

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة احمد بوقرة _ بومرداس

Université M'Hamed Bougara de Boumerdes



Faculté des Sciences

Département de Biologie

Mémoire de fin de cycle

Présenté pour l'obtention du

Diplôme de Master

Filière : Sciences alimentaires

Spécialité : Nutrition et Sciences des Aliments

Thème

Pain sans gluten: formulation et qualité

Réalisé par :

Hamamdji lamia

Devant les membres du jury :

LAOUFI R.	MCA	UMBB	Présidente
YAHIAOUI K.	Professeur	UMBB	Examinatrice
LEFKIR S.	MCA	UMBB	Promotrice

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Sincères remerciements, A

Madame LEFKIR S pour son soutien moral et ses généreux conseils qui m'ont beaucoup aidé durant ma maîtrise

Aux membres du Jury qui ont pris sur leur temps et ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail :

Madame LAOUFI R. qui a eu l'amabilité de participer à ce Jury

Madame YAHIAOUI K. qui a bien voulu examiner mon travail

Enfin, je remercie du fond de mon cœur, ma petite et ma grande famille qui m'a soutenue, encouragée et motivée tout au long de mes études.

ET toute la famille scientifique de l'Université

Dédicace

Je dédie mon humble travail à ma chère mère et à mon cher père

Et à mes chers frères et chère famille.

Et à mon cher mari, qui m'a apporté un soutien moral, et à ma chère fille, Héba Al-Rahman

Prendre ce travail comme exemple pour elle dans la voie de la science et de la réussite.

Et à tous mes honorables professeurs qui m'ont rendu compétent et poli

Hammamdji lamia

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des Abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

INTRODUCTION.....1

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I- La maladie cœliaque...	2
I.1 définition de maladie cœliaque...	2
II. La prévalence de la maladie cœliaque	3
III. classification des f.ormes de la MC...	3
IV Diagnostic de la maladie cœliaque	4
IV.1. Manifestations de la maladie cœliaque	4
IV.1.1. Signes Cliniques.....	4
IV.1.2 Tests diagnostiques.....	5
IV.1.2.1. Endoscopie chez les patients ave c suspicion de maladie cœliaque.....	5
IV.1.2.2 Biopsie intestinale et histologie Les anomalies.....	5
v. Traitements de la maladie cœliaque...	7
v.1. Le régime sans gluten.....	7
v.1.1. Modalités.....	7
v.1.2. Risque du régime sans gluten... ..	8
VIII. Les produits sans gluten.....	9
IX. Le pain sans gluten.....	12

ETUDE EXPERIMENTALE

II. Matériel et méthodes.....	13
II.1. Etude de la formulation sans gluten.....	13
II.2. APPRECIATION DE LA QUALITE DES PAINS OBTENUS	14

II.2.1. Mesure des volumes spécifiques des pains de l'étude 1 GHERAIRIA (2011).....	14
II.2.2. Mesure des volumes spécifiques des pains de l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014)....	14
II.2.3. Mesure du volume massique des pains de l'étude 3 KAMELA (2016).....	14
III. Résultats et discussion	16
III.1. Formulation du pain sans gluten... ..	16
III.2. Volumes spécifiques des pains.....	17
Conclusion	26
Références bibliographiques	28

Liste des Abréviations

RSG : Régime Sans Gluten

MC : maladie cœliaque

tTG : anti-transglutaminase tissulaire

EMA : anti-endomysium

HLA : antigènes des leucocytes humains

HLA-DQ2 /DQ8 : antigènes des leucocytes humains d'histocompatibilité de classe

VIH : virus du SIDA

FRF : formule à base de riz et de fêverole

Vsp : volume spécifique des pains

FF : Farine de fêverole

FRF : fêverole/riz/fêverole

CO₂ : dioxyde de carbone

PC : protéine canola

G : matière grasse

GX : gomme de Xanthane

H : huile de canola

B: bicarbonate

PSG: pain sans gluten

AntitTG/ anti-DGP : d'anticorps à haut titre

AFDIAG : Association Française Des Intolérants Au Gluten

Liste des figures

Figure 1: Maladie cœliaque	2
Figure 2 : Modèle de l'iceberg de la maladie cœliaque.....	3
Figure 3 : Altérations de la muqueuse intestinale jéjunale selon le système de classification de Marsh47.....	5
Figure 4 : La recherche des anticorps dans la maladie cœliaque	7

Liste des tableaux

Tableau1: Manifestations cliniques de la maladie cœliaque chez l'adulte.....	4
Tableau 2: Les sources de gluten.....	9
Tableau 3 : Aliments autorisés et aliments interdits dans le régime sans gluten.....	10
Tableau 4: Volumes spécifiques des pains de l'étude 1 GHERAIRIA (2011).....	18
Tableau5 : Volumes spécifiques des pains de l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014).....	19
Tableau6 : Volumes spécifiques des pains de l'étude 3 KAMELA (2016).....	20
Tableau7: Volumes spécifiques des pains Pain de riz+6%PC améliorés par l'addition de la matière grasse et du xanthane de l'étude 3 KAMELA (2016).....	21
Tableau8: Volumes spécifiques des pains Pain de riz+6%PC améliorés par l'addition du bicarbonate de sodium et d'huile de canola de l'étude 3 KAMELA (2016).....	22

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier différentes formulations du pain sans gluten mise en œuvre par différents chercheurs : GHERAIRIA (2011) ; BOULEMKAHEL (2014) et KAMELA (2016). Les trois tentatives de remplacement du blé ordinaire par d'autres céréales ne contenant pas le gluten sont comme suit : l'utilisation de la farine de riz et de féverole et l'ajout de certains exhausteurs nutritionnels comme la gomme xanthane (GHERAIRIA 2011), HPMC-Xanthane (BOULEMKAHEL, 2014) ; et inclusion de protéines de canola, de la matière grasse liquide ou solide et le bicarbonate (KAMELA, 2016). Il ressort des résultats que l'utilisation de la farine de riz donne un pain de mauvaise qualité dont le volume spécifique est très faible par rapport à celui du pain de la farine de blé. Par contre, l'addition de la farine de féverole ou les protéines de canola ainsi que la gomme de Xanthane seule ou combinée à l'HPMC, la matière grasse liquide ou solide et le bicarbonate améliore le volume spécifique du pain sans gluten à base de farine de riz.

Introduction

Introduction

La maladie cœliaque ou l'intolérance au gluten est une maladie inflammatoire, chronique et auto-immune due à la fois à des facteurs génétiques, et environnementaux (ISABEY et DEVAUX, 2012). Elle provoque la production d'anticorps et de cytokines qui vont engendrer par la suite des lésions de la muqueuse intestinale et par conséquent des symptômes de malabsorption, dont l'implication clinique peut être incertaine (FEIGHERY, 1999).

Les études épidémiologiques récentes ont montré que 10‰ de cas dans le monde entier souffre de la maladie cœliaque. Un tel taux établit la maladie cœliaque comme l'une des intolérances alimentaires les plus communes (BRIANI et al., 2008 ; LERNER, 2010).

Le gluten est une protéine qui se retrouve dans un grand nombre de produits et préparations alimentaires (aliments de base comme le pain, les pâtes et autres produits à base de céréales). Il joue un rôle important dans la qualité des produits céréaliers pour ses propriétés rhéologiques et sensorielles.

Actuellement, le seul traitement scientifiquement prouvé de la maladie cœliaque est Diététique et réside en un Régime Sans Gluten (RSG), qui consiste l'exclusion du gluten contenu dans certaines céréales essentiellement le blé, le seigle et l'orge.

Le pain est l'une des matières les plus consommées en Algérie, c'est plutôt la source alimentaire la plus importante adoptée par les Algériens, ce qui a posé aux patients cœliaques de nombreux problèmes pour se procurer une alimentation appropriée, car le pain contient du gluten, qui n'est pas adapté à leurs besoins.

Notre travail consiste à l'étude de 3 formulations de pain sans gluten et de comparer la qualité de leur pain sans gluten obtenus.

La première partie de notre travail est consacrée à la description des données bibliographiques relatives à la maladie cœliaque et le régime sans gluten; la deuxième partie porte sur la comparaison entre les 3 formulations sans gluten choisies ainsi que la qualité de leur pain obtenu; la dernière partie est consacrée à la conclusion générale

Partie
bibliographique

I. Maladie cœliaque

I.1. définition de maladie cœliaque

La maladie cœliaque (MC) est une entéropathie d'origine auto-immune, se développant chez des sujets génétiquement prédisposés, en relation avec l'ingestion de gluten (**Figure 1**). Le terme d'intolérance au gluten est historiquement utilisé (GREEN et CELLIER, 2007). Son origine auto-immune est confirmée par la présence d'auto-anticorps sériques, en particulier anti-transglutaminase tissulaire (tTG) et anti-endomysium (EMA), et par l'association fréquente à d'autres maladies auto-immunes retrouvées chez 20 % des patients (dermatite herpétiforme, thyroïdite, diabète de type 1, cirrhose biliaire primitive, ...) (COSNES et al., 2008).

