	Couleur Texture flaveur	-blanche - Aérée - Régulière - Bonne	-blanche - Aérée - Régulière - Bonne	- légèrement crème - serrée - irrégulière - Bonne
PI	Couleur Texture flaveur	-blanche - Aérée - Régulière - Bonne	-blanche - serrée - irrégulière - Bonne	- légèrement crème - serrée - irrégulière - Bonne

PVL : pétrissage à vitesse lente, PA : pétrissage amélioré, PI pétrissage intensifié

4. Effet du mode de décongélation sur la qualité du pain

4.1. Aspect général du pain

Le tableau suivant représente les résultats obtenus de l'effet de différents modes de décongélation sur des pains entreposé au congélateur pendant 3 mois à une température maintenue à -18 °C.

Nos résultats indiquent qu'avec une décongélation au réfrigérateur à 4 °C et une décongélation au micro-onde nos échantillons de pains cuit ont montrés de meilleurs résultat ; la section du pâton est resté ronde avec une coloration rouge et la croute molle et légèrement croustillante pendant toute la durés d'entreposage au congélateur à -18 °C, contrairement à la décongélation à température ambiante 25 °C et la cuisson directe qui ont montrés des pains plats, une coloration pale après le deuxième mois de stockage.

Tableau 18 : caractérisation et suivi du pain issus d'une pâte congelée durant les 3 mois de stockage au congélateur.

		Durée d'entreposage au congélateur		
Mode de décongélation	**Caractéristiques du pain**	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
A 4 °C	Section Couleur Finesse de la croute	-ronde -rouge -normale, molle	-ronde -rouge -normale, croustillante	-normale -normale -normale, croustillante
A 20°C	Section Couleur Finesse de la croute	-ronde -rouge -épaisse, croustillante	-normale -normale -épaisse, dure	-plate - pale, terne -épaisse, dure
Au micro-onde	Section Couleur Finesse de la croute	-rond -rouge -fine, molle	-rond -rouge -fine, molle	-normale -normale -normale, croustillante
Cuisson directe	Section Couleur Finesse de la croute	-normale -rouge -fine, molle	-normale -rouge -fine, croustillante	-plate -normale -fine, croustillante

4.2. Rapport Hauteur/Largeur

D'après la figure (20) la mesure des rapports H/L les plus élevés ont été montrés que dans le mode de décongélation au réfrigérateur 4 °C et au micro-onde ces résultats sont satisfaisant, par rapport aux autre modes de décongélation le rapport varie entre (0.569 et 0.543) pour la décongélation à température ambiante et entre (0.531 et 0.521) pour la cuisson directe. Selon Falek (2013), la grande différence dans les rapports de forme des pains obtenu à partir des pâtes fraiches et de ceux congelés peut-être due à la température trop élevée de décongélation créant un gradient de température important en plus de la perte d'étanchéité de la partie extérieure de la pâte,

Donc la cause directe est la température de décongélation trop élevée qui affecte la hauteur des pâtons congelés, mais une décongélation avec une température qui monte graduellement garde la forme initiale du pâton.

Tableau 19 : Evolution du rapport hauteur/largeur des pains issus d'une pate congelée durant les 3 mois de stockage au congélateur.

	Période d'entreposage au congélateur		
Mode de décongélation	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
A 4 °C	0.658 ± 0.12	0.640 ± 0.27	0.639 ± 0.02
A 20°C	0.569 ± 0.60	0.562 ± 0.17	0.543 ± 0.12
Au micro-onde	0.706 ± 0.04	0.682 ± 0.07	0.642 ± 0.09
Cuisson directe	0.531 ± 0.02	0.526 ± 0.19	0.521 ± 0.31

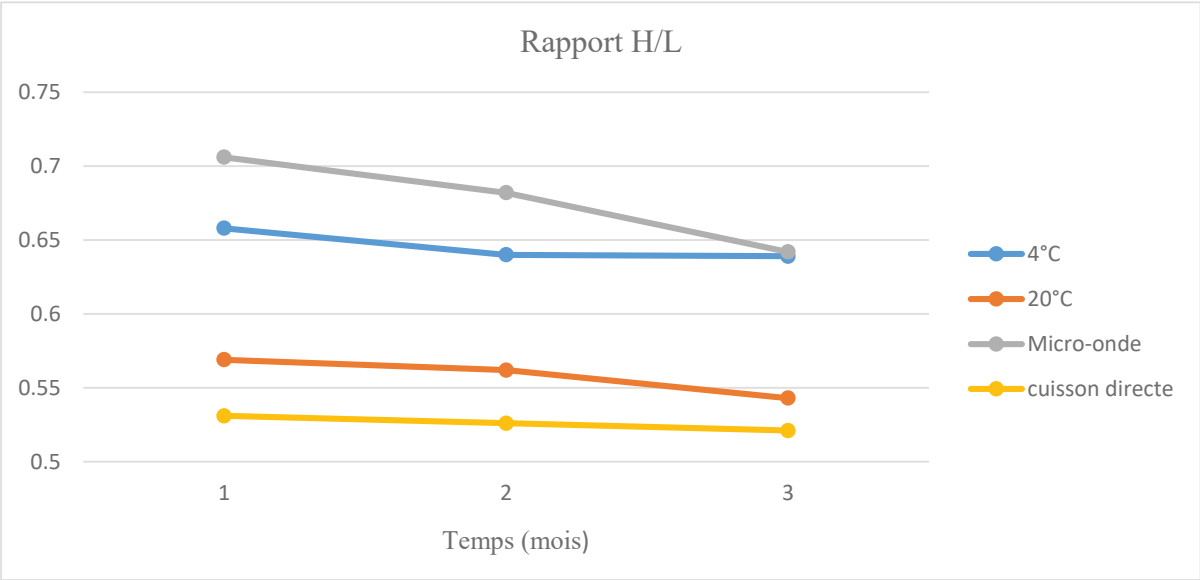

Figure 20 : Evolution du rapport H/L des pâtes décongelée au différents mode durant la période de l'entreposage à une température de -18°C

4.3. Aspect de la mie de pain

L'importance de l'aspect de la mie du pain, est le résultat d'une bonne panification est dans notre cas ; la congélation, est la bonne maitrise des conditions d'entreposage au congélateur, ainsi qu'une décongélation qui n'affecte pas la rétention du CO_2 par le réseau glutineux, le tableau (20) démontre l'aspect de la mie des pains issus d'une pâte congelée et testé par différents mode de décongélation.

D'après nos résultats les deux modes de décongélation ; au réfrigérateur à 4 °C et par micro-onde, donnent de meilleurs résultats vu que les caractéristiques des mies de pain n'ont pas changé durant toute la période d'entreposage au réfrigérateur contrairement aux deux autres modes, la texture des mies a perdu son alvéolation, elle devient serrée et irrégulière la pâte a donc relâchée à cause de la température élevée lors de la décongélation, et cela est de même durant les 3 mois de stockage au congélateur.

Tableau 20 : Aspect de la mie de pain testé par 4 modes de décongélation

		Période d'entreposage au congélateur		
Mode de décongélation	**Aspect de la mie**	**1 mois**	**2 mois**	**3 mois**
A 4 °C	Couleur Texture flaveur	-blanche - Aérée - irrégulière - Bonne	-blanche - Aérée - irrégulière - Bonne	- légèrement crème - Aérée - irrégulière - Bonne
A 20°C	Couleur Texture flaveur	- légèrement crème - Aérée - Régulière - Bonne	- légèrement crème - Aérée - Régulière - Bonne	- légèrement crème - serrée - irrégulière - Bonne
micro-onde	Couleur Texture flaveur	-blanche - Aérée - Régulière - Bonne	-blanche - Aérée - Régulière - Bonne	- blanche - Aérée - Régulière - Bonne
Cuisson directe	Couleur Texture flaveur	-blanche - serrée - irrégulière - Bonne	- blanche - serrée - irrégulière - Bonne	-blanche - serrée - irrégulière - Bonne

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est l'étude du comportement de la pâte à pain levée et congelée pendant trois mois d'entreposage au congélateur à une température maintenue à -18°C.

Afin de bien cerner les paramètres limitant la qualité du pain issu de ces pâtes à pain levée et congelée, trois paramètres ont été suivi.

Le premier paramètre fait partie de la composition de la pâte à pain. Il s'agit du taux d'hydratation. Le deuxième paramètre porte sur le mode de pétrissage aux différentes vitesses. Le dernier paramètre concerne le mode de décongélation de la pâte à pain levée et congelée. Il s'agit:

- Des pâtes à pain levée et congelées aux différents taux d'hydratation (65%, 62% et 58 %).
- Des pâtes à pain levée et congelées aux différents modes de pétrissages (PVL, PA, PI)
- pâte à pain levée et congelées aux différents modes de décongélation (décongélation à 4°C, à 20°C, au mico-onde, cuisson directe)

Les principaux résultats portent sur :

- ✓ En premier lieu, la caractérisation physico-chimique ainsi que la composition biochimique de la farine comme composant principal de la pâte à pain.

- ✓ En deuxième lieu, une série de conclusions sont écoulés des trois paramètres étudiés :

  - La congélation de la pâte à pain levée nécessite un control et un suivi stricte des paramètres de panification ainsi qu'une bonne maîtrise des conditions de congélation et de stockage;

  - Le taux d'hydratation d'une pâte à pain congelée à de larges conséquences sur la qualité du produit finis notamment:

    - le relâchement de la pâte lors de la décongélation,
    - la variation de couleur de la pâte
    - et le déséquilibre du pH.

    Les résultats indiquent que le procédé de congélation des pates exige la réalisation des pâtes plus fermes c'est-à-dire un taux d'hydratation entre 55% et 58%.

- La perte de poids présente une forte dégradation de qualité dans les produits de boulangerie pendant le stockage au frais. Elle dépend surtout:
  - de la température de stockage
  - des fluctuations de la température durant l'entreposage.
  - Les matériaux d'emballage jouent également un rôle important.

- La durée de fermentation peut affecté la qualité physique du pain qui se manifeste par une décoloration de la croute et son durcissement après cuisson. De cette étude on déduit qu'une pâte à pain destinée à la congélation doit subir un temps de travail assez court qui ne dépasse pas les 12 minutes entre le frasage et malaxage.

- Le mode de décongélation influe particulièrement sur :
  - le volume du pain,
  - le rapport hauteur/ largeur
  - et le durcissement du pain après cuisson.

  Les résultats indiquent qu'avec une décongélation au réfrigérateur et une décongélation au micro-onde nos échantillons de pains cuit ont montrés de meilleurs résultat.

Au final, nous estimons que la panification à partir d'une pâte fermentée et congelée est faisable et nécessite de prolonger ce travail avec:

- Etude des taux de survie des levures durant l'entreposage au congélateur;
- Une prolongation de la durée du stockage plus de 3 mois;
- Etudier l'effet de l'emballage sur la pâte levée et congelée;
- Etude de la pâte à pain congelée avec l'ajout des matières grasses

Nous recommandons ainsi l'industrialisation de la fabrication de la pâte fermentée et congelée qui sera destinée à des terminaux de cuisson des grandes surfaces, des boulangeries ou même des établissements qui nécessitent une étude économique.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- ABOUBAKAR. Optimisation des paramètres de production et de conservation de la farine de Taro (Colocasia esculenta). Thèse de Doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, université de Ngaoundere, 2009,. (212p).

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990) Official methods of analysis. Washington, Association of Official Analytical Chemists.

- ATWELL, William A., FINNIE Sean. Wheat flour. Practical book of food industry. **[en ligne]**. Second Edition 2016 : Minnesota, USA. AACC international, 2001, 164p. Disponible sur : https://books.google.dz/ (consulté le 06/12/2016).

- AUTIO K[1]., SINDA E[2]. Frozen dough in Rheological changes and yeast viability. American association of Cereal Chemists **[en ligne]**. 1992, vol. 69, nº 4, p.409-413. Disponible sur: http://www.aaccnet.org/publications/cc/ backissues/ 1992/ Documents/ 69_409.pdf (consulté le 29/06/2016).

- BENEY, Laurent. MARTINEZ DE MARANON, Inigo. MARECHAL, Pierre-Andre. GERVAIS, Patrick. Influence of thermal and osmotic stresses on the viability of the yeast *saccharomyces cerevisiae*. International Journal of Food Microbiology, 2000, n°55, p. 275-279.

- BENKADRI, Soulef. Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants cœliaques : fabrication de farines-biscuits sans gluten. Magister en sciences alimentaires. Université MENTOURI Constantine : Institut de la Nutrition de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaire, 2010,. (88p).

- BEUCHAT L. R. Traditional fermented food products. Food and Beverage Mycology, 1987,. 306p.

- BHATTACHARYA, M., LANGSTAFF, T. M., BERZONSKY, W. A. Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen dough. Food Research International, 2003, vol. 36, n°4, p. 365-372.

- BLOKSMA**,** A. H. Dough structure, dough rheology and baking quality. Cereal Foods World, 1990,. 244 p.

- BROCHOIRE, Gérard, Le pain et le sel ; un enjeu de santé publique. 2003. Vol. 1, n° 1, 1-13p.

- BUCHE, François. Influence de la formulation de pates de farine de blé sur leur consommation d'oxygène et leur production de dioxyde de carbone au cours du pétrissage et de la fermentation: Conséquences biochimiques et rhéologiques. Thèse de Doctorat en science des aliments. L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement : Agro-Paris-Tech, 2011,. (403p).
- BUSHUK, W., INOUE, Y., Sapirstein H. D., TAKAYANAGI S. (1994). Studies on Frozen Dough. III. Some Factors Involved in Dough Weakening During Frozen Storage

and Thaw-Freeze Cycles. Bread Baking, Cereal Chemestry, 1994, vol. 71, n° 02, p.118-121.

- CALVEL, Raymond**.** Le gout du pain : comment le préserver, comment le retrouver. Éditions Villette (Jérôme), 1990, 125 p.

- CHARGELEGUE, A., GUINET, R., NEYRENEUF, O., ONNO, B., POITRENAUD, B. La fermentation : La panification française, 1994. Vol. 528. Guinet, R. and Godon, B. eds., Lavoisier-Apria, Tec et Doc, Paris, 283-325 p.

- CHAUNIER, L., CHIRON, H., DELLA VALLE, G., REGUERRE, A-L., DESSEV, T. Mesure des propriétés élongationnelles de pâtes à pain et évaluation de la texture des mies par analyse d'images. Chaunier et al., Rhéologie, 2005; vol.8, p. 13-19.

- CHEFTEL J.C., CHEPTEL H. Traitement de préservation : introduction à la biochimie et à la Technologie des aliments. Volume 2. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 419p.

- CHUA, K. J., CHOU, S. K. On the study of the freeze-thaw thermal process of a biological system. Applied Thermal Engineering, 2009. Vol. 29, n° (17-18), 3696-3709p.

- COLAS A. Petel D. Analyse physique des farines : guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Tec et Doc. Lavoisier, 1984. Paris : 153-16 p.

- COLAS, A. Définition de la qualité des farines pour différentes utilisations : Les industries de première transformation des céréales. Tec et Doc, Lavoisier, 1998. 679 p.

- DANDOY S. Le rayon boulangerie en libre-service du supermarché Match. Rapport d'étude, DESS QUALIMAPA, Lille, 1996. 29p.

- DELFRATE R. Mieux connaitre la farine. Spécial Analyses. Supplément technique, Laboratoire d'Essais des Matériels et Produits Alimentaires, Rouen, France, 2005. 85 p.

- DUMONT, F., MARECHAL, P., GERVAIS, P. Influence of cooling rate on *Saccharomyces cerevisiae* destruction during freezing: unexpected viability at ultrarapid cooling rates. Cryobiology, 2003. Vol.46, n° 1, p. 33-42.

- ECKARDT, J., OHGREN, C., ALP, A., EKMAN, S., ASTROM, A., CHEN, G. Long terme frozen storage of wheat bread and dough - effect of time, temperature and fiber on sensory quality, microstructure and state of water. Journal of Cereal Science, 2013. 57, p. 125-133.

- EL-HADY, E. A., EL-SAMAHY, S. K., SEIBEL, W., BRÜMMER, J. M. Changes in gas production and retention in non-prefermented frozen wheat dough. Cereal Chemistry, 1996, vol. 73, n° 4, p. 472-477.

- FALEK, Wahiba**.** Fabrication de pain à partir de pâte pré-fermentée et congelée. Thèse de Magister en sciences alimentaires. Université Constantine 1, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires, 2013,. (135 p).
- FAO (1996) Codex Alimentaire : Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. FAO. Vol 7. 2ème édition. Rome. 164 p.

- FEDALA, N., MEKIMENE, L., MOKHTARI, M., HADDAM, A., FEDALA, S. Consommation du pain en Algérie : état des lieux. Annales d'Endocrinologie, Vol. 76, n° 4, p. 665.

- FETOUHI, A. Panification à base de blé tendre ou de riz fèverole (sans gluten) : essai de prédiction de la qualité technologique par dissociation chimique des interactions impliquées. Mémoire de Magister en sciences alimentaires. Université Constantine 1, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires, 2014,. (102p).

- FREDOT, E. La conservation des aliments : Connaissance des aliments, Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, 3ème édition, Lavoisier, 2005. 397 p.

- FREDOT, Emilie. Connaissance des aliments, Base alimentaires et notionnelle de la diététique. 2éme Edition, Lavoisier, 2012, ISBN : 978-7430-1156-7.

- GELINAS, P., DEAUDELIN, I, GRENIER, M. Frozen dough : effects of dough shape, water content, and sheeting-molding conditions. Association of Cereal Chemists, 1995,. vol. 40, nº3, p . 124-126.

- GIANNOU, V., KESSOGLOU, V., TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. Trends in Food Science and Technology, 2003. Vol. 14, n°99, 108p.

- GIANNOU, V., TZIA, C. Frozen dough bread : quality and textural behavior during prolonged storage, prediction of final product characteristics. Journal of Food Engineering, 2007,. 934p.

- GILBERT, A., GILDAS, G. Etude d'adoption des farines locales en panification et en pâtisserie au bénin. Université de Benin, Faculté des sciences économique et de gestion, 2009,. p 54.

- GODON, B. Les constituants des céréales, nature, propriétés et teneurs : Biotransformation des industries céréaliers. Tec. & Doc. Lavoisier, 1991. Paris : 22p.

- GODON, B., WILLIM, C. Les industries de première transformation des céréales : Technique et documentation, Lavoisier, 1990. Paris.

- GOESAERT, H., BRIJS, K., VERAVERBEKE, W.S. Trends in Food Science and Technology, Laboratory of Food Chemistry, 1990. Katholieke Universite,. 16, 12-30p.
- GUINET R. ET GODON B. (1994). La panification française, Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.

- GUINET, R.Technologie du pain français, Editions BPI, 1992. Paris.

- J.O.R.A. (Journal Officiel de la République Algérienne). Décret exécutif N° 91/572 du 31 décembre relatif à la farine de panification au pain, 1991.

- JEANTET, R., CROGUENNEC, T., SCHUCK, P. & BRULE, G. Traitement de stabilisation des aliments, Science des aliments. Lavoisier Tec & Doc, 2006 ; 383 p.

- KENNY S., WEHRLE K., AUTY M. & ARENDT E. K. Influence of sodium caseinate and whey protein on baking properties and rheology of frozen dough. Cereal Chemistry, 2001; vol. 78, n° 4, p. 458–463.

- KIGER J. L. KIGER J. G. (1967). Technique modernes de la pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Tome1. DUNOD, paris, France, 1967 ; 676 p.

- LANGRAF, Frédéric. (2002). Produits et procédés de panification. Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, Rouen, 2002. 7 p.

- LASSOUED, Nejla. Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. Thèse de doctorat en Science alimentaire. France, 2009; 163 p.

- LEVAVASSEUR, Loïc. Suivi simultanée de la consommation d'oxygène et de la consistance des pâtes de farine de blé à l'aide d'un pétrin instrumenté (le sitoxygraphe) : tentative d'explication biochimique et rhéologique. Application de l'ajout de laccase. Life science. AgroParistech, 2009, 414 p.

- LORENZ K. & KULP K. Freezing of Dough for the Production of Breads and Rolls in the United States. In: Frozen & Refrigerated Dough and Batters.. Minnesota: AACC international, 1995; 155p.

- MALETE et *al.*, Evaluation de la qualité hygiénique de tchaamessibu, une pâte acide consommée anatitingou au nord benin. 2013; 234p.

- MARSTON, P.E. Frozen dough for bread making. The baker's Digest, 1978; vol.52 (2), 18 p.

- MARTIN, M., ZELEZNAK, K., HOSENEY, R. A mechanism of bread firming. Role of starchswelling. CerealChemitry, 1991; 503 p.

- MEGHFOUR S., Les dates de péremptions des produits alimentaires. Mémoire de master en sciences des aliments. Université Abou Bekr Belkaïd Telemcen, 2014, (126p).

- MEKHLOUF, H. Propriétés physico-chimiques et rhéologiques de la farine et de l'amidon de taro (*Colocasiaesculenta L. Schott*) variété Sosso du Tchad en fonction de la maturité et du mode de séchage. These de doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires / Sciences Alimentaires et Nutrition. Université de Lorraine et l'Université de Ngaoundéré, 2012 ; (232. p).

- MEZIANI, Smail. Influence du procédé de congélation sur les levures et les propriétés techno-fonctionnelles des pâtes sucrées (type Kougelhopf). Thèse de doctorat en procédés Biotechnologiques et Alimentaire. Université de Lorraine, Nancy, 2011,. (96 p).

- MURAT, Murielle. Nutrition humaine et sécurité alimentaire, Lavoisier, 2009,. ISBN : 987-2-7430-1072-0.

- NDANGUI, Chancelle Betty. Production et caractérisation de farine de patate douce *(Ipomoeabatatas.Lam)* : optimisation de la technologie de panification, Thèse de doctorat en procédés de biotechnologies et alimentaires. Université de Lorraine et l'Université Marien Ngouabi, 2015,. (134 p).

- NGUIMBOU, R.M., NJINTANG, N.Y., HIMEDA, M., GAIANI, C., SCHER, J. &MBOFUNG, C.M.F. Effect of cross-section differences and drying temperature on the physicochemical, functional and antioxidant properties of giant taro flour. Food and Bioprocess Technology, 2013,. vol. 6, n° 7, p. 1809-1819.

- NOUT, MJR. Effect of Rhizopus and Neurospora spp. On growth of Aspergillus flavusand A. parasiticusand accumulation of aflatoxin B1 in groundnut. Mycological Research, 1989; vol.93, n° 4, p. 518-523.

- OHGREN C, FABREGAT N., LANGT M. Quality of bread baked from frozen dough effects of rye, and sugar content, kneading time and proofing profile, Food Science and Technology, 2015; vol. 68, p. 626-633.

- OSBORNE, T.B., GIBSON, L.J. AND ASHBY, M.F. The proteins of wheat kernel. Grande- Bretagne, 1907.

- OUDOT C. TECHNIQUE DE STABILISATION : La transformation des aliments, Option Génie Alimentaire, Editions ballery Techniplus, Lavoisier, France, 1990; 80 p.

- PANYOO AKDOWA, Emmanuel. Optimisation de l'utilisation du taro (Colocasia esculenta) variété lamba en panification par l'usage de la gomme Grewia mollis. Juss (Famille Tiliaceae). These de doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires/ Sciences Alimentaires et Nutrition. Université de Ngaoundéré, 2014. (168 p).

- PAREYT B. FINNIE S.M, PUTSEYS J A., DELCOUR J. A. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. Journal of Cereal Science, 2011; vol. 54, n°3, p. 266-279.

- PHIMOLSIRIPOL, Y., SIRIPATRAWAN, U., CLELAND, D.J. Weight loss of frozen bread dough under isothermal and fluctuating temperature storage conditions. Journal of Food Engineering, 2011 vol. 106, n° 02, p. 143.

- POTUS J. & DRAPRON R. De la qualité dans la filière blé, farine, pain. II: Les composantes bio-physico-chimiques de la qualité: la filière blé, farine, industrie des céréales, 1990 ; n°65, p. 9-13.

- POTUS, J., DRAPRON, R. ET RAKOTOZAFY, L. Rôle de l'eau sur les interactions moléculaires conduisant à la formation des pâtes de farine de blé. Industries des Céréales, 1992; n° 79, p. 13- 21.

- RÄSÄNEN J., HÄRKÖNEN H. & AUTIO K. Freeze-Thaw Stability of Prefermented Frozen Lean Wheat Dough: The Effect of Flour Quality and Fermentation Time. Cereal Chemistry 1995,. vol. 72, n° 6, p. 642.

- REID, David. S. Overview of physical/chemical aspects of freezing. Quality in frozen food. 1997, p. 10-28.

- RÉMÉSY, C., LEENHARDT, F., FARDE,T A. Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d'une alimentation durable et préventive. Cahier de nutrition et de diététique [en ligne]. 2014,. disponible sur : http://dx.doi.org/10.1016/j.cnd. Consulter le : 05. 07 2015.

- RIBOTTAA, P. D., ALBERTO, E. L., ANONB, M. C. Effect of freezing and Frozen storage on the gelatinization and Retrogradation of Amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter, Food Research International, 2003. vol. 36, 357-363 p.

- ROUSSEL, P., CHIRON, H. Les pains français : Evolution, qualité, production. 1ed., MAE-ERTI, 2002,. vol.1, 433 p.

- ROUSSEL, P., CHIRON, H. Les pains français, évolution, qualité, production. Mémoire de Master 2 en Sciences et techniques du vivant et de l'environnement. Institut des Sciences et des Industries du Vivant et de l'Environnement, 2014,. (74 p).

- ROUSSEL, Philippe., CHIRON, Hubert., N'DIAYE, Amadou., DELLA VALLE, Guy. Vers une harmonisation du langage sensoriel dans la filière blé-farine-pain. Industrie des céreales, 2010. n°150, p. 16-21.

- SABLANI, S. MARCOTTE, M., BAIK, O.D., CASTAIGNE, F. Modeling of simultaneous heat and water transport in the baking process. Lebensm.-Wiss. u.-Technology, 1997. vol. 31, 201-209 p.

- SALEM, S. Etude de l'effet de l'irradiation de la farine de blé sur ses propriétés microbiologiques et sur la rhéologie des pâtes obtenues. Mémoire en Bio-industrie. Université du 7 novembre à Carthage, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, 2008,. (76 p).

- SCHER J., DA COSTA J.M.C., HARDY. J. Influence de la granulométrie sur les propriétés d'écoulement de la farine de blé. Deuxième colloque solides divisés, *Lyon*, 1998. 291-298p.
- SHEHZAD, Aamir. Rôle du pétrissage de farine de blé sur les propriétés rhéologiques de la pâte et la texture du pain. Thèse de doctorat en agroalimentaire. Université de Nantes sciences et techniques, 2010,. (204p).

- SHEWRY, P.R. TATHAM, A.S., FORD, J., KREIS, M. AND MIFLIN, B.J. The classification and Nomenclature of wheat gluten proteins : Areassessment. Journal of Cereal Science, 1985. vol.4, p. 97- 106.
- SROAN, B., BEAN, S., MACRITCHIE, F. Mecanisme of gas cell stabilization in bread making I, II. The primary gluten starch matrix. Journal of Cereal Science, 2009. vol. 49, 32-40 p.

- TAUPIER-LETAGE, Bruno. La qualité des Blés panifiables en agriculture biologique : Aliment Qualité Sécurité, INRA, Alter Agri, 2005. n° 71, 14p.

- TOLSTOGUZOV, V. Thermodynamic aspects of dough formation and functionality. Food Hydrocolloids, 1997. Vol. 11, n° 2, 181-193p.

- TREMEAC, Brice. Etude expérimentale et numérique des phénomènes thermomécaniques lors de la congélation des produits alimentaires, application a des structures multicouches. Thèse de doctorat en génie des procédés, Ecole polytechnique de l'université de Nantes, 2005,. p 149.

- TURBIN-ORGER, Arnaud. Mécanismes d'alvéolation de pâtes à pain en cours de fermentation. Thèse de doctorat en biotechnologies agroalimentaires. Université de Nantes faculté des sciences et des techniques, 2012,. (228p).

- VAN VLIET, T., JANSSEN, A.M., BLOKSMA, A.H. WALSTRA, P. Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. Journal of Texture Studies, 1992. Vol.23, p. 439 -460.

- YADAV, D. N., PATKI, P. E., SHARMA, G. K., BAWA, A. Role of ingredients and processing variables on the quality retention in frozen bread dough. Journal of Food Science and Technology, 2009. Vol. 46, n°1, 12-20p.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est l'étude du comportement de la pâte levée sous des conditions de congélation et de panification. Après la caractérisation physico-chimique de la farine, trois études complémentaires ont été réalisées. La première concerne l'étude de l'effet d'hydratation sur la pâte à pain levée et congelée pendant une période de 12 semaines d'entreposage au congélateur à une température de -18°C, les taux d'hydratation testés sont 65%, 62% et enfin 58%. La deuxième était consacrée à l'étude de l'effet du mode de pétrissage sur la pâte à pain levée et congelée pendant une durée de 3 mois d'entreposage au congélateur à une température de -18 °C, les modes de pétrissages employés sont le PVL (pétrissage a vitesse lente) le PA (pétrissage amélioré) et le PI (pétrissage intensifié). La troisième étude concerne l'effet du mode de décongélation sur les pâtes levée et congelée, les 4 modes utilisés sont ; (au réfrigérateur 4 °C, à une température ambiante 20 °C, au micro-onde, et une cuisson directe à 250 °C).

Les résultats indiquent qu'une pâte à pain destinée à la congélation exige : la réalisation de pâtes plus fermes, la pâte doit subir un temps de travail assez court. Le mode de décongélation au réfrigérateur et au micro-onde présentent les meilleures aspects.

Au final nous estimons qu'une panification à partir d'une pâte levée et congelée est faisable et ne nécessite qu'une bonne maitrise des conditions de panification, de congélation et de stockage.

Mots clé : Pâte à pain, ongélation, pain

Abstract

The purpose of this memory is the study of the rising-dough's behavior under conditions of freezing and bread-making. After the physicochemical characterization of the flour, three complementary studies were realized. The first one concerns the study of the effect of hydration on the rising bread-dough and frozen during a period of 12 weeks of storing in the freezer with a temperature at -18°C, the tested rates of hydration are 65%, 62% and finally 58%. In the second study tests, have been tested on the effect of kneading modes on the rising bread-dough and frozen for a period of 3 months of storage in the freezer with a temperature at-18 °C, the kneading modes employed are (the low speed kneading), (the improved kneading) and (the intensified kneading), The third study is about the defrosting effect mode on the rising dough and frozen, the 4 modes used are (In the refrigerator at 4 °C., an ambient temperature of 20 °C, in a microwave and direct cooking at 250 °C).

The results indicate that a bread-dough intended for the freezing requires the realization of firmer Pastes. The dough must undergo a fairly short working time. That with refrigerated thawing and microwave defrosting, showed the best results.

In the end, we believe that a bread-making from a rising dough and frozen is feasible and only requires a good mastery of bread-making conditions, freezing and storage.

Keys words: Bread dough, freezing, bread

ملخص

الهدف من هذه الرسالة هي دراسة سلوك العجينة المخمرة تحت شروط التجميد التصنيع, بعد الوصف الفيزيائي والكيميائي للفرينة. ولهذا الغرض اجريت ثلاث دراسات تكميلية خلال ثلاث أشهر.الدراسة الأولى تتمثل في تأثير الترطيب على عجينة الخبز المجمدة لمدة 12 أسبوع في المجمد تحت درجة حرارة -18° C، معدل تأشير الترتيب المجرب هو 65% 62% و58 .في الدراسة الثانية العينات درست تحت تأثير طريقة العجن في مدة 3 أشهر في المجمد تحت درجة حرارة -C18° ، حيث أنا طرق العجن التي استعملت هي PVL(عجن تحت سرعة بطيئة)، PA (عجن معتدل)، PI (عجن مكثف) .الدراسة الثالثة تتمثل في مراقبة تأثير طريقة الاذابة على العينات، والطرق المستعملة هي (في الثلاجة 4 درجة مئوية، على درجة حرارة معتدلة 20 درجة مئوية، ميكروويف، وطهي مباشر 250 درجة مئوية.

النتائج توضح أن عملية تجميد العجينة المخمرة تتطلب صنع عجينة أكثر جفافاً.). التقييم تم بعد الاذابة العينة التي استعملت في طريقة PVL شهدت أحسن النتائج الخبز المطهي يظهر أفضل نتائج عند الاذابة في ثلاجة والميكروويف

نستنتج أنه من الممكن حفظ عجينة مخمرة ومجمدة وذلك بإتباع الشروط اللازمة والصحيحة من أجل تجميد وتخزين ناجح.

كلمات المفتاح: عجينة الخبز، تجميد، الخبز