

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Constantine -1-
Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires
(I.N.A.T.A.A.)
Département de Technologies Alimentaires

N° d'ordre:
N° de série :

Mémoire

présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Alimentaires
Option : Technologies Alimentaires

Thème:

PATES SANS GLUTEN POUR MALADES COELIAQUES ALGERIENS : COMPORTEMENT RHEOLOGIQUE ET APTITUDES CULINAIRE DE PATES LIQUIDE : TYPE CREPE

Présenté par:

BOUZIANE Keltoum

Soutenu le : 09/12/2014

Devant le jury composé de :

Président :	ZIDOUNE M. N.	Professeur I.N.A.T.A.A. UC -1-
Rapporteur :	BENATALLAH Le.	M.C/A. I.N.A.T.A.A. UC -1-
Examineurs :	AGLI A.	Professeur I.N.A.T.A.A. UC -1-
	OULAMARA H.	M.C/A. I.N.A.T.A.A. UC -1-

Année universitaire 2014-2015

Remerciement

Avant toute chose, nous remercions Dieu le tout puissant, miséricordieux et clément, pour nous avoir donné santé, patience, volonté et courage .

الحمد لله

C'est avec un grand honneur et un grand plaisir que je remercie mon enseignant, Monsieur ZIDOUNE Mohammed Nasreddine, Professeur à l'université de Constantine et Chef de l'équipe Transformation et Elaboration des Produits Agro-alimentaires (T.E.P.A.) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologie Alimentaire (L.N.T.A.), pour son esprit scientifique et ses précieux conseils

J'exprime mes vifs remerciements à Madame BENATALLAH Leila Maitre assistance à l'I.N.A.T.A.A. qui a suivi la totalité de mon travail. Je la remercie pour l'appui qu'elle m'a accordé, tant sur le plan scientifique que sur le plan humain, pour la patience dont elle a fait preuve en m'orientant logiquement vers un meilleur déroulement de mon travail.

Je tiens également à remercier :

Monsieur AGLI A.et Madame OULAMARA H. pour avoir accepté d'examiner ce travail. Mes remerciements les plus vifs.

Je tiens à remercier vivement Mr BOUASLA abdallah, M^{lle} fettouhi Awatef, M^{lle} BOURAKOUA hayet ; qui ont toujours répondu positivement à mes demandes Je les remercie de leurs conseils et de leur qualité humaine.

Je ne pourrais finir ces remerciements sans penser à tous mes amis et collègues qui ont contribués à la réalisation de ce travail d'une dimension humaine inestimable : Hayat, Rima, Houcine, Imen skikda , Samah, Kahina, souâd, Naïma, imen jijel et nassira, pour leurs encouragements et leur amitié et je suis sûre que j'en ai oublié beaucoup !!

Enfin, je remercie du fond de mon cœur, mon chère marie et ma famille qui m'ont soutenu, encouragé et motivé tout au long de mes études.

Dédicace

Ce projet est dédié à:

- *Mes parents, ma mère et mon père qui m'ont toujours poussé et encouragé pour terminée ce que j'ai commencé. . .*
- *le plus chère à mon cœurs : Mon mari "Massi " qui m'a toujours soutenue, encouragé, il a été toujours à mes cotés, je le remercie pour ça compréhension.*
- *ma petite bougie qui a participé discrètement dans la réalisation de ce travail : à mon fils "Mimine"*
- *Mes sœurs et frères : Sabrina, Latraa , Souhila, Khaled, Anouar et Fayçal*
- *Ma belle famille*
- *Ma copine de chambre : farah la souriante*

En reconnaissance de leur aide, encouragements et gentillesse.

Keltoum

Sommaire

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION	01
Revue bibliographique	01
I. CEREALES	03
I.1. BLE DUR	03
I.1.1. Du blé dur à la semoule	03
I.1.2. Classification des semoules	03
I.1.3. Rôle des constituants majeurs de la semoule	05
I.1.3.1. Les protéines	05
I.1.3.2. Les glucides	06
I.1.3.3. Les lipides	08
I.2. Riz	09
I.2.1. Classification du riz	09
I.2.2. Rôle des constituants majeurs	10
II. LEGUMES SECS : LA FEVEROLE	11
II.1. Classification	11
II.2. Propriétés physico-chimiques	11
III. COMPLEMENTATION CEREALES – LEGUMES SECS	12
VI. PATES LIQUIDES : LES CREPES	13
VI.1 Classification	13
VI.2. Définition	13
VI.3. Les crêpes à travers le monde	14
VI.4. Les crêpes algériennes	14
VI.5. Fabrication des crêpes	14
VI.5.1. Pétrissage	15
VI.5.2. Fermentation	16
VI.5.3. Cuisson	17
VI.6. Critères de qualité des crêpes algérienne	17
V. RHEOLOGIE DES PATES LIQUIDES : COMPORTEMENT A L'ECOULEMENT	17

V.1. Les fluides Newtoniens.....	18
V.2. Les fluides non Newtoniens.....	19
V.2.1. Liquides fluidifiants.....	19
V.2.2. Liquides épaississants.....	20
V.2.3. Liquides plastiques.....	21
Etude expérimentale : Matériel et méthodes	22
I. MATIERES PREMIERES.....	22
I.1. Semoule de blé dur.....	22
I.2. Ingrédients exempts de gluten.....	22
I.2.1. Riz.....	22
I.2.2. Fèverole.....	22
I.2.3. Autres ingrédients.....	22
I.3. Mouture des graines.....	23
II. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES MATIERES PREMIERES	23
II.1. Teneurs en eau.....	23
II.2. Cendres totales.....	24
II.3. Protéines totales.....	25
II.4. Lipides libres.....	27
II.5. Glucides totaux.....	28
II.6. Distribution Granulométrique des matières premières.....	28
III. Choix de la formule riz- fèverole.....	30
IV. Choix et établissement du diagramme de fabrication de crêpes algériennes	30
IV.1. Témoin blé dur.....	30
IV.2. Délimitation des intervalles	30
IV.2.1. Le taux d'hydratation.....	30
IV.2.2. Teneur en blanc d'œuf	31
IV.3. Diagramme de fabrication.....	31
IV.3.1. Mise en suspension.....	33
IV.3.2. Mixage.....	33
IV.3.3. Fermentation.....	34
IV.3.4. Homogénéisation.....	34
IV.3.5. Cuisson.....	34
IV.3.6. Refroidissement.....	35