L'existence d'une prédisposition génétique est bien reconnue à l'heure actuelle. Parmi les facteurs génétiques impliqués dans la susceptibilité à la maladie, se trouvent principalement les gènes codant pour un complexe majeur d'histocompatibilité (système de reconnaissance du soi en immunologie formé par les antigènes des leucocytes humains, dits HLA), plus précisément le complexe majeur d'histocompatibilité de classe II. Plus de 99 % des malades cœliaques expriment un HLA-DQ2 ou -DQ8, si bien que leur absence permet de ne pas retenir le diagnostic. D'autres gènes HLA mais aussi non HLA (plus de 40 à ce jour), plus ou moins identifiés, interviendraient dans le développement de la maladie (CERF-BENSUSSANE et JABRI, 2001; SAPONE et al., 2012)

Diverses altérations du microbiote intestinal (composition et fonctions) ont été constatées dans la MC. Elles pourraient jouer un rôle dans sa pathogénie (et/ou sa prévention et son traitement) grâce aux interactions entre microbiote, génétique individuelle et environnement.

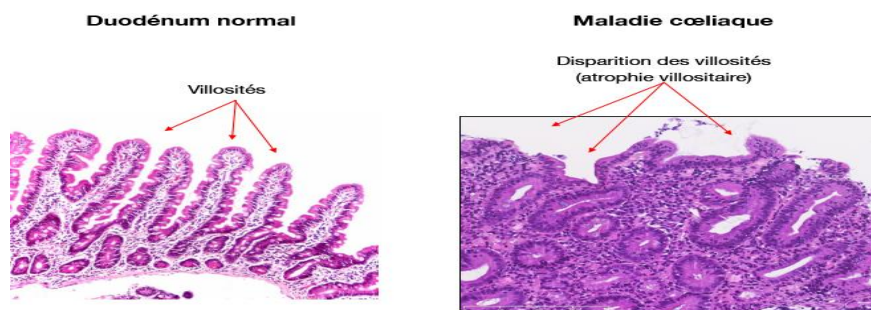


Figure 1. Maladie cœliaque (CELLIER et al., 2000 ; 2006)

II. Prévalence de la maladie cœliaque

La prévalence de la maladie cœliaque est passée de 0,03 % dans les années 1970 à une prévalence actuelle estimée entre 0,56 % et 1,26 % en Europe, aux Etats-Unis ou en Afrique du Nord (plus rare en Afrique noire). Cette augmentation s'explique en partie par une meilleure reconnaissance des formes silencieuses ou atypiques de la maladie, qui sont actuellement les formes les plus fréquentes (GREEN et CELLIER, 2007; DUBE et ROSTOM, 2005). Des modifications environnementales récentes ont été également mises en cause. La MC se révèle soit dans l'enfance, soit de plus en plus souvent à l'âge adulte, même tardivement, avec 20 % des cas avérés diagnostiqués après 60 ans (MALAMUTE et CELLIER, 2012).

III. Classification des formes de la MC

La classification des formes de la MC se fait en fonction de la clinique, des sérologies et de l'histologie (ROSTOM et al., 2006).

- les formes symptomatiques : atrophie villositaire, sérologies positives, signes cliniques.
- les formes silencieuses : atrophie villositaire, sérologies positives, mais avec expression clinique minime ou absente.
- les formes latentes : patients ayant eu un diagnostic antérieur de MC, qui ont répondu au régime sans gluten (RSG) avec normalisation histologique. Il peut aussi s'agir de sujets HLA DQ2/DQ8 avec des sérologies positives, mais sans signe clinique ni atrophie villositaire.

Le modèle de l'iceberg (Figure 2) a souvent été proposé pour décrire la répartition de ces différentes formes dans la population.

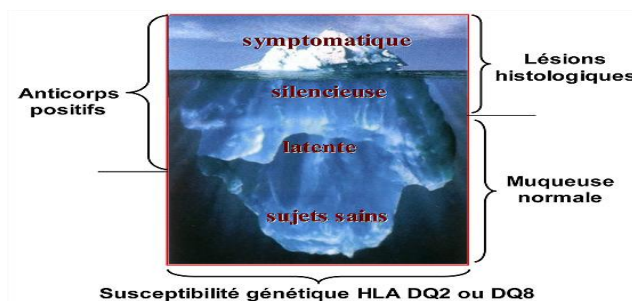


Figure 2 : Modèle de l'iceberg de la maladie cœliaque

IV. Diagnostic de la maladie cœliaque

Chez les adultes et chez les enfants, le diagnostic de maladie cœliaque repose sur la présence des auto anticorps spécifiques à la maladie, ainsi que sur des biopsies intestinales diagnostiques concomitantes (FASANO et CATASSI, 2001).

Chez les patients symptomatiques avec des signes de malabsorption (maladie cœliaque classique), il a été suggéré que la présence d'auto anticorps à titre élevé ($10 \times$) (anti transglutaminase), confirmée par des auto-anticorps positifs ou la présence d'autres anticorps (EMA ou DGPs) lors d'une deuxième prise de sang, suffirait à poser un diagnostic de maladie cœliaque, sans la nécessité de pratiquer des biopsies intestinales. Ceci devrait entrer en considérations après discussion du pour et du contre avec un spécialiste (GIERSIEPEN et al., 2012).

IV.1. Manifestations de la maladie cœliaque

IV.1.1. Signes Cliniques

Les Manifestations cliniques de la maladie cœliaque chez l'adulte est très variable (Tableau 1) allant de la forme asymptomatique à la malnutrition sévère. Les manifestations les plus communes sont des douleurs abdominales, une diarrhée chronique, un amaigrissement, des pathologies osseuses, une anémie et une asthénie.

Tableau1: Manifestations cliniques de la maladie cœliaque chez l'adulte

Manifestations	Signes cliniques
Digestives	Diarrhée, douleurs abdominales, amaigrissement
Cutanéomuqueuses	Alopécie, aphthose buccale, purpura, hippocratisme digital
Génitales	Aménorrhée primaire ou secondaire Puberté tardive, ménopause précoce Infertilité, fausse couche
Neuromusculaires	Crampes, tétanie, atrophie musculaire Ataxie, atteinte périphérique
Ostéoarticulaires	Épilepsie, calcifications cérébrales Douleurs osseuses, fracture spontanée, arthralgies/arthrites

IV.1.2. Tests diagnostiques

IV.1.2.1. Endoscopie chez les patients avec suspicion de maladie cœliaque

Même si l'endoscopie n'est pas suffisamment sensible ou spécifique en soi pour la détection de la maladie cœliaque (OXENTENKO et al., 2002). Les constatations suivantes à l'endoscopie devraient éveiller des soupçons:

- Aspect festonné des plis duodénaux
- Fissuration sur les plis et aspect en mosaïque de la muqueuse
- Aplatissement des plis
- Diminution du nombre de plis, de leur taille et/ou disparition des plis à l'insufflation maximum
- Aspect granuleux du bulbe duodéal

Des biopsies de la muqueuse intestinale devraient être effectuées en présence à l'endoscopie des caractéristiques citées plus haute. Des biopsies devraient également être effectuées même si les plis ont une apparence normale à l'endoscopie, mais qu'il existe une suspicion clinique de la maladie, car beaucoup de patients avec la maladie cœliaque ont cependant des plis qui paraissent normaux. L'absence de caractéristiques à l'endoscopie a une valeur prédictive basse quant à l'exclusion de la possibilité d'avoir la maladie dans les populations à bas risque (KELLY et al., 2015; OXENTENKO et al., 2002)

IV.1.2.2 Biopsie intestinale et histologie : Les anomalies

Villositaires à la biopsie intestinale conjointement avec un test sérologique positif représentent les critères diagnostiques de référence ("gold standard") pour le diagnostic de la maladie cœliaque. Une classification modifiée selon Marsh (**Figure3**) est maintenant couramment utilisée pour évaluer la sévérité de l'atrophie villositaire dans la pratique clinique (LUDVIGSSON et al., 2014; MARSH et al., 2015)

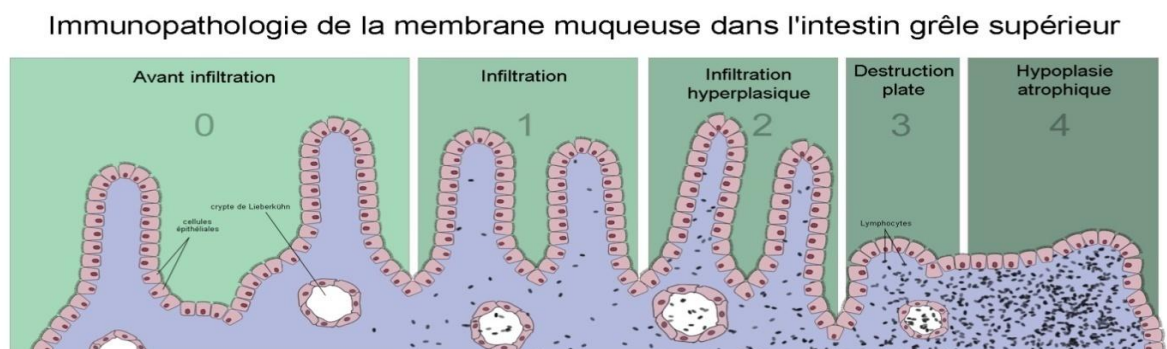


Figure 3 : Altérations de la muqueuse intestinale jéjunale selon le système de classification de Marsh⁴⁷ (AVANT MODIFICATION PAR OBERHUBER et al., 1999)

Partie bibliographique

Les lésions histologiques sont considérées comme caractéristiques mais non pathognomoniques pour la maladie cœliaque, car des lésions similaires se rencontrent dans plusieurs autres affections, y compris la sprue tropicale, l'infection parasitaire, l'immunodéficience variable commune, l'entéropathie due au VIH (virus du SIDA) ainsi que l'entéropathie induite par une allergie alimentaire (par exemple au lait de vache) (OBERHUBER et al., 1999).

La maladie cœliaque affecte de manière prédominante la muqueuse de l'intestin grêle proximal, avec une diminution de la sévérité des lésions en allant vers l'intestin grêle distal; cependant dans les cas sévères les lésions peuvent s'étendre aux régions plus distales (MARSH et GLUTEN, 1992).

Occasionnellement les lésions du duodénum et celles du jéjunum supérieur peuvent être irrégulières et ainsi rester inaperçues en cas de prélèvement d'un nombre insuffisant de biopsies. Il est impératif d'effectuer quatre à six biopsies dans la deuxième partie du duodénum et dans le bulbe duodéal. La pathologie peut se limiter au bulbe duodéal chez les patients avec une maladie cœliaque ultracourte, ce qui souligne l'importance de la prise de biopsies dans cette région. Il faut effectuer les biopsies quand le patient consomme un régime alimentaire avec gluten (au moins 3 g de gluten par jour pendant 2 semaines). Un deuxième prélèvement peut être justifié en présence d'un diagnostic histologique négatif chez certains patients avec des autoanticorps positifs (Figure4)(Par exemple en présence d'anticorps à haut titre antiTG, anti-DGP et/ou anticorps-endomysiaux (MOONEY et al., 2016).

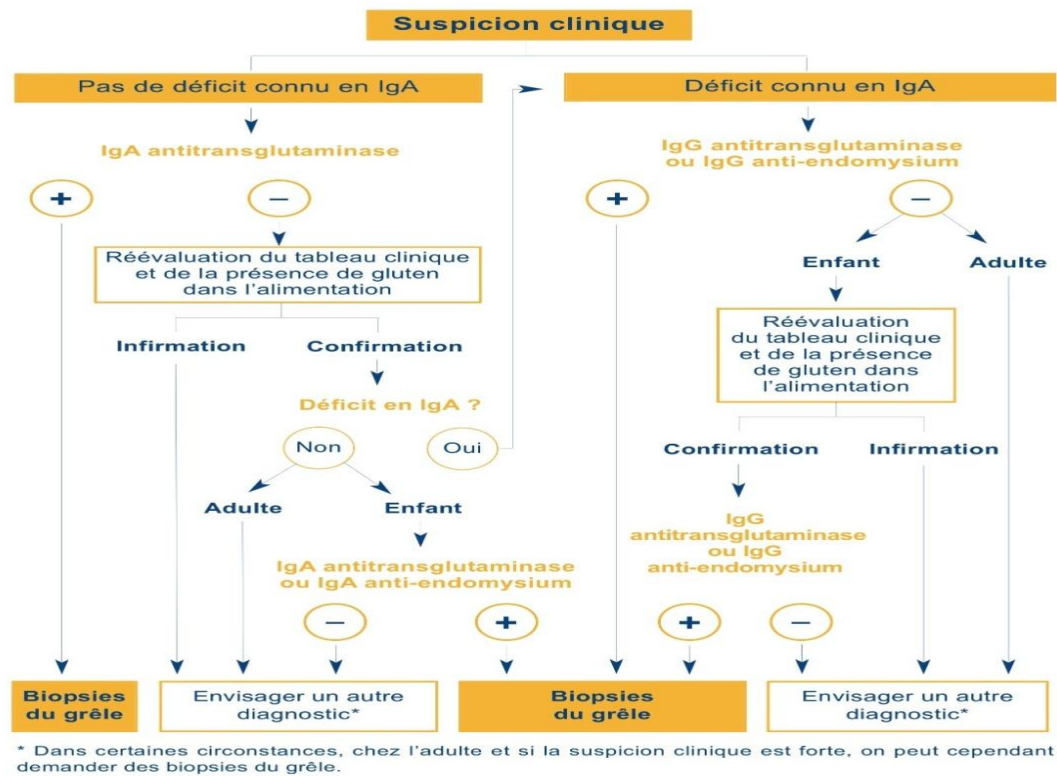
Les biopsies effectuées dans le duodénum proximal en dessus de la papille de Vater peuvent montrer des artefacts (par exemple, un étirement des villosités) produits par les glandes de Brunner sous-muqueuses et qui peuvent être interprétés à tort comme une muqueuse plate (LEFFLER et al., 2013).

En microscopie optique, les observations histologiques les plus caractéristiques (Marsh et Gluten 1992) chez les patients avec un régime contenant du gluten sont:

- Densité accrue des lymphocytes intra-épithéliaux (> 25/100 cellules épithéliales).
- Hyperplasie des cryptes avec un rapport villosité/crypte diminué
- Infiltration de la lamina propria par des cellules mononucléaires

Modifications de l'épithélium comprenant des anomalies structurales des cellules épithéliales(LEFFLER et al., 2013)

La recherche d'anticorps lors du diagnostic d'une maladie cœliaque



Cette évaluation a été réalisée à partir d'une analyse de la littérature et de l'avis d'un groupe de travail pluridisciplinaire d'experts, proposés par les sociétés savantes des spécialités concernées.

© Haute Autorité de Santé - FESTUCELIA 2008

HAS

Figure 4 : La recherche des anticorps dans la maladie cœliaque d'après la HAS. ((18) HAS, Recherche d'anticorps dans la maladie cœliaque, 2008)

V. Traitements de la maladie cœliaque

V.1. Le régime sans gluten

V.1.1. Modalités

Actuellement le traitement de la maladie cœliaque demeure exclusivement diététique et repose sur le régime sans gluten (VERKARRE et BROUSSE, 2013).

L'objectif de ce régime est double, d'une part il permet de réduire les symptômes de cette maladie et d'autre part il permettrait de réduire l'incidence des complications carencielles et malignes (lymphomes digestifs). Il est destiné à être suivi à vie (CLOT et SANY, 1994).

Ainsi le régime sans gluten nécessite d'exclure de l'alimentation tous les aliments naturels ou industriels, contenant des produits dérivés du blé, du seigle et de l'orge et leur substitution par des produits à base d'amidon de maïs, de riz ou de fécule de pomme de terre (EMILE et CHYGENOTIS, 2013).

Partie bibliographique

L'avoine n'est pas toxique chez plus de 95% des patients avec une maladie cœliaque, mais il existe un petit sous-groupe (< 5%) pour lequel l'avoine n'est pas sans danger. Même si beaucoup d'études ont conclu que les flocons d'avoine peuvent être consommés par les patients avec une maladie cœliaque en quantité modérée, il existe des craintes concernant la possibilité d'une contamination de l'avoine par du blé et de l'orge pendant le conditionnement or pour être efficace le patient ne doit pas dépasser 50mg de gluten par jour, seuil qui est vite atteint (BAI et al., 2012).

Les patients cœliaques devront apprendre à lire les étiquettes de tous les produits pour déceler toute trace de gluten et se familiariser avec les dénominations qui l'évoquent. De plus ils devront concevoir un nouveau mode d'alimentation en recherchant de nouvelles céréales parfois peu connues pour diversifier leur alimentation (MALAMUT et CELLIER, 2010).

Le régime sans gluten doit être complété au départ par une supplémentation vitaminique, en particulier de calcium et de vitamine D, et la correction des autres carences associées (OLIVES, 2013)

v.1.2. Risques du régime sans gluten

Comme pour tout régime d'exclusion, le régime sans gluten peut avoir des conséquences en termes de couverture des besoins nutritionnels et donc de santé. Les céréales, sources de gluten, sont aussi des sources de protéines, de vitamines du groupe B, de fibres, de minéraux (magnésium, phosphore, potassium) et de micronutriments (zinc, fer). Leur suppression peut être responsable d'un déséquilibre alimentaire et de déficits nutritionnels, d'autant plus si d'autres évictions alimentaires sont associées, comme celle des produits laitiers. De plus, les produits industriels sans gluten sont souvent plus riches en lipides et ou en sucre, donc en calories, ou encore plus salés que leurs équivalents avec gluten. Le régime sans gluten pourrait être un facteur de risque du syndrome métabolique ; cependant, il faut noter que l'obésité augmente de la même façon dans la population des malades cœliaques que dans la population générale. Une récente étude suggère également que le régime sans gluten pourrait favoriser les pathologies coronariennes (LEBWOHL et al., 2017)

Les conseils d'un diététicien sont essentiels pour apprendre au patient non seulement les bases du régime sans gluten mais également à équilibrer son alimentation avec des céréales non sources de gluten, des pseudo céréales, des féculents et des légumineuses (tableau 2) et l'alerter sur la nécessité d'une consommation modérée de produits manufacturés sans gluten (ROSTAMI et al., 2017).

Partie bibliographique

Tableau 2. Les sources de gluten (ROSTAMI et al., 2017)

Céréales contenant des prolamines génératrices de gluten petit épeautre Blé dur Blé amidonnier Blé Khorasan (Kamut)	Blé (gluténines et gliadines) Blé tendre ou froment, épeautre, engrain ou Orge (hordénines) Seigle (sécalines)
Céréales contenant des prolamines nongénératrices de gluten	Avoine (avénines) Maïs (zéïnes) Sorgho Riz Millet
Pseudocéréales (non génératrices de gluten)	Sarrasin Quinoa

VIII. Produits sans gluten

Il existe néanmoins des « aliments sans gluten, naturellement » tels que viandes et poissons (grillés et non cuisinés), légumes frais, légumes secs, fruits, œufs, lait, maïs (et ses dérivés : amidon, farine, polenta...), riz, fécule de pomme de terre, tapioca, quinoa, soja, sarrasin (souvent contaminé lors de la récolte), fonio, sorgho, dictame, etc (AFDIAG Association Française Des Intolérants Au Gluten).

En remplacement des produits de base non consommables par les cœliaques, il existe un grand choix de produits spécifiques sans gluten (pains, farines, biscuits, pâtes, plats cuisinés, croissants, céréales pour petit-déjeuner...), qui ont un coût plus élevé que leurs équivalents avec gluten (AFDIAG Association Française Des Intolérants Au Gluten).

Depuis janvier 2009 (Règlement appliqué en janvier 2012), les aliments qui portent la mention sans gluten sont fabriqués dans des conditions de sécurité et de contrôle qui permettent d'avoir un seuil maximal de gluten résiduel de 20 mg/kg, dans le produit tel que vendu au consommateur (produit fini) (AFDIAG Association Française Des Intolérants Au Gluten).

Partie bibliographique

Tous les aliments naturels ou industriels contenant des produits dérivés du blé, du seigle Ou de l'orge, sont exclus de l'alimentation en régime sans gluten (SCHMITZ, 2007).

Les aliments autorisés et les aliments interdits dans le régime sans gluten sont présentés dans **Tableau 3 : Aliments autorisés et aliments interdits dans le régime sans gluten (CEGARRA, 2006).**

ALIMENTS INTERDITS	A REMPLACER PAR...
Céréales	
Blé, froment, épeautre, seigle, orge et leurs dérivés Malt d'orge	Avoine, riz, maïs, polenta, millet, sarrasin, soja, tapioca, fécule de pommes de terre, pommes de terre
Pain	
Pain	Pains à base de farine sans gluten
Biscuits	
Biscuits – pâtisserie	Biscuits et pâtisseries sans gluten
Sauces liées	
Sauces	Sauces faites avec de l'amidon de maïs ou de la fécule de pommes de terre
Poudres à lever	
Contenant de la farine ou de l'amidon de blé Levure de bière	Poudre à lever + amidon Levure du boulanger fraîche ou sèche
Mélanges de flocons	
Céréales pour petit déjeuner	Bircher préparé avec des flocons de millet ou d'avoine, céréales pour petit déjeuner sans gluten
Pâtes alimentaire	
Spaghetti, ravioli, tortellini, etc. Spätzli, semoule, pizza, gâteaux au fromage ou tartes, pâté en croûte	Pâtes sans gluten, pâtes au riz Fonds de pizza ou de tarte sans gluten
Boissons	
Café d'orge, certaines boissons contenant du malt : Ovomaltine, Jemalt... Bières	Thé, café, tisanes, lait, sirop, cacao pur, Caotina, Nesquik, Suchard express Bières sans gluten Alcools distillés, vins : avec modération

Partie bibliographique

Condiments	
Bouillons et condiments Moutardes contenant de la farine de blé	Bouillons et condiments sans gluten Sel, poivre, épices pures, plantes aromatiques Moutardes : autres
Desserts	
Crème pâtissière, pouding à la semoule Glaces : avec cornet, gaufrettes. biscuits Tourtes glacées avec biscuit	Flan, pouding : à la gélatine, à l'agar-agar, à l'amidon de maïs, etc. Glaces : sorbet, à la crème du commerce Meringues sans gluten
Fruits – Légumes – Légumineuses	
A la Béchamel Conserves et surgelés cuisinés	Béchamel à la farine de maïs Frais, surgelés ou conserve au naturel
Œufs	
	Tous Crêpes, pancakes à base de farine sans gluten
Viandes – Poissons	
Viandes et poissons cuisinés du commerce (conserves et surgelés) En sauce ; Enfarinés avant cuisson, panés	Au naturel Sauce liée avec l'amidon de maïs ou de la fécule de pommes de terre Avec farine ou panure (chapelure) sans gluten
Produits laitiers	
Fol Epi Yoghourt ou petit suisse aux céréales	Fromages frais, à pâte molle, « bleus », à pâte dure, petits fromages à tartiner, etc.
Potages	
Liés à la farine de blé, avec croûtons, etc.	Faits « maison », avec des céréales sans gluten
Sucreries	
Contenant des céréales avec gluten ou du malt d'orge Chocolats fourrés, « Smarties », barres de céréales avec gluten	Confiture, miel, sucre, sucre glace, sirop d'érable Chocolats

IX. Pain sans gluten

Le pain est le résultat de transformations physiques; de réactions chimiques et d'activités biologiques très complexes qui se produisent au sein d'un mélange de farine issue de céréales panifiables; d'eau; de sel et de levure; et parfois d'autres ingrédients (acide ascorbique; farines d'autres origines; enzymes exogènes, émulsifiante...); sous l'action d'un apport contrôlé d'énergie mécanique et thermique; seule la levure *saccharomyces cerevisiae* est autorisée (BOURSIER et LEROUX, 2012).

Pour obtenir du pain il faut réunir trois composants dont l'action est complémentaire et indissociable:

1. l'amidon: qui fournit les sucres
2. le gluten: qui forme le fin réseau élastique et assure la cohésion de l'ensemble
3. la levure: qui produit comme son nom l'indique la levée et l'allègement de la pâte (BOURSIER et LEROUX, 2012).

Les cœliaques sont donc sans cesse à la recherche de nouveaux produits exempts totalement de gluten, de nombreux travaux ont été publiés sur des procédés de panification, ou sur des préparations alimentaires de type pain dépourvues de gluten, et susceptibles de servir d'aliments pour les malades cœliaques (BOURSIER et LEROUX, 2012).

Partie
expérimentale

II. Matériel et méthodes

Il est connu que le seul traitement de la maladie cœliaque c'est un régime sans Gluten (ROUQUETTE, 2002). Une enquête effectuée par BENATALLAH (2009), montre que le pain venait en tête de listes des produits réclamés par ces malades. Dans le but de satisfaire à la demande des patients de la maladie cœliaque, de nombreuses recherches ont été menées pour trouver la bonne formulation qui permet de fabriquer du pain avec de la farine sans gluten. L'enjeu de ces recherches est de réussir à obtenir la meilleure formulation sans gluten qui permet d'obtenir un pain de bonne qualité qui se rapproche le plus du pain. L'objectif de cette étude et de faire le point dans ces recherches et d'étudier quelques formulations ainsi que la qualité du pain obtenu.

Pour la réalisation de ce travail nous avons choisi 3 études.

Etude 1 : Pain sans gluten pour malades cœliaques : aptitude technologique d'une formule riz-fèverole (GHERAIRIA, 2011)

Etude 2 : Panification sans gluten à base de riz et fèverole : effet améliorant d'une adjonction combinée HPMC-Xanthane (BOULEMKAHEL, 2014)

Etude 3 : Incorporation des protéines de canola dans du pain sans gluten : impact technologique et modélisation du processus de cuisson (KAMELA, 2016)

II.1. Etude de la formulation sans gluten

Dans l'étude 1 pour la fabrication du pain sans gluten GHERAIRIA (2011) a choisi la formule à base de riz et de fèverole (FRF) dont le mélange des farines de riz et de fèverole s'opère respectivement selon un rapport massique de 2/1. Dans le but d'améliorer la légèreté et la texture du pain sans gluten GHERAIRIA (2011) a incorporé la gomme de Xanthane à la formule (FRF). Les taux d'incorporation de la gomme de Xanthane ont été choisies dans l'intervalle 0 à 1% comme suit : 0, 0.12, 0.19, 0.5, 1%.

Concernant, l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014) a utilisé, pour la fabrication des pains sans gluten (PSG), une formule à base de riz et de fèverole (FRF) dont le mélange de farines se fait respectivement selon un rapport massique de 2/1. Dans le but d'améliorer la légèreté et la texture du pain sans gluten fabriqué à base de la formule (FRF) BOULEMKAHEL (2014) a étudié l'effet de la combinaison de deux hydrocolloïdes : HPMC et Xanthane. Les bornes de l'intervalle concernant cette variable "HPMC" ont été choisies égales à 0 et 4,5% (0, 0.66, 3.84, 4.5). Les pourcentages de la gomme de Xanthane ont été choisies égales à 0.14, 0.5 et 0.85.

Dans l'étude 3 KAMELA (2016) a étudié l'impact technologique de l'incorporation des protéines de canola dans du pain sans gluten. Pour sa préparation du pain sans gluten cet

Partie expérimentale

l'auteur a utilisé le mélange de farine suivant : farine de riz blanc + les protéines de canola à différents pourcentages (3%, 6% et 9%). Dans le but d'améliorer la qualité du pain sans gluten de la meilleure formule obtenue dans la première partie de l'étude (farine de riz blanc + les protéines de canola), deux variables indépendantes ont été ajoutées dans une première étape : matière grasse (solide) (1, 2, 3%) et gomme de xanthane (0.5, 1, 1.5%). Puis dans une autre étape, deux autres variables indépendantes ont été ajoutées, soit l'huile de canola (1, 2, 3%) comme substitut de la matière grasse solide et le bicarbonate de sodium (0.5, 1, 1.5%) comme agent favorisant la formation d'une structure poreuse.

II.2. APPRECIATION DE LA QUALITE DES PAINS OBTENUS

Vu que les 3 travaux choisis dans cette étude ont adopté des méthodes différentes pour étudier la qualité du pain, le seul paramètre retenu pour comparer la qualité des pains fabriqués selon différentes formules est le volume spécifique du pain.

II.2.1. Mesure des volumes spécifiques des pains de l'étude 1 GHERAIRIA (2011)

Prendre un récipient de volume plus grand que celui des pains et le remplir à ras avec des grains solides sphériques de volume spécifique connu ($0.72 \text{ cm}^3/\text{g}$). Pour la mesure en elle-même, vider à moitié le récipient de son contenu en grains sphériques, et placer le pain et couvrir l'échantillon avec le reste des grains jusqu'à ras du récipient. Après arasement de la surface du récipient de mesure, récupérer les grains sphériques en excès. Leur volume correspond à celui des pains.

II.2.2. Mesure des volumes spécifiques des pains de l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014)

Prendre un récipient de volume plus grand que celui des pains et le remplir à ras avec les particules sphériques de volume spécifique connu ($0.72 \text{ cm}^3 / \text{g}$). Pour la mesure en elle-même, on vide à moitié ce récipient de son contenu en semsem, on place le pain et on verse dessus le reste de ces grains sphériques. Après arasement de la surface de récipient de mesure, on récupère le semsem en excès, ensuite, on le pèse. Son volume correspond à celui de pain.

Concernant l'étude 3, la caractérisation du pain obtenu s'est faite par la :

II.2.3. Mesure du volume massique (volume spécifique) des pains de l'étude 3 KAMELA (2016)

Le volume du pain est mesuré par la méthode de déplacement des graines de pavot, le pain cuit est mis dans un contenant gradué de volume connu, le contenant est rempli par les graines de pavots jusqu'à ce que le pain soit totalement couvert. Après un nivelage de ces graines à l'aide d'une spatule métallique, les graines de pavot sont transférées dans un contenant gradué.

Partie expérimentale

Volume du pain (cm^3) = Volume du contenant connu (cm^3) – Volume des grains (cm^3)

Masse volumique (cm^3/g) = Volume du pain (cm^3) / Masse du pain (g).

Partie expérimentale

III. Résultats et discussion

III.1. Formulation du pain sans gluten

Actuellement, le seul traitement scientifiquement prouvé de la maladie cœliaque est diététique et réside en un Régime Sans Gluten (RSG), qui consiste à supprimer les aliments contenant l'une et/ou l'autre des quatre céréales toxiques suivantes : blé, seigle, orge et/ou avoine et à les substituer par d'autres céréales exemptes en gluten tel que le riz et le maïs (ROUQUETTE, 2002; NIEWINSKY, 2008). Il faut donc mettre à la disposition des malades un aliment diététique (léger et nutritif) et appétant. L'enquête effectuée par BENATALLAH (2009), montre que le pain venait en tête de listes des produits réclamés par ces malades. Par ailleurs, sa fabrication à base d'ingrédients sans gluten reste difficile. Elle est généralement caractérisée par un volume nettement inférieur et une mie plus ferme par rapport au pain témoin du blé tendre (HAGER et al., 2012; BENATALLAH et al., 2012). Cela est dû à l'absence de la protéine structurale « le gluten » nécessaire à la fabrication du pain, qui possède des propriétés viscoélastiques responsables de la rétention gazeuse, donnant une pâte extensible, avec une bonne structure de la mie, engendrant un produit fini léger et bien alvéolé (GALLAGHER, 2009; FRIESEN, 2013).

La faisabilité technologique de la panification sans gluten repose sur la formulation qui permet de développer des matrices panifiables à partir de farine non panifiable. L'ingrédient de base choisi par de nombreux travaux pour cette formulation est le riz. Cependant, les protéines du riz ont des propriétés fonctionnelles relativement faibles, incapables de former un réseau viscoélastique nécessaire pour retenir le CO₂ produit au cours de la fermentation, menant à un produit avec un bas volume spécifique et une mie compacte ne ressemblant pas à la structure fine et ouverte du pain commun du blé (HE et HOSENEY, 1991). De ce fait plusieurs ingrédients tels que : l'amidon, les protéines laitières et les hydrocolloïdes ont été additionnés à la farine de riz à fin d'imiter les propriétés viscoélastiques du gluten (LOPEZ et al., 2004 ; GALLAGHER et al., 2004; LAZARIDOU et al., 2007). En raison de leurs propriétés fonctionnelles qui permettent de les utiliser comme agents épaississants, stabilisants, améliorants de la capacité de rétention d'eau et des propriétés texturales, divers hydrocolloïdes, tels que les gommes arabiques, le guar, le xanthane et l'HPMC ont été exploités dans des formulations de pain sans gluten (CATO et al., 2002; AHLBORN et al., 2005; PRUSKA-KEDZIOR et al., 2008 ; SCHOBER et al., 2005).

Dans les travaux choisis pour cette étude les auteurs de l'étude 1 GHERAIRIA (2011) et l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014) ont adopté pour la fabrication du pain sans gluten la

Partie expérimentale

formule à base de riz et de fèveole (FRF) dont le mélange des farines de riz et de fèveole s'opère respectivement selon un rapport massique de 2/1. En revanche, pour l'étude 3 KAMELA (2016) a étudié l'impact technologique de l'incorporation des protéines de canola dans du pain sans gluten. Cette incorporation de la farine de fèveole et des protéines de canola dans la farine de riz a pour but d'améliorer la qualité des protéines du riz qui ont des propriétés fonctionnelles relativement faibles. Cependant, ceci n'a pas permis de développer les propriétés viscoélastiques responsables de la rétention gazeuse.

De ce fait, dans le but d'améliorer la qualité du pain sans gluten de la formule riz/fèveole et riz/protéines de canola les auteurs de ces 3 études ont utilisé des additifs comme xanthane pour l'étude 1, xanthane/HPMC pour l'étude 2 et soit la matière grasse/xanthane soit l'huile de canola/bicarbonate de sodium pour l'étude 3. Ces agents sont utilisés en raison de leurs propriétés fonctionnelles qui permettent de les utiliser comme agents épaississants, stabilisants, améliorants de la capacité de rétention d'eau et des propriétés texturales pour favoriser la formation d'une structure poreuse et permettre ainsi d'imiter les propriétés viscoélastiques du gluten.

III.2. Volumes spécifiques des pains

Le volume du pain est un attribut crucial qui influence son acceptabilité par le consommateur. Il est fortement influencé par la quantité de gaz retenu par la pâte. Plus la capacité de rétention de gaz de la pâte est élevée, plus est important le volume des pains (BALLA et al., 1999). Selon HAGER et ARENDT (2013), le volume spécifique est l'une des caractéristiques visuelles la plus importante de pain, influençant fortement le choix du consommateur. Par conséquent, c'est un paramètre clé pour évaluer sa qualité.

Les résultats des volumes spécifiques obtenus des différents pains étudiés dans les différentes études choisies sont regroupés dans les tableaux 1, 2, 3, 4 et 5.

Partie expérimentale

Tableau 4. Volumes spécifiques des pains de l'étude 1 GHERAIRIA (2011)

	Volume spécifique en cm ³ /g
Pain Farine de blé	3.56±0.07
Pain FF	4.34
Pain riz	2.13
Pain FRF	2.7±0.20
Pain FRF/xanthane 0,12%	2.97±0.03
Pain FRF/Xanthane 0,19%	3.06±0.07
Pain FRF/Xanthane 0,5%	2.64±0.31
Pain FRF/Xanthane 1%	2.54±0.06 cm ³ /g

FF : fèverole, FRF : fèverole/riz/fèverole

Les valeurs du volume spécifique des pain (V_{sp}) de l'étude 1 regroupées dans le tableau 1 montrent que le V_{sp} du pain de FF est clairement plus élevée (4.34cm³/g) comparativement à ceux de tous les autres pains. On note aussi, que le pain témoin de blé tendre présente un V_{sp} élevé de 3.56 cm³/g, suivi de celui de la FRF (2.7cm³/g). Par contre le pain de riz enregistre le V_{sp} le plus faible (2.13cm³/g).

La forte valeur de V_{sp} notée dans le cas des pains de fèverole pourrait être expliquée par la richesse de leur farine en protéines ; de plus par la présence des lipoxygénases qui faciliteraient la fixation de l'oxygène de l'air lors du pétrissage conduisant à l'oxydation des acides gras libres et à la formation de peroxydes et hydroperoxydes, qui oxydent, à leur tour, les caroténoïdes apportant ainsi une quantité d'énergie mécanique plus grande à la pâte boulangère au moment du pétrissage, ce qui contribuerait à l'augmentation du volume du pain (GUINET et GODON, 1994).

Dans le cas de pain témoin de blé tendre, c'est la quantité et la qualité de gluten qui contribuent à l'augmentation de leur volume spécifique et à l'obtention d'une structure alvéolaire homogène. Au cours de la panification, ses protéines forment un réseau tridimensionnel imperméable, capable de retenir le gaz carbonique au moment de la fermentation de la pâte et de former une structure alvéolaire fine et régulière après l'expansion des gaz au moment de la cuisson (FOULD-SPRINGER et BELLAMY, 1996).

La faible quantité et qualité des protéines de la farine de riz seraient responsables de la faible rétention gazeuse de ses pâtes conduisant à l'obtention d'un pain de bas volume spécifique et une mie de structure compacte (HE et HOSENEY, 1991).

D'après GHERAIRIA (2011), le pain obtenu à partir de la farine témoin de blé tendre

Partie expérimentale

offre une très grande satisfaction, il présente un V_{sp} suffisamment élevé, une mie bien développée et une structure alvéolaire fine et régulière. En raison de sa composition biochimique particulière, la farine de féverole donne un pain avec un V_{sp} plus élevé que celui du témoin, une mie plus expansée et une structure alvéolaire hétérogène. Alors que le pain de riz présente le V_{sp} le plus faible et une mie de structure compacte, exprimeraient la perméabilité élevée de ses pâtes vis à vis du CO_2 dégagé au cours de la fermentation. L'addition de la farine de féverole au niveau de la formule favorise le développement du pain et la coloration de la croûte.

Pour les pains, correspondant à des niveaux trop élevés de xanthane, les V_{sp} relevés sont relativement faibles, plus basse que celui du pain de FRF sans améliorant ($2.7 \pm 0.20 \text{ cm}^3/\text{g}$), allant de $2.64 \pm 0.31 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour le 0.5 % xanthane et de $2.54 \pm 0.06 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour le 1 % xanthane, témoignant de la forte résistance de leurs pâtes à l'expansion gazeuse au cours de la cuisson. Par ailleurs, pour les pains dont le niveau de xanthane est plus faible, on remarque que l'augmentation du niveau de xanthane se traduit par un accroissement des V_{sp} des pains tel que montré pour les 0.12% xanthane, 0.19% xanthane avec des V_{sp} respectifs de 2.97 ± 0.03 et $3.06 \pm 0.07 \text{ cm}^3/\text{g}$ respectivement.

Tableau5. Volumes spécifiques des pains de l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014)

	Volume spécifique en cm^3/g
Pain Farine de blé	3.05 ± 0.08
Pain FRF (HPMC 0/Xanthane 0,5)	1.40 ± 0.02
Pain FRF (HPMC 0,66/Xanthane 0,85)	1.61 ± 0.02
Pain FRF (HPMC 3,84/Xanthane 0,14)	2.30 ± 0.06
Pain FRF (HPMC 4,5/Xanthane 0,5)	2.25 ± 0.08

Il ressort de l'analyse des résultats du tableau 5 que les V_{sp} relevés sont relativement faibles, allant de $1.40 \pm 0.02 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour le couple (0, 0.50)% et de $1.61 \pm 0.02 \text{ cm}^3/\text{g}$ pour le couple (HPMC, Xanthane) (0.66, 0.85)%, témoignant d'une part, de la forte résistance de la pâte à l'expansion gazeuse résultante de la teneur élevée de Xanthane et d'autre part du faible taux en HPMC ou son absence ce qui conduit à des pains sans gluten avec des faibles V_{sp} .

En revanche, l'échantillon du pain sans gluten qui a donné le V_{sp} le plus proche à celui du pain témoin du blé tendre ($V_{sp} = 3.05 \pm 0.08 \text{ cm}^3/\text{g}$) correspond au couple (HPMC, Xanthane) (3.84, 0.14)% avec un V_{sp} de $2.3 \pm 0.06 \text{ cm}^3/\text{g}$ suivi de couple (4.50, 0.50)% avec un V_{sp} de $2.25 \pm 0.08 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Partie expérimentale

Donc, les pains sans gluten caractérisés par des taux élevés en HPMC et les faibles teneurs de Xanthane enregistrent des V_{sp} élevés que ceux dont la teneur en HPMC est faible et la teneur en xanthane est élevée.

BOULEMKAHEL (2014) a noté que, malgré l'augmentation de la teneur en HPMC de 3.84% à 4.50% il y a une diminution de V_{sp} , qui est passé de 2.30 à 2.25 cm^3/g . Cela pourrait être expliqué par l'élévation au même temps de la concentration en Xanthane de 0.14% à 0.50%, ce qui aurait un effet négatif sur l'expansion gazeuse. Pour avoir donc un effet positif sur le V_{sp} en combinaison à l'HPMC, la gomme de Xanthane ne doit pas dépasser le seuil de <0.5%. Donc, d'après cet auteur, les meilleurs V_{sp} sont obtenus pour des taux d'HPMC élevés (>3%) et des faibles teneurs de Xanthane (<0.5%).

Tableau6. Volumes spécifiques des pains de l'étude 3 KAMELA (2016)

	Volume spécifique en cm^3/g
Pain Farine de blé	2.52
Pain de riz	1.42
Pain de riz+3%PC	1.6
Pain de riz+6%PC	1.74
Pain de riz+9%PC	1.68

PC : protéine canola

Le tableau 6 montre que la valeur la plus faible du V_{sp} est celle du pain de riz 100% qui est de 1.42 cm^3/g . Le V_{sp} du pain de (riz + 6% PC) est clairement plus élevé avec une valeur de 1.74 cm^3/g comparativement à tous les autres pains sans gluten produits par la combinaison de la farine de riz avec des protéines de canola. Il est suivi de celui du pain (riz + 9% PC) qui a une valeur du volume spécifique de 1.68 cm^3/g . Le pain de farine de blé 100% présente un V_{sp} plus élevé que tous les autres pains avec une valeur de 2.52 cm^3/g . KAMELA (2016) a trouvé une corrélation positive et significative entre la teneur en protéines de canola et le V_{sp} des pains sans gluten, ce qui signifie que la teneur en protéines totales exerce une influence considérable sur le développement du V_{sp} du pain (FEILLET, 2000). La valeur importante du V_{sp} notée dans le cas des pains de riz + 6% PC et celui de 9% PC peut être expliquée par la richesse de la farine supplémentée en protéines de canola. D'après les résultats de l'essai de panification réalisé par KAMELA (2016), le pain obtenu à partir de la farine de blé 100% offre une très grande satisfaction, car il présente un V_{sp} suffisamment élevé, une mie bien développée et une structure alvéolaire fine et régulière. Le pain à base de farine de riz additionnée de 6% de protéines de canola a également montré une nette

Partie expérimentale

amélioration de son V_{sp} et de sa structure alvéolaire en comparaison avec le pain de riz 100%. Ceci pourrait ouvrir une voie pour satisfaire les consommateurs de pain sans gluten.

La formulation à base de farine de riz additionnée de 6% de protéines de canola a fait l'objet d'une amélioration du V_{sp} par l'ajout de différents agents texturants comme la gomme de xanthane, l'huile de canola et le bicarbonate de sodium. Le but d'ajouter ces agents texturants est d'améliorer le développement du volume spécifique du pain obtenu à la cuisson afin d'avoir un volume similaire à celui du pain blé 100%.

Tableau7. Volumes spécifiques des pains Pain de riz+6%PC améliorés par l'addition de la matière grasse et du xanthane de l'étude 3 KAMELA (2016)

	Volume spécifique en cm^3/g
Pain de riz+6%PC G 1% 0.5% GX	1.52
Pain de riz+6%PC G 1% 1% GX	1.33
Pain de riz+6%PC G 1 % 1.5% GX	1.30
Pain de riz+6%PC G 2% 0.5% GX	1.61
Pain de riz+6%PC G 2% 1% GX	1.61
Pain de riz+6%PC G 2 % 1.5% GX	1.59
Pain de riz+6%PC G 3% 0.5% GX	1.70
Pain de riz+6%PC G 3% 1% GX	1.69
Pain de riz+6%PC G 3 % 1.5% GX	1.62

PC : protéine canola, G : matière grasse, GX : gomme de Xanthane

Le tableau 7 montre que le V_{sp} le plus bas est celui du pain (G1%-GX 1.5%) avec une valeur de $1.30 \text{ cm}^3/\text{g}$, suivi de celui du pain (G1%-GX1%) avec une valeur de $1.33 \text{ cm}^3/\text{g}$. Il n'y a pas de différence significative entre ces deux formulations. En même temps, une grande différence significative entre la formulation de pain (G1%-GX 0.5%) et toutes les autres formulations a été observée. Le V_{sp} du pain (G3%-GX 0.5%) est clairement plus élevé ($1.70 \text{ cm}^3/\text{g}$) comparativement à celui de tous les autres pains, suivi de celui de (G3%-GX 1%) avec une valeur de $1.69 \text{ (cm}^3/\text{g)}$ sans qu'il y ait de différence significative entre ces deux formulations. Des différences significatives entre toutes les formulations de pain et celle de (G3%-GX 1.5%) ont été observées. Toutes les formules de pain qui contiennent G2%, mais à différents pourcentages de GX (0.5, 1, 1.5%). Les meilleurs volumes spécifiques obtenus dans ces formulations sont ceux qui contiennent plus de gras (G3%) et moins de gomme de xanthane (0.5 et 1%).

Partie expérimentale

Cet ajout est justifié par le fait que la matière grasse solide entre en interaction avec les doubles couches lipidiques et contribue à la stabilisation des bulles gazeuses (CARR et al., 1992). Les cristaux de matière grasse interrompraient la structure en bi-couches des lipides polaires et permettraient ainsi leur adsorption à l'interface gaz/matrice continue. La matière grasse serait alors en contact direct avec le gaz et formerait un film continu autour de la bulle permettant sa stabilisation vis-à-vis de la coalescence.

Les globules de la matière grasse entourent les protéines et les grains de l'amidon et les isolent en s'opposant à la formation d'une masse cohésive et continue. Le corps gras préalablement émulsifié contient de l'eau et de l'air sous forme d'inclusion qui, sous l'action de la chaleur, se vaporisent et forment des vacuoles. Cette formation d'alvéoles, secondant celles des poudres levantes ajoutées, confère au produit fini sa structure alvéolaire (KIGER et KIGER, 1967); ce qui pourrait augmenter le volume spécifique du pain.

L'addition de la gomme de xanthane a montré des effets significatifs sur la ténacité et l'extensibilité de la pâte et sur l'acceptabilité sensorielle du pain (SHITTU et al., 2009). LAZARIDOU et ses collaborateurs ont étudié l'effet des hydrocolloïdes sur les paramètres rhéologiques de la pâte et la qualité du pain. Ils ont prouvé que la gomme de xanthane a eu l'effet le plus prononcé sur les propriétés viscoélastiques donnant des pâtes consistantes. Elle a été employée comme substituant de gluten pour la fabrication du pain sans gluten (LAZARIDOU et al., 2007)

Tableau8. Volumes spécifiques des pains Pain de riz+6%PC améliorés par l'addition du bicarbonate de sodium et d'huile de canola de l'étude 3 KAMELA (2016)

	Volume spécifique en cm ³ /g
Pain de riz+6%PC HC 1% 0.5% B	1.47
Pain de riz+6%PC HC 2% 0.5% B	1.49
Pain de riz+6%PC HC 3% 0.5% B	1.58
Pain de riz+6%PC H 1% 1% B	1.56
Pain de riz+6%PC H 2% 1% B	1.56
Pain de riz+6%PC H 3% 1% B	1.72
Pain de riz+6%PC H 1% 1.5% B	1.57
Pain de riz+6%PC H 2% 1.5% B	1.64
Pain de riz+6%PC H 3% 1.5% B	1.78

PC : protéine canola, H : huile de canola, B : bicarbonate

Partie expérimentale

Le tableau 8 montre que les valeurs du V_{sp} les plus faibles sont celles du pain (H1%-B0.5%) avec un $V_{sp}= 1.47 \text{ cm}^3/\text{g}$ et de (H2%-B0.5%) avec un $V_{sp} = 1.49 \text{ cm}^3/\text{g}$. Une différence significative entre ces deux formules et celle de (H3%-B0.5) a également été observée. Le volume spécifique du pain dont la formule est (H3%-B 1.5%) est clairement plus élevé ($V_{sp}=1.78 \text{ cm}^3/\text{g}$) comparativement à tous les autres pains. Il est suivi de celui de (H3%-B 1%) avec un V_{sp} de $1.72 \text{ cm}^3/\text{g}$. Il n'y a pas de différence significative entre ces deux formules. Par contre, des différences significatives entre toutes les formules de pain et celle de (H2%-B 1.5%) ont été observées. Aucune différence significative n'a été observée entre les formulations (H1%-B1%), (H1%-B1.5%), (H2%-B1%) et (H3%-B0.5%). Les meilleurs volumes spécifiques obtenus avec ces formulations sont ceux qui contiennent plus d'huile végétale (H3%) et plus de bicarbonate de soude (1 et 1,5%).

L'incorporation de la matière grasse liquide (huile de canola) joue un rôle important dans l'incorporation et la stabilisation de l'air dans les pâtes (BROOKER, 1996). Ces bulles d'air sont les noyaux de propagation de gaz durant la cuisson au four. Donc, l'utilisation d'une huile au lieu de la matière grasse solide améliore le développement du volume massique du pain à base de farine de riz additionnée de protéines de canola. En pratique, l'air se trouve dans l'huile liquide, l'air est attrapé dans la phase liquide plutôt que dans la phase lipidique, formant une mousse d'air dans l'eau. Il y a alors une corrélation positive entre le volume spécifique du pain final et la teneur en matière grasse liquide ajoutée à la formulation. Il semble que l'ajout du bicarbonate de sodium à des concentrations élevées a influencé significativement et positivement le volume spécifique des pains obtenus. Cela peut être expliqué par la capacité du bicarbonate de sodium à libérer une quantité considérable du gaz carbonique au-dessus de 60-70°C. Les volumes de gaz dégagés aux températures de cuisson sont nettement plus élevés : de 265 cm^3 à température ambiante, ce volume passe à 361 cm^3 à 100°C et à 556 cm^3 à 150°C (BOUDREAU et MENARD, 1992). Ce gaz carbonique est piégé dans le réseau protéique qui a été formé par les protéines de canola ajoutées à la formulation. Ensuite, le volume du pain augmente brusquement par dilatation des gaz contenues dans les alvéoles de la pâte en cours de cuisson (FEILLET, 2000). Il y a également une corrélation positive entre le volume massique du pain final et la concentration du bicarbonate de sodium ajoutée à la formulation. L'ajout d'huile de canola et du bicarbonate de sodium à des pourcentages élevés a influencé significativement et positivement les valeurs du volume massique des pains obtenus. La meilleure formule obtenue dans ce projet est la suivante : Pain de riz + 6% PC + 0.5GH + H3% + 1.5B% avec un volume massique $V_{sp} = 1.78 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Partie expérimentale

Selon (CALVEL, 1984), le gaz carbonique produit au cours de la fermentation des pains de blé tendre s'accumule pour exercer une pression interne sur le réseau tridimensionnel imperméable du gluten, ce qui permet à la pâte de lever en maintenant une structure externe. Dans le travail de (CHARGELEGUE et al., 1994), les auteurs expliquent ce phénomène par la prise de force de la pâte qui correspond à une réduction de la ténacité du gluten associée à une augmentation de sa résistance élastique. Une fois la pâte fermentée est mise au four, (FEILLET, 2000) souligne que le volume du pain augmente brutalement par la dilatation des gaz contenues dans les alvéoles, ensuite progressivement jusqu'à ce que les levures sont inactivées aux alentours de 55°C et les enzymes (surtout l' α -amylase) à 70°C. Quant à l'amidon, il devient gélatinisé à une température de 65-80°C. Les protéines thermorigidifient à 70-90°C. La dilatation des gaz continue au-dessus de 70°C dans la mesure où les contraintes exercées par la pâte ne s'opposent pas à leur expansion, même si la mie ne commence à se figer qu'à une température de 100°C. De ce fait, nous pouvons conclure que l'absence totale des protéines formant un réseau imperméable de gluten dans la farine de riz peut être la cause principale de l'échappement du gaz carbonique au cours de la fermentation et de la cuisson. Par conséquent, les pains cuits sont très peu développés et leurs mies sont compactes et entassées. Les faible quantité et qualité des protéines de la farine de riz seraient responsables de la faible rétention gazeuse de ces pâtes conduisant à l'obtention d'un pain de bas volume massique et d'une mie de structure compacte (HE et HOSENEY, 1991). L'addition des protéines de canola au niveau des formulations mises l'étude a nettement favorisé le développement du volume du pain et a donné une meilleure coloration de la croûte.

L'incorporation de la matière grasse entraîne la lubrification des constituants du milieu, notamment les molécules de protéines et les grains d'amidon, influençant ainsi largement la consistance et les propriétés rhéologiques de la pâte en sortie du pétrissage. Les conséquences directes de cet affaiblissement de consistance sont la facilité de capture de l'air et une augmentation de son entraînement en cours de pétrissage (BOUDREAU et MENARD, 1992), ce qui influence, d'une manière significative et positive, le volume massique des pains. Ainsi, il y a une corrélation positive entre le volume massique et la teneur en matière grasse ajoutée. Il semblerait que l'addition de la gomme de xanthane à des concentrations élevées produit une pâte très résistante et de consistance élevée, ce qui limite l'expansion des bulles de gaz pendant la cuisson et provoque ainsi une diminution du volume du produit final. Ceci est en accord avec les observations de (LAZARIDOU et al., 2007). Selon VLIET et al. (1992), il existe une augmentation significative de la résistance de la pâte à la déformation à des concentrations élevées de la gomme de xanthane, ce qui rend l'incorporation des bulles

Partie expérimentale

gazeuses à l'intérieur de la pâte trop difficile et influence négativement le développement du volume du pain durant la cuisson. Il y a alors une corrélation négative entre le volume massique du pain et la concentration de la gomme de xanthane ajoutée à la formulation. En général, les résultats obtenus dans ce volet ont montré que l'ajout du gras à des pourcentages élevés et de la gomme de xanthane à des pourcentages faibles a influencé significativement les valeurs du volume massique des pains obtenus.

Conclusion

Conclusion

Le seul traitement de la maladie cœliaque c'est un régime sans Gluten. Le pain vient en tête de listes des produits réclamés par ces malades. Dans le but de satisfaire à la demande des patients de la maladie cœliaque, de nombreuses recherches ont été menées pour trouver la bonne formulation qui permet de fabriquer du pain avec de la farine sans gluten. L'enjeu de ces recherches est de réussir à obtenir la meilleure formulation sans gluten qui permet d'obtenir un pain de bonne qualité qui se rapproche le plus du pain. L'objectif de cette étude et de faire le point dans ces recherches et d'étudier quelques formulations ainsi que la qualité du pain obtenu. Dans ce travail on a choisi 3 formulations de pain sans gluten différentes. On a comparé d'une part les matières premières utilisées ainsi que les que les agents texturants ajoutés pour imiter les propriétés viscoélastiques du gluten, et d'autre part, on a comparé les résultats des volumes spécifiques des pains fabriqués selon les différentes formules.

Il ressort de cette étude que dans les travaux choisis, les auteurs de l'étude 1 GHERAIRIA (2011) et l'étude 2 BOULEMKAHEL (2014) ont adopté pour la fabrication du pain sans gluten la formule à base de riz et de fève (FRF) dont le mélange des farines de riz et de fève s'opère respectivement selon un rapport massique de 2/1. En revanche, pour l'étude 3 KAMELA (2016) a étudié l'impact technologique de l'incorporation des protéines de canola dans du pain sans gluten. Cette incorporation de la farine de fève et des protéines de canola dans la farine de riz a pour but d'améliorer la qualité des protéines du riz qui ont des propriétés fonctionnelles relativement faibles. Cependant, ceci n'a pas permis de développer les propriétés viscoélastiques responsables de la rétention gazeuse. De ce fait, dans le but d'améliorer la qualité du pain sans gluten de la formule riz/fève et riz/protéines de canola les auteurs de ces 3 études ont utilisé des additifs comme xanthane pour l'étude 1, xanthane/HPMC pour l'étude 2 et soit la matière grasse/xanthane soit l'huile de canola/bicarbonate de sodium pour l'étude 3. Ces agents sont utilisés en raison de leurs propriétés fonctionnelles qui permettent de les utiliser comme agents épaississants, stabilisants, améliorants de la capacité de rétention d'eau et des propriétés texturales pour favoriser la formation d'une structure poreuse et permettre ainsi d'imiter les propriétés viscoélastiques du gluten.

En ce qui concerne le volume spécifique du pain, l'addition de la farine de fève ainsi que les protéines de canola à la farine du riz favorise le développement du pain. Par ailleurs, cette amélioration du volume spécifique reste faible et ne se rapproche pas beaucoup de celui des pains de la farine de blé. En revanche, l'addition des agents texturants comme le HPMC à

Conclusion

des taux élevés en et le Xanthane à de faibles teneurs de enregistrent des volumes spécifiques élevés. De plus, l'utilisation de la matière grasse liquide ou solide ainsi que le bicarbonate améliore aussi le volume spécifique des pains sans gluten.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

AFNOR. 1991. Le régime sans gluten au quotidien, p2

AHLBORN G.J., PIKE O.A., HENDRIX S.B., HESS W.M. et HUBER C.S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten free breads. *Cereal chemistry*, (82), pp 328-335.

Boudreau, A., Ménard, G., (1992). Le Blé : éléments fondamentaux et transformation. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec

BOULEMKAHEL Souad. 2014. Panification sans gluten à base de riz et féverole :effet améliorant d'une adjonction combinée HPMC-Xanthane; Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro- Alimentaires (I.N.A.T.A.A.)

BENATALLAH Le. 2009. Couscous et pain sans gluten pour malades coeliaques : Aptitude technologique de formules à base de riz et de légumes secs. Thèse de Doctorat, Option Sciences Alimentaires, *INATAA, Université Mentouri de Constantine* : 173 p.

Balla, A., Blecker, C., Oumarou, M., Paquot, M., Deroanne, C., (1999). Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement* 3(2), 69-77

Brooker, B.E., (1996). The Role of Fat in the Stabilisation of Gas Cells in Bread Dough. *Journal of Cereal Science* 24(3), 187-198

Calvel, R., (1984). La boulangerie moderne (EYROLLES, 10^{ème} Édition ed), Paris

Corinne Bouteloup . juin 2018 .Le régime sans gluten : pourquoi ? comment ?quels risques ?, p103 , p107 , p108

CATO L., RAFAEL L.G.B., GAN J., and SMALL D.M. (2002). The use of rice flour and hydrocolloid gums for gluten free breads. *In: Proceedings of the 51th Australian Cereal Chemistry Conference*, pp. 304-308.

Chargelegue, A., Guinet, R., Neyreneuf, O., Onno, B., Poitrenaud, B., (1994). La fermentation. *In: La panification française*. Guinet, R. et Godon, B. Tec & Doc, Lavoisier-Apria, Paris, Vol 528: 283-325

E. Guex – N. Bianchi. CONSEILS PRATIQUES POUR LA PREPARATION DU REGIME SANS GLUTEN pp30- 31

FFAS. Novembre 2016 .LE GLUTEN, pp8-10

FRIESEN J. 2013. The Everything Guide to Living Gluten-Free: The Ultimate Cooking, Diet, and Lifestyle Guide for Gluten-Free Families! *Edit Adams Media*, 215 p.

Références bibliographiques

- Feillet, P., (2000).** Le grain de blé: composition et utilisation. Editions Quae
- FOULD-SPRINGER et BELLAMY M. (1996).** Levure et panification. Memento des Technologies Agro-Alimentaires, *Lesaffre / Techno Nathan*, Paris, 75 p.
- GUINET R. et GODON B. (1994).** La panification française. Science et Techniques Agro-Alimentaires. *Lavoisier, Tech. & Doc*, Paris, 534 p.
- GALLAGHER E, 2009.** Gluten-Free Food Science and Technology. *Edit John Wiley & Sons*, 113 p.
- HE H. and HOSENEY R. C. (1991).** Gas retention of different cereal flours. *Cereal Chem.*, (68), pp. 334-336.
- HAS. juin 2008.** Quelles recherches d'anticorps prescrire dans la maladie coeliaque ? pp1-2
- HAGER A.S., 2012.** Investigation of product quality, sensory profile and ultra-structure of breads made from a range of commercial gluten free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology*, 235(2), 333-34
- HAGER A.S. et K. ARENDT. 2013.** Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids, ELSEVIER*, (32) 195-203
- Julio C. Bai (Chair, Argentine), Carolina Ciacci (Co-chair, Italie), Gino Roberto Corazza (Italie), Michael Fried (Suisse). 2016.** Maladie Coeliaque, pp17-19
- Kamela Salah. 2016 .** Incorporation des protéines de canola dans du pain sans gluten : impact technologique et modélisation du processus de cuisson ,Université laval
- Kiger, J.L., Kiger, J.G., (1967).** Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Dunod, Paris.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C.G., (2007).** Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering* 79(3), 1033-1047.
- López, A.C.B., Pereira, A.J.G., Junqueira, R.G., (2004).** Flour Mixture of Rice Flour, Corn and Cassava Starch in the Production of Gluten-Free White Bread. *Brazilian archives of biology and technology* 47, 63-70

Références bibliographiques

- Malamut G, Cellier C (2012).** Place et bilan de la maladie coeliaque. *Hepatogastroenterology*, 19:597-606.
- NIEWINSKY M.M. 2008.** Advances in celiac disease and gluten-free diet. *Am Diet. Assoc.* 108 (4) 661-672
- Nesrine GHERAIRIA.2011.** Pain sans gluten pour malades cœliaques : aptitude technologique d'une formule riz-fèverole, Université Mentouri-Constantine
- Oberhuber G, Granditsch G, Vogelsang H (1999).** The histopathology of coeliac disease: time for a standardized report scheme for pathologists. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 11(10): 1185-1194
- Pierre H. Deprez. 2018.** Maladie coeliaque, le vrai et le faux pp305-306
- PRUSKA-KEDZIOR A., KEDZIOR Z. & KLOCKIEWICZ-KAMINSKA E., 2008.** Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *Eur. Food Res. Technol.*, **227**, 199-207
- REQETTE FRERES société anoyne-FR. 2013.** produits de cuisson ne contenant pas de gluten, paris pp2-3
- ROUQUETTE C. 2002.** Médecine, chirurgie et soins infirmiers. Wolters Kluwer, France, 165 p
- Rostom A, Murray JA, Kagnoff MF (2006).** American Gastroenterological Association (AGA) Institute technical review on the diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*, 131(6):1981-2002.
- Shittu, T.A., Aminu, R.A., Abulude, E.O., (2009).** Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. *Food Hydrocolloids* 23(8), 2254-2260.

Abstract

The aim of this work is to study different formulations of gluten-free bread implemented by different researchers: GHERAIRIA (2011); BOULEMKAHEL (2014) and KAMELA (2016). The three attempts to replace regular wheat with other cereals that do not contain gluten are as follows: the use of rice and faba bean flour and the addition of certain nutritional enhancers such as xanthan gum (GHERAIRIA 2011), HPMC-Xanthan (BOULEMKAHEL, 2014); and inclusion of canola protein, liquid or solid fat and bicarbonate (KAMELA, 2016). The results show that the use of rice flour gives poor quality bread whose specific volume is very low compared to that of wheat flour bread. On the other hand, the addition of faba bean flour or canola proteins as well as xanthan gum alone or combined with HPMC, liquid or solid fat and bicarbonate improves the specific volume of gluten-free bread made from rice flour.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة الصيغ المختلفة للخبز الخالي من الغلوتين التي نفذها باحثون مختلفون: GHERAIRIA (2011)؛ BOULEMKAHEL (2014) و KAMELA (2016). المحاولات الثلاث لاستبدال القمح العادي بحبوب أخرى لا تحتوي على الغلوتين هي كما يلي: استخدام الأرز ودقيق الفول وإضافة بعض المعززات الغذائية مثل صمغ الزانتان (GHERAIRIA 2011 ، HPMC-Xanthan (BOULEMKAHEL ، 2014) ؛ وإدراج بروتين الكانولا والدهون السائلة أو الصلبة والبيكربونات (KAMELA ، 2016). أظهرت النتائج أن استخدام دقيق الأرز يعطي خبزاً رديء الجودة وحجمه النوعي منخفض جداً مقارنةً بخبز دقيق القمح. من ناحية أخرى ، فإن إضافة دقيق الفول أو بروتينات الكانولا وكذلك صمغ الزانتان بمفرده أو مع HPMC والدهون السائلة أو الصلبة والبيكربونات يحسن الحجم المحدد للخبز الخالي من الغلوتين المصنوع من دقيق الأرز .