V. PLAN D'EXPERIENCES	35
V.1. Modèle mathématique.....	36
V.2. Niveaux des variables.....	36
V.3. Détermination des variables réelles.....	37
V.3.1. Hydratation.....	37
V.3.2. Blanc d'œuf.....	37
V.4. Aptitudes technologiques des pâtes liquides formulées.....	38
V.4.1. Volume spécifique.....	38
V.4.2. Nombre d'alvéoles.....	40
VI. Optimisation des surfaces de réponses.....	40
VII. Vérification et appréciation de la qualité des crêpes obtenues après optimisation	41
VII.1. Aptitudes technologiques des optima.....	41
VII.2. Comportement rhéologique des optima.....	41
VIII. Analyse sensoriel.....	42
IX. Analyse statistiques.....	44
Etude expérimentale : Résultats et discussion.....	45
I. Caractéristiques physico-chimiques des matières premières.....	45
I.1. Produits de mouture.....	45
I.1.1. Teneur en eau	45
I.1.2. Cendres totales.....	46
I.1.3. Protéines totales	46
I.1.4. Lipides libres.....	47
I.1.5 Glucides totaux	47
I.1.6. Distribution granulométrique des matières premières.....	47
I.2. Blanc d'œuf	48
II. Formulation et fabrication des crêpes sans gluten.....	49
II.1. Surface de réponse des volumes spécifiques	50
II .2. Surface de réponse du nombre d'alvéoles/cm ²	52
III. Optimisation des surfaces de réponses.....	53
IV. Validation des résultats de l'optimisées.....	54
IV.1. Evaluation de l'aptitude technologique.....	55

IV.2. Comportement rhéologique des pâtes liquides formulées et validation des résultats de l'optimisation	57
V. Evaluation sensorielle des crêpes sans gluten formulés	59
CONCLUSIONS	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65
ANNEXES	

Liste des abréviations

- Alv:** Alvéole
AFNOR: Association Française de Normalisation
ANOVA: Analysis Of Variance
AOAC: Association of Official Analytical Chemestis
BO: Blanc d'Oeuf
CCD: Central Composite Design
FAO: Food and Agriculture Organization
FRF: Formule Riz-Fèverole
Hyd: Hydratation
MSR: Méthodologie des Surfaces de Réponses.
mf : Matière fraîche
ms: Matière sèche
N: Poids moléculaire de l'atome d'azote
SG: Sans gluten
t° : Température
Vsp: Volume spécifique

Liste des figures

Figure 1.	Composition histologique du grain de blé (SURGET and BARRON, 2005).....	3
Figure 2.	Schéma des différents niveaux structurels du grain de l'amidon (DONALD <i>et al.</i> , 1997).....	7
Figure 3.	Classification des pains plats (FEILLET, 2000).....	13
Figure 4.	Diagramme de fabrication des crêpes algériennes (NAMOUNE, et al., 2003).....	15
Figure 5.	Courbes d'écoulement et de viscosité d'un liquide newtonien (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, η : viscosité absolues).....	19
Figure 6.	Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide rhéofluidifiant (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, μ : viscosité absolues).....	20
Figure 7.	Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide rhéoépaississant (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, μ : viscosité absolues).....	20
Figure 08.	Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide plastique (fluide de Bingham) (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, τ_c : contrainte de seuil $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, μ : viscosité absolues).....	21
Figure 09.	Diagramme de fabrication des crêpes sans gluten à base du Riz-Fèverole mis au point.....	32
Figure 10.	Mise en suspension des ingrédients sans gluten	33
Figure 11.	Mixage de la suspension dans un robot Moulinex.....	33
Figure 12.	Fermentation de la pâte liquide dans l'étuve	34
Figure 13.	Homogénéisation et répartition de la pâte liquide.....	34
Figure 14.	Cuisson des pâtes liquides sur une poêle antiadhésive.....	35
Figure 15.	Refroidissement des crêpes cuites à l'air ambiant.....	35

Figure 16.	Mesure du volume spécifique des crêpes formulées.....	39
Figure 17.	Comptage des alvéoles ouvertes sur cinq zones représentatives de la crêpe.....	40
Figure 18.	Surface de réponse du volume spécifique (Vsp) des crêpes sans gluten de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	51
Figure 19.	Courbe de niveaux du volume spécifique des crêpes de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	52
Figure 20.	Surface de réponse du nombre d'alvéoles/cm ² des crêpes de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	52
Figure 21.	Courbe de niveaux du nombre d'alvéoles/cm ² dans les crêpes de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	53
Figure 22.	Courbe de niveau de l'optimisation des volumes spécifiques et du nombre d'alvéoles/cm ² des crêpes SG de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	54
Figure 23.	Photos des pains sans gluten des couples (<i>Hydratation, BO</i>) à l'intérieur et en dehors de la zone optimale délimitée et le témoin blé.....	56
Figure 24.	Courbe de niveau de l'indice de consistance de crêpes de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	57
Figure 25.	Courbe de niveau de l'indice d'écoulement de crêpes de la FRF en fonction des taux <i>hydratation-blanc d'œuf</i>	58
Figure 26.	Profil sensoriel des crêpes sans gluten sans sauce B: crêpes optimal sans gluten (288,88 , 50) C: crêpe sans gluten hors domaine optimum (167,26, 7,32).....	60
Figure 27.	Profil sensoriel des crêpes avec sauce G : crêpe optimal sans gluten (2,88 ,50), H:crêpes sans gluten hors domaine optimum (167,26 , 7,37).....	60

Liste des tableaux

Tableau 01.	Principaux types de semoules fabriquées en Algérie (BENBELKACEM <i>et al.</i> , 1995) et en France (ABECASSIS 1991).....	4
Tableau 02.	Composition biochimique en g pour 100 g de semoule de blé dur (SOUCI <i>et al.</i> 1994).....	5
Tableau 03.	Classification du riz selon sa longueur et le rapport longueur/largeur (JULIANO 1994).....	9
Tableau 04.	Principaux constituants biochimiques de riz blanchi en g pour 100 g de matière sèche (VIERLING, 2008).....	10
Tableau 05	Principaux composants biochimiques de féverole en g pour 100 g de matière sèche (CUQ et LEYNOUD-ROUAUD, 1992 ; BOUTIN et DRONNE, 2008).....	11
Tableau 06.	Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables.....	37
Tableau 07.	Valeurs calculées des variables codées correspondent aux niveaux attribués.....	38
Tableau 08.	Matrice d'expérience du plan central composite à 2 variables et cinq niveaux utilisé.....	38
Tableau 09	Crêpes choisis pour le test de classification par rang de friedman.....	43
Tableau 10.	Descripteurs sensoriels décrivant la texture et l'aspect général des crêpes.....	43
Tableau 11.	Principaux constituants des matières premières en g pour 100 g de matière sèche.....	45
Tableau 12.	Distribution granulométrique des semoules destinées à la fabrication des crêpes.....	48
Tableau 13.	Résultats du plan central composite à trois facteurs.....	50
Tableau 14.	Couple (Hydratation, BO) de vérification après optimisation par MSR de crêpes sans gluten de la FRF	55
Tableau 15.	Résultats de vérification après optimisation.....	60
Tableau 16.	Les indices de consistances (k) et d'écoulement (n) de nos optima de crêpes de la FRF en fonction des taux hydratation- blanc d'œufs.....	59

Introduction

INTRODUCTION

La maladie cœliaque est une maladie auto-immune induite par l'ingestion de gluten, complexe protéique présent dans le blé, l'orge et le seigle (SCHMITZ, 2007 ; THOMPSON, 2008). Elle se produit chez des individus génétiquement prédisposés. La fraction protéique toxique est la gliadine (extrait alcoolique des prolamines du blé), appelée aussi sécaline dans le cas du seigle, hordénine pour l'orge et avénine pour l'avoine. Elles sont responsables d'une atrophie totale ou subtotale des villosités intestinales conduisant à une malabsorption de nombreux éléments nutritifs entraînant par un retard de croissance chez les enfants et un risque d'ostéoporose chez les adultes. Son traitement est diététique et consiste à suivre un régime sans gluten (DENERY-PAPINI *et al.*, 2001 ; CEGARRA M., 2006 ; SCHMITZ J., 2007).

En Algérie, peu de données sont disponibles sur la fréquence de cette maladie. Les statistiques dont on dispose montrent des prévalences d'environ 1.09‰ chez les enfants de 15 ans dans l'Ouest Algérien (ville d'Oran) (BOUDRAA *et al.*, 2008), d'au moins 1.33‰ sur trois villes de l'Est Algérien (Guelma, Mila et Khenchla) (BENATALLAH, 2009) et de 0.97‰ dans la ville de Constantine (BOUASLA, 2011). Par ailleurs, un manque dans la disponibilité et la diversité d'aliments de consommation courante exempte de gluten a été noté. Cependant ce dernier présent dans de nombreuses préparations alimentaires algériennes, rend le suivi du régime sans gluten astreignant et pouvant favoriser la marginalisation de ces malades de la société (BENATALLAH, 2009).

Dans le cadre de cette thématique, plusieurs essais de formulation d'aliments pour malades cœliaques algériens ont fait l'objet de recherche de l'équipe T.E.P.A. (Transformation et Elaboration de Produits Agro-alimentaires) du Laboratoire de recherche en Nutrition et Technologie Alimentaire (L.N.T.A.) de l'I.N.A.T.A.A. l'étude de la faisabilité technologique de ces produits a été envisagée pour divers aliments sans gluten imitant ceux à base de blé tel que les farines biscuits, les pâtes laminées et le pain.

Dans le but de contribuer à l'amélioration de la situation alimentaire des malades cœliaques algériens, voire leur état de santé et de diversifier leur alimentation, cette étude vise la formulation et la fabrication de pâtes liquides sans gluten types crêpes algériennes, qui d'après l'enquête menée par BENATALLAH (2009), seraient classées en troisième position après le pain et les couscous par rapport aux souhaits des malades. Dans le souci de présenter un aliment diététique qui répond aux besoins des consommateurs cœliaques algériens, nous

visons à optimiser dans cette investigation une formule à base de riz et de fève. Le riz se distinguant par ses propriétés hypoallergéniques, son pouvoir énergétique élevé et sa forte digestibilité (GUJRAL *et al.*, 2003). La fève est envisagée en vue de rehausser la valeur nutritionnelle des crêpes sans gluten fabriquées. D'un point de vue nutritionnel, la Formule Riz-Fève (FRF) proposée est basée sur les avantages connus de la supplémentation céréales-légumes secs (FAO, 1982 ; STRIGLER, 2011).

En outre l'appréciation de l'aptitude d'une pâte à la transformation, nécessite l'utilisation des méthodes empiriques permettant l'étude du comportement rhéologique et technologique de celle-ci. En effet, d'après KATENIoudaki *et al.*, (2010), les propriétés rhéologiques sont des paramètres importants pour la description du comportement de la pâte au cours du processus de sa préparation ainsi que la prédiction de la qualité du produit fini.

Pour atteindre notre objectif, nous avons procédé de la manière suivante:

1. Caractérisation physico-chimique des matières premières ;
2. Choix et établissement du diagramme de fabrication ;
3. Choix des variables et utilisation de la méthodologie des surfaces de réponses pour l'optimisation des résultats ;
4. Formulation et fabrication des crêpes sans gluten avec du riz et de la fève ;
5. Etude du comportement rhéologique et l'aptitude culinaire des pâtes liquides formulées ;
6. Caractérisation sensorielle des optima ;

Etude bibliographique

I. CEREALES

I.1. BLE DUR

I.1.1. Du blé dur à la semoule

Le blé dur (*Triticum durum*) est une monocotylédone qui appartient à la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (figure 01) (ŠRAMKOVA *et al.*, 2009). L'amande donne des semoules après broyage, aux cours duquel le son et le germe sont éliminés (ROUDAUT et LEFRANCQ, 2005).

Le blé dur est utilisé dans le roulage de couscous, la fabrication de galette, de certains pains traditionnels et des pâtes alimentaires. Il est alors pastifiable et panifiable (CALVEL, 1984).

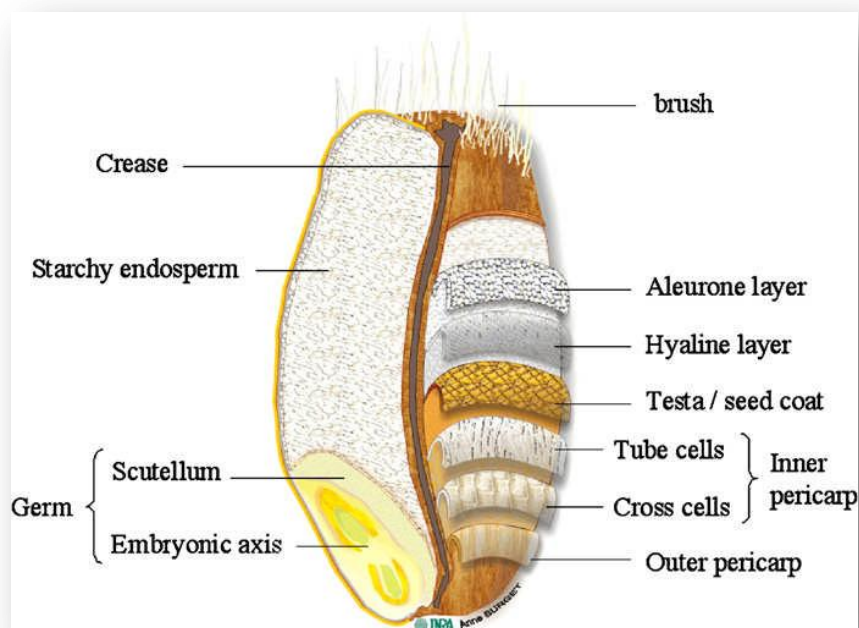


Figure 01. Composition histologique du grain de blé (SURGET et BARRON, 2005).

I.1.2. Classification des semoules

Selon la FAO (1995), les semoules de blé dur sont d'une granulométrie supérieure ou égale à 212 μm . Les semoules sont classées en fonction de leur provenance au niveau du grain de blé dur et de leur granulométrie (ABECASSIS, 1991 ; JEANTET, 2007) :

▪ **La semoule supérieure** : Elle provient de la partie centrale de l'amande du grain de blé dur et a un faible taux de matières minérales. Elle sert à fabriquer les pâtes alimentaires dites "*supérieures*".

▪ **La semoule courante** : Elle contient plus de parties périphériques et a un plus fort taux de matières minérales. Elle sert à la fabrication de pâtes dites "*courantes*".

D'autres types de semoules dont la granulométrie est comprise entre 1120 et 1250 μm existent dans le commerce. Dans le tableau 01, sont données les principales semoules fabriquées en Algérie et en France en fonction de leur granulométrie.

Tableau 01. Principaux types de semoules fabriquées en Algérie (BENBELKACEM *et al.*, 1995) et en France (ABECASSIS, 1991)

Type de semoule	Granulométrie	Utilisations
<i>En Algérie</i> :(BENBELKACEM <i>et al.</i> , 1995)		
Semoule Extra (SE)	90% de refus au tamis N° 120	Fabrication de pâtes alimentaires industrielles
Semoule Moyenne (SM)	90% de refus au tamis N° 100	Fabrication de couscous, galette, biscuits, crêpes et de couscous industriel de type moyen
Semoule Grosse (SG)	50% de refus au tamis N° 40 et N°30	Fabrication de gros couscous
<i>En France</i> : (ABECASSIS, 1991)		
3SE	180-500 μm	Fabrication de pâtes alimentaires de qualité supérieure
3SF	140-250 μm	Fabrication de pâtes alimentaires de qualité courante
MG	1120-1600 μm	} Semoules vendues en l'état
3SG	710-1120 μm	
4S	450-710 μm	
5S	250-710 μm	

I.1.3. Rôle des constituants majeurs de la semoule

La semoule de blé dur est un composé complexe. Elle comporte différents constituants (protéines, lipides, sucres,...) qui jouent un rôle direct ou indirect dans la fabrication de différentes pâtes alimentaires (SOUCI *et al.* 1994).

Tableau 02. Composition biochimique en g pour 100 g de semoule de blé dur (SOUCI *et al.*, 1994)

Constituants	Semoule (SOUCI 1994, FAVIER <i>et al.</i> 1995)
Eau	13,1
Protéines	9,56 – 12,6
Amidon	68,96 – 70,4
Polysaccharides non amylicés	3,9
Lipides	0,79 – 3,8

La semoule de blé dur est considérée comme le témoin auquel sont comparées les autres matières premières. Elle est reconnue comme le substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, pâtes alimentaires, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, due essentiellement à sa dureté, sa couleur unique, sa flaveur et sa qualité de cuisson (GODON *et al.*, 1991 ; FEILLET *et al.*, 1996 ; PETITOT, 2009). Après conversion en pâte, elle donne des produits avec de bonnes qualités culinaires et une stabilité à la cuisson (SISSONS, 2008).

I.1.3.1. Les protéines

Dans le blé, on distingue deux types de protéines, celles de structure (albumines 9 à 13%, globulines 6 à 8%) et celles de réserve (gluténines 40 à 50%, gliadines 30 à 40%) (BLOKSMA, 1990) :

- *Les gliadines* sont des protéines monomériques associées par des liaisons hydrogène et des interactions hydrophobes.

- **Les gluténines** sont des agrégats de monomères de haut poids moléculaire, liés par des liaisons hydrogène, des interactions hydrophobes et des ponts disulfures intermoléculaires.

Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (BLOKSMA, 1990). Très extensibles quand elles sont hydratées, les gliadines (qui posséderaient des propriétés plastifiantes) confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité. La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés très particulières des gluténines pour maintenir les granules d'amidons gélatinisés emprisonnés au cours de la cuisson (WRIGLEY *et al.*, 2006).

Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent au cours de la pastification, de former un réseau tridimensionnel imperméable. La quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (FEILLET et DEXTER, 1996 ; FEILLET, 2000) et de la texture de la pâte (SISSONS *et al.*, 2007).

I.1.3.2. Les glucides

A. L'amidon

L'amidon est le principal polysaccharide de céréales. L'amande ou albumen amylicé (82 à 85% du grain) se compose essentiellement d'amidon (63 à 72%) et de protéines (7 à 15%) (ADRIAN, 1994).

L'amidon constitue une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la croissance et la multiplication des levures. C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau, l'amidon absorbe environ 45 % de l'eau ajoutée à la semoule. Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules, et sa capacité à former des liaisons non covalentes avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte (FEILLET, 2000).

L'amidon est constitué de deux fractions glucidiques (98 à 99%) et l'autre non glucidique mineure (<1%) (COLONNA *et al.*, 1995). Cette dernière se compose essentiellement de lipides, de protéines et de phosphore (LIN et CZUCHAJOWSKA, 1998). Bien qu'elle présente en minorité, ces composés influent directement sur les

propriétés physico-chimiques des amidons (ELIASSON et GUDMUNDSSON, 1996). La fraction glucidique est constituée de deux polymères de structures différentes, l'amylose et l'amylopectine (figure 02) (ALAIS et LINDEN, 1997) :

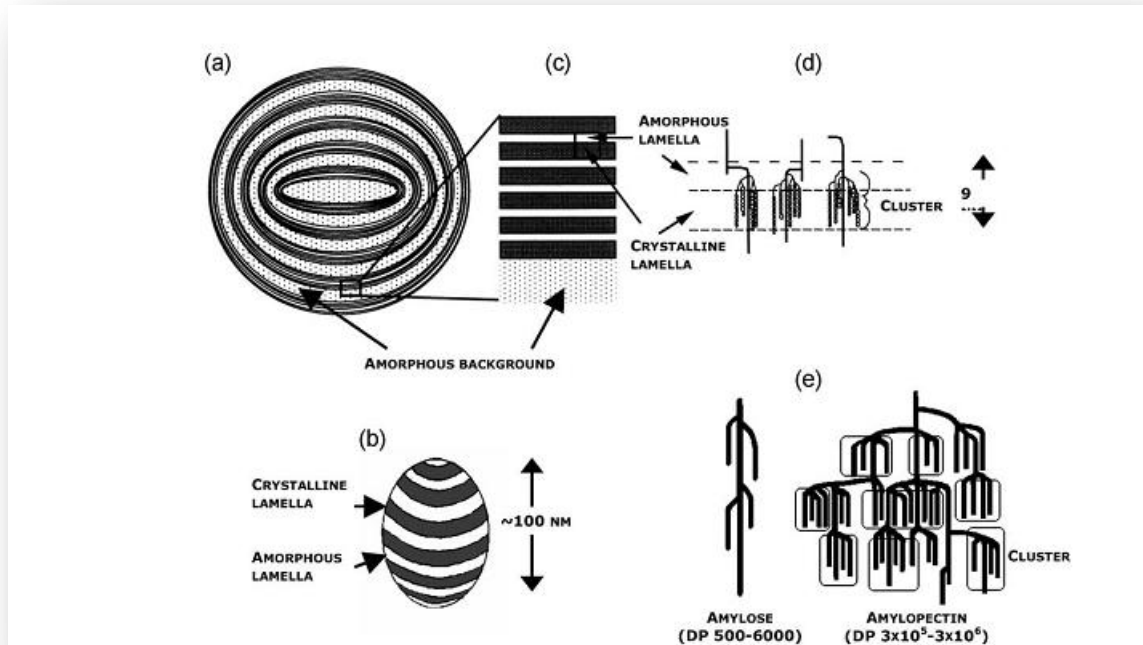


Figure 02. Schéma des différents niveaux structurels du grain de l'amidon (DONALD *et al.*, 1997).

- **L'amylose**

L'amylose est une macromolécule linéaire constituée de D-anhydroglucopyranose reliés par des liaisons α -D-(1→4), répartis en plusieurs chaînes. L'une des extrémités de la chaîne porte un groupement pseudoaldéhydrique réducteur (ALAIS et LINDEN, 1997). A l'intérieur du grain d'amidon, l'amylose se présente de façon désordonnée contrairement à l'amylopectine qui est à l'origine de l'état cristallin (FRENCH, 1984 ; HERMANSSON et SVEGMARK, 1996).

- **L'amylopectine**

C'est un homopolymère ramifié composé d'environ 10⁶ unités de glucose par molécule (LEHNINGER, 1977). Sa structure arborescente est obtenue par l'association de résidus de D-anhydroglucopyranose reliés entre eux par une liaison α -(1→4) en chaîne linéaire. Sur celles-ci, d'autres chaînes linéaires sont greffées par des liaisons α -(1→6) (BORNET *et al.*, 1991).

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

B. Pentosanes

Ce sont les molécules les plus hydrophiles de la pâte. Ils agissent par leur capacité de fixation d'eau, leurs propriétés viscosifiantes, tensioactives et leur aptitude à réagir avec d'autres constituants de la pâte, en particulier les protéines (FEILLET, 2000).

Les pentosanes sont souvent appelés gommés ou mucilages. Ils possèdent des propriétés épaississantes et contribuent également à donner des gels assez résistants. Les caractéristiques visqueuses de ces gels interviennent sur la tenue, l'extensibilité et l'aptitude au développement des pâtes en stabilisant les alvéoles gazeuses (JEANTET *et al.*, 2007). Ils limitent la diffusion du CO₂ en augmentant la viscosité du film liquide qui tapisse les alvéoles. Plus la pâte est visqueuse et plus l'incorporation des gaz y est difficile (FEILLET, 2000).

I.I.3.3. Les lipides

Ils sont essentiellement localisés dans le germe de blés. Selon FEILLET (2000), SRIVASTAVA *et al.* (2007) et KUMAR *et al.* (2011), ce dernier est riche en lipides, en protéines, en vitamines et en éléments minéraux. Celui-ci représente environ 3% du grain. Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et permettre d'augmenter la durée de conservation.

Les lipides représentent environ 3,8% de la matière sèche de la semoule de blé. En fonction de leur solubilité dans différents solvants, on distingue les lipides libres et les lipides liés (MAC RITCHIE et GRAS, 1973 ; CHUNG *et al.*, 1975 ; OUNANE *et al.*, 2006).

Les lipides constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte. Cette dernière est due à l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxgénases principalement au cours de l'hydratation et du malaxage (SISSONS, 2008). Les lipides

libres (lipides apolaires) agissent principalement sur la viscosité des pâtes et sur leur temps de relaxation, Ils affectent peu l'élasticité. Ce sont de très bons agents moussants (FEILLET, 2000).

Les lipides polaires (lipides liés) (glycolipides et phospholipides) jouent le rôle d'agents lubrifiant et tensioactif en association avec le gluten et l'amidon par des liaisons hydrogènes créées lors du pétrissage. L'ensemble sous forme de réseau, serait responsable de l'extensibilité et de l'élasticité de la pâte (VIERLING, 2003). Ils stabilisent les alvéoles gazeuses de la pâte et améliorent le volume du produit (FEILLET, 2000).

I.2. Riz

I.2.1. Classification du riz

Le grain de riz (*Oryza sativa*) est plus petit que celui du blé. Il est latéralement aplati, présente un petit point à la partie finale du germe et ne comporte pas de sillon (JULIANO, 1994). Il a une amande dure et vitreuse (GODON et WILLM, 1991).

Il existe deux classifications pour le riz. La première selon la longueur du grain et la deuxième en fonction du rapport longueur/largeur (JULIANO, 1994).

Tableau 03. Classification du riz selon sa longueur et le rapport longueur/largeur (JULIANO, 1994)

	Classification du riz selon sa longueur (mm)	Classification du riz selon longueur/largeur
Extra long	> 7,5	-
Long	]6,61-7,50]	≥ 3,1
Moyen	]5,51 -6,61]	[2,1 – 3]
Court	< 5,50	≤ 2

Selon JULIANO (1994) et LE GOFF (1997), les grains de riz sont classés en fonction des traitements effectués sur les enveloppes en :

- *Le riz paddy* : C'est un riz qui n'a subi aucune opération technologique après sa récolte ;
- *Le riz cargo* : C'est un riz paddy débarrassé de ses balles plus ou moins adhérentes ;
- *Le riz blanchi* : Le riz *cargo* est transformé en riz blanc après enlèvement de la pellicule jaune-brun qui adhère fortement au grain. Il est aussi appelé riz *usiné*.

I.2.2. Rôle des constituants majeurs

Le tableau 04 présente la composition biochimique du riz blanchi cru.

Tableau 04. Principaux constituants biochimiques de riz blanchi en g pour 100 g de matière sèche (VIERLING, 2008)

Nutriments	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Minéraux
Teneur en g / 100 g de matière sèche	6,3-7,1	0,3-0,5	77-89	0,2-0,5	0,3-0,8

De toutes les céréales c'est le riz qui a la teneur la plus faible en protéines avec la meilleure digestibilité cela étant probablement dû en partie à sa faible teneur en fibres alimentaires et en tanin. Néanmoins, la teneur en lysine des protéines du riz varie de 3,5 à 4%, soit l'une des plus élevées parmi les protéines céréalières (JULIANO, 1985 ; IRRI, 1991). Il est principalement consommé sous forme de grain blanc, mais dans la dernière décennie, il apparaît comme ingrédient dans la composition de plusieurs aliments (JULIANO, 1994).

Les carbohydrates sont les composants les plus abondants dans le riz, avec approximativement [77-89] %. L'amidon du riz est considéré non allergique à cause de la présence des protéines hypoallergique. Il est plus facile à digérer par les intestins fragiles que celui du blé, de pomme de terre ou de maïs (KIGER et KIGER, 1967 ; HO et YIP, 2001 ; TAVAREZ *et al.*, 1991). Il est recommandé aux malades présentant une fragilité intestinale (KIGER et KIGER, 1967 ; GODON et WILLM, 1991).

Les lipides présentent la fraction mineure [0,3-0,5] %, mais ils contribuent aux caractéristiques nutritionnelles, sensorielles et fonctionnelles, comme ils forment des complexes avec les chaînes d'amylose.

Généralement la composition chimique de la farine du riz est similaire à celle de la graine. Elle est obtenue après la mouture sèche des grains et utilisée pour la panification, la fabrication d'aliments infantiles, et des produits de la cuisson-extrusion. Elle est considérablement employée pour les préparations des produits destinés aux malades cœliaques (ROSELL et MARCO, 2008). C'est la farine la plus appropriée des grains de céréale pour la production des produits sans gluten dus à son goût doux, sa couleur blanche, sa digestibilité, et propriétés hypoallergéniques. Cependant, malgré les nombreux avantages, ses protéines ont des propriétés fonctionnelles relativement faibles pour la transformation en produits alimentaires. En raison de leur nature hydrophobe, les protéines insolubles de riz ne peuvent pas former une pâte viscoélastique nécessaire pour retenir le dioxyde de carbone produit pendant la fermentation, menant à un produit avec un volume spécifique inférieur (ROSELL et MARCO, 2008). Le riz complète les légumineuses en composition en acides aminés pour des régimes humains (JULIANO, 1994).

II. LEGUMES SECS : LA FEVEROLE

II.1. Classification

La fève (*Vicia faba L.*), est une légumineuse appartenant à la famille des Papilionaceae (KAYSI et MELCION, 1992). Elle appartient à la variété *minor* dite aussi *equina*. Le moyen Orient, surtout l'Égypte et le Maghreb en sont de gros consommateurs (BOYDELDIEU, 1991).

II.2. Propriétés physico-chimiques

D'après CARIP (2009), Les légumes secs sont des aliments très intéressants du point de vue nutritionnel, ils sont riches en glucides complexes, en protéines, en sels minéraux, en vitamines et en fibres. Le tableau 05 présente la composition biochimique de la farine de la féverole.

Tableau 05. Principaux composants biochimiques de féverole en g pour 100 g de matière sèche (CUQ et LEYNOUD-ROUAUD, 1992 ; BOUTIN et DRONNE, 2008)

Nutriment	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Minéraux
Teneur en g / 100 g de matière sèche	27-33	1,5-2	48,9-56,9	10	4,5

Les légumes secs ainsi que la fève, sont une source de protéines végétales de bonne valeur biologique. Selon FREDOT (2005), elles peuvent être divisées en : globulines (60%), en albumines (25%), en prolamines et des formes azotées non protéiques (15%). Elles sont riches en lysine mais déficientes en acides aminés soufrés

L'amidon des légumes secs a un faible index glycémique (glucides complexes et présence d'anti-amylase). Ceci leur confère un intérêt non négligeable dans le contrôle du poids et de la glycémie chez les diabétiques (diabète II) (VENN and MANN 2004 ; NESTEL *et al.*, 2004).

Les légumes secs sont des aliments pauvres en lipides avec pour la plus part une teneur inférieure à 3% (PROLEA, 2007).

D'après FREDOT (2005), les 2/3 des fibres des légumes secs sont dures et insolubles dans l'eau. Elles sont représentées par l'hémicellulose, la cellulose et la lignine. Elles jouent le rôle d'un régulateur du transit intestinal et préviendraient du cancer du côlon. Elles auraient un effet hypocholestérolémique (augmentent le catabolisme du cholestérol en freinant l'absorption des sels biliaires) et préviendraient également les maladies cardiovasculaires (MOLINIER, 2007).

La fève est riche en vitamines du groupe B et présente des quantités intéressantes en potassium, en fer et en magnésium (VIERLING, 2008) et contient également du zinc et du cuivre (QA International Collectif, 1996).

III. COMPLEMENTATION CEREALES – LEGUMES SECS

Le but de la supplémentation ou de la complémentation est d'augmenter au moins la quantité de protéines assimilables à 20% (CHEGRANI-CONAN, 2007).

Il est bien connu que les protéines végétales soient une alternative aux protéines de sources animales pour la nutrition humaine (ABOU ARAB *et al.*, 2010). Les grains de légumineuses constituent une part importante du régime humain dans les pays en voie de développement dans des endroits tropicaux et subtropicaux, où leur cotisation alimentaire est d'une haute importance car un grand segment des populations dans ces endroits ont un accès limité à la nourriture d'origine animale (RIBEIRO et MELO, 1990).

Les légumineuses ont une faible teneur en acides aminés soufrés. En revanche, ce sont de bonnes sources de lysines, complétant ainsi utilement les céréales où cet acide

aminé représente le facteur limitant. Les légumineuses confèrent aux céréales de nouvelles saveur et textures (FAO, 1982 ; VIERLING, 2008).

VI. PATES LIQUIDES : LES CREPES

VI.1 Classification

FEILLET (2000) a classé les crêpes dans la catégorie des pains plats fermentés à simple couche (Figure3). Ceux-ci sont préparés à partir d'une pâte liquide. Ils sont très populaires en inde, en Afrique du nord et en Amérique latine (tortilla de blé ou de maïs). Les formules de fabrication contiennent de la farine, de l'eau, du sel et de la levure sèche. Les sucres et les corps gras en sont généralement absents. Les procédés de fabrication mettent en œuvre les opérations de pétrissage, de fermentation et de cuisson sur une plaque chauffante.

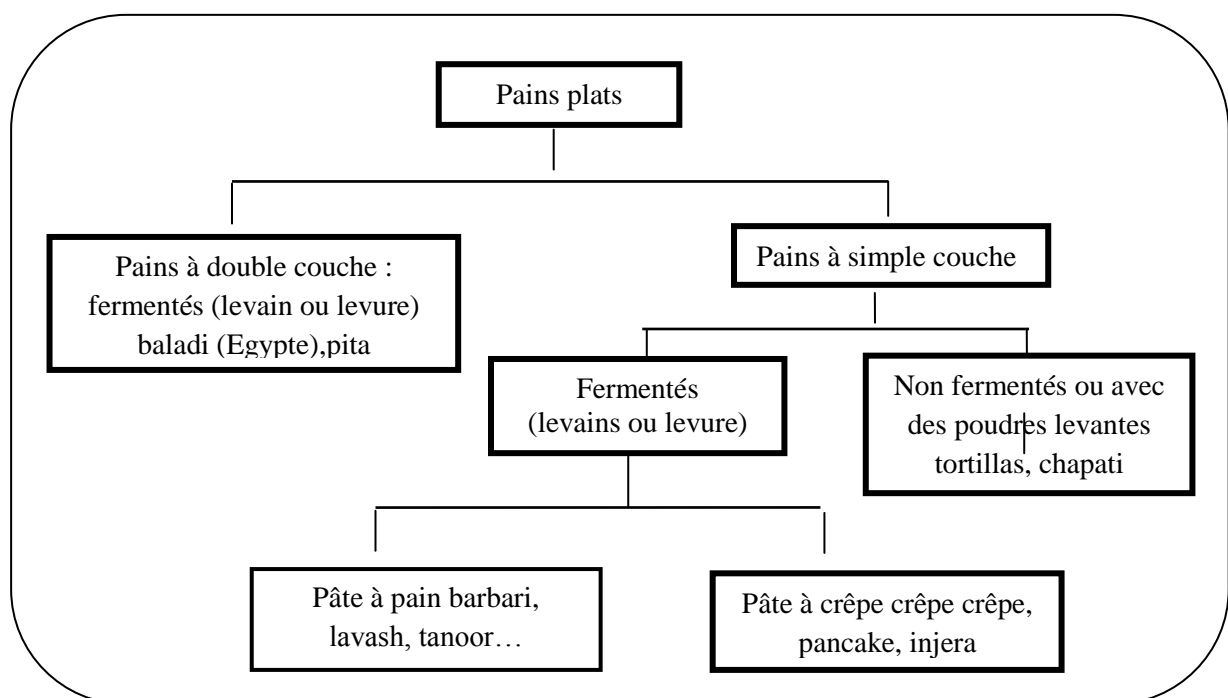


Figure 03. Classification des pains plats (FEILLET, 2000)

VI.2. Définition

Les crêpes sont de forme ronde et plate, avec une multitude de petites alvéoles, de couleur jaune, de texture légèrement croustillante sur les bords et molle au milieu, faites d'une mince couche de pâte battue-poussé à structure plus ou moins liquide.

VI.3. Les crêpes à travers le monde

Le terme « crêpes » désigne de nombreuses préparations traditionnellement cuisinées dans d'autres pays du monde (GOCMEN *et al.*, 2009):

- La *filloa* en Espagne, la *pannenkoek* aux Pays-Bas et en Belgique, le *blini* en Europe de l'Est, le *pancake* en Amérique du Nord : à base de farine de blé, La *msemmen* au Maroc, la *palacsinta* en Hongrie,
- Le *blini* en Ukraine, la *galette* au Québec: à base de farine de sarrasin ;
- La *tortilla* en Amérique centrale et au Mexique à base de farine de maïs ;
- La *piadina* en Italie à base de farine de froment ;
- Le *dosa* en Inde, la *farinata* en Italie et la *fainà* en Argentine à base de farine de pois chiche ou de lentille;
- Le *baghrir* dans le Maghreb arabe à base de semoule de blé dur ;
- l'*injera* en Érythrée et en Éthiopie à base de teff (STEINKRAUS, 1996).

VI.4. Les crêpes algériennes

Les crêpes consommées en Algérie sont en fait un produit de fabrication familiale préparées et consommées dans les occasions, les fêtes, dans les succès ou les naissances (NAMOUNE *et al.*, 2003). Plusieurs noms sont donnés à ce genre de préparation selon les régions baghrir, ghraïf, Korsa... etc. Ce produit algérien de fabrication traditionnelle n'est pas bien connu du point de vue scientifique.

VI.5. Fabrication des crêpes

De façon globale, les crêpes sont fabriquées à partir de semoule de blé, de sel, de levure boulangère et d'eau. D'autres ingrédients peuvent être utilisés : farine de blé tendre, lait, œufs et l'huile. L'addition des œufs engendre une augmentation du nombre volume d'alvéoles/cm² et une baisse de la masse volumique donnant ainsi des produits plus légers et plus tendres (HAMZA, 2003).

Il existe plusieurs modes de préparation des crêpes algériennes. D'après NAMOUNE *et al.*, (2003) le diagramme de fabrication le plus utilisé par les ménages algériens comprend deux étapes de pétrissages, alternés de deux fermentations suivis d'une cuisson sur un Tadjine à surface lisse (figure 04).

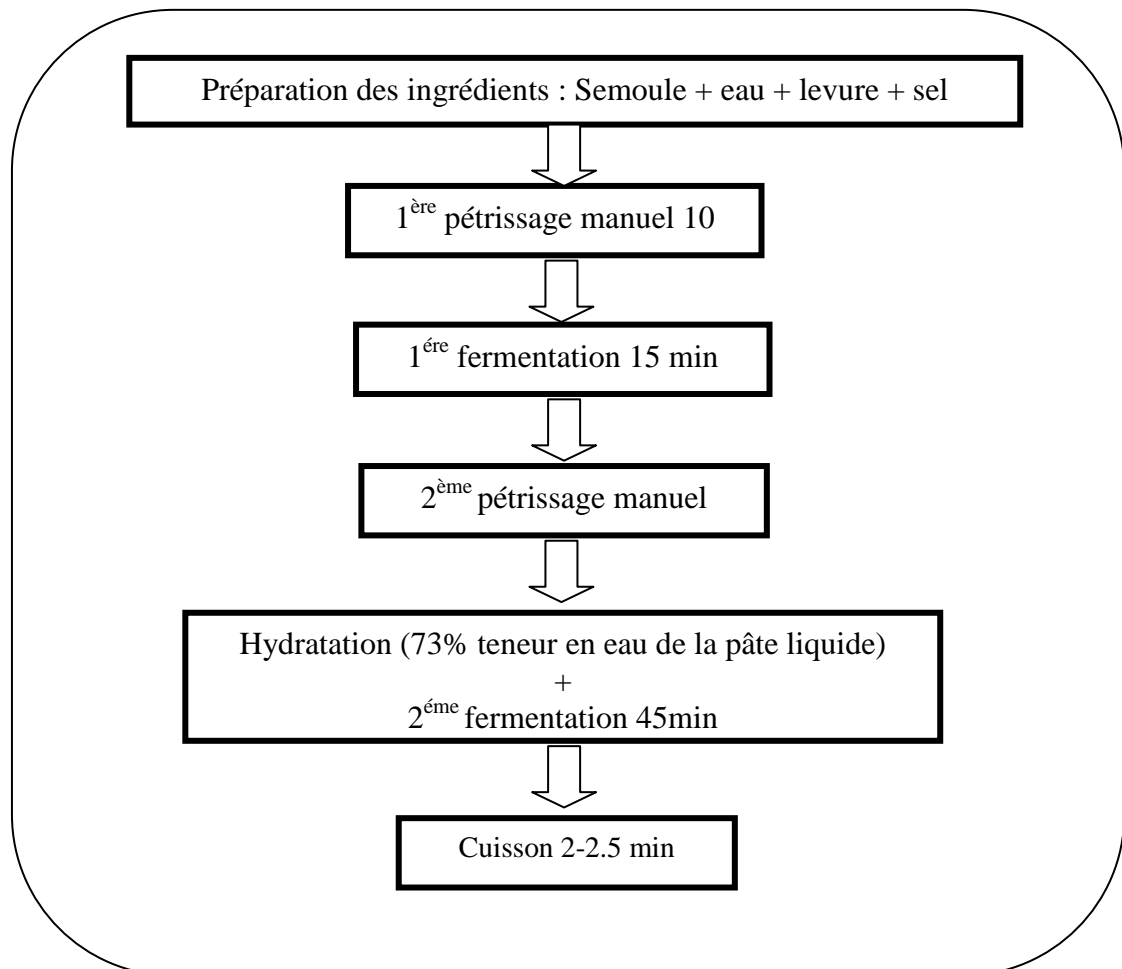


Figure 04 : Diagramme de fabrication des crêpes algériennes (NAMOUNE, *et al.*, 2003)

VI.5.1. Pétrissage

Durant cette opération, un ensemble complexe de transformations biochimiques et physiques a lieu suite à l'application de forces mécaniques (LEVAVASSEUR, 2007).

Selon DELACHARLERIE *et al.*, (2008), le pétrissage assure trois fonctions concomitantes et intimement liées qui sont essentielles pour l'obtention d'une pâte bien aérée :

- **L'homogénéisation** : le pétrissage permet de répartir d'une manière homogène les constituants de la pâte, favorisant ainsi leur contact avec l'eau et donc leur hydratation (ROUSSEL et CHIRON, 2002).
- **L'aération de la pâte** : Au cours du pétrissage, les particules de la semoule s'hydratent. De l'air est incorporé dans la pâte, une partie se dissout dans la phase aqueuse de celle-ci et l'autre se rassemble au sein de microbulles gazeuses, qui se répartissent de manière aléatoire au sein de la pâte en formation et constituent les noyaux des futures alvéoles du produit fini (FEILLET, 2000).

• **Structuration du réseau protéique** : Pendant le pétrissage, les acides aminés soufrés s'oxydent et entraînent la création des ponts disulfures (S-S) intra et inter moléculaires. La tenue du réseau serait due à des liaisons non covalentes telles que les liaisons hydrogènes, hydrophobes ainsi qu'à des enchevêtrements entre les chaînes (FEILLET, 2000).

Ces trois actions simultanées aboutissent en fin de pétrissage à un *mélange cohésif*. Ce mélange macroscopiquement *homogène* à l'œil nu, apparaît à une plus faible résolution comme une *dispersion de bulles* gazeuses dans une *matrice continue* d'amidon et de protéines gonflées où chacun des constituants participe à la structuration de la pâte (BLOKSMA, 1990). La pâte à crêpes ne doit pas être trop travaillée afin d'éviter de développer l'élasticité du gluten et obtenir des crêpes cartonneuses (BOUSQUET et LAURENT, 2004).

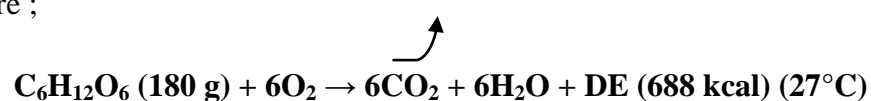
VI.5.2. Fermentation

La fermentation, a pour rôle d'enrichir la pâte en dioxyde de carbone (CO₂) (MONTEL *et al.*, 2005). Elle provoque une perte en matière totale (de l'ordre de 2 à 3%) par transformation des sucres en alcool et en CO₂ accumulé dans le réseau protéique formé principalement de gluten, provoquant la croissance et la coalescence des alvéoles. Elle se traduit par une augmentation du volume de la pâte liquide (CHARGELEGUE *et al.*, 1994).

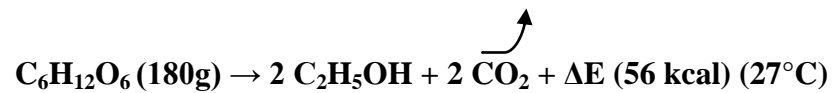
D'après FEILLET (2000), la force fermentaire des levures est influencée par un certain nombre des facteurs tels que : la température, le pH, la teneur en eau, concentrations en sel et en sucres et la dose de la levure utilisée. D'après ROUSSEL et CHIRON (2002), une élévation de la température de la pâte de 1°C entre 20 et 40°C entraîne une augmentation de la vitesse de fermentation de 8 à 12% selon le type de levure.

- **Mécanismes de la fermentation**

Dès la phase de pétrissage, la fermentation débute sous l'action des levures. A partir des glucides libres ou libérés par les amylases de la farine, les levures produisent du CO₂, de l'éthanol et des acides organiques (ROUSSEL et CHIRON, 2002). L'oxygène introduit au cours du pétrissage permet à la levure boulangère d'établir un métabolisme de type respiratoire ;



Peu de temps après la fin du pétrissage, tout l'oxygène introduit est consommé par la levure dont le métabolisme s'oriente alors vers la fermentation alcoolique :



VI.5.3. Cuisson

Au cours de l'étape de la cuisson, une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques se produisent simultanément aboutissant aux crêpes qui résulte de la cuisson d'un produit liquide ou pâteux par contact avec la paroi chaude d'une plaque chauffante à haute température. Ceci contribue à l'expansion du produit, la perte d'eau par évaporation, la formation d'une structure alvéolaire et la dénaturation des protéines, ce qui permet au produit fini « crêpes » de stabiliser sa forme. La réaction de Maillard (brunissement non enzymatique) est responsable de la couleur et de l'odeur du produit fini SABLANI *et al.*, (1998). Les modifications de texture générées rendent possible une consommation directe de certains types de pâte (pâtes liquides ou fines sous forme de crêpe) (BIMBENET *et al.*, 2002 ; JEANTET *et al.*, 2007).

VI.6. Critères de qualité des crêpes algérienne

Les critères de qualité sont des facteurs déterminant dans l'acceptation ou le refus des crêpes. La qualité organoleptique des crêpes est liée à certains critères notamment la couleur jaune marron, l'aspect spongieux, ainsi que le nombre d'alvéoles (BENSEDDIK, 2000). Selon NAMOUNE *et al.*, (2003) la qualité des crêpes revient aux dimensions et à la distribution régulière des alvéoles sur le produit.

V. RHEOLOGIE DES PATES LIQUIDES : COMPORTEMENT A L'ECOULEMENT

Les aliments sont des matériaux vivants, subissant constamment des modifications de forme, de taille et de structure. Ils sont essentiellement sensibles à l'humidité, à la température et à l'oxygène. Le produit alimentaire est donc étudié principalement sous des aspects nutritionnels, d'une part, et biochimiques, d'autre part, puisque la majeure partie des transformations qui se déroulent dans l'aliment au cours des opérations technologiques ou de conservation sont des opérations à caractère biochimique. On oublie trop souvent

que le produit alimentaire est aussi un matériau sur lequel il peut être intéressant de mesurer des propriétés mécaniques par des méthodes rhéologiques (WATZKE, 2010).

La rhéologie est la science qui étudie et décrit l'écoulement, la déformation et la rupture des corps sous l'effet d'une contrainte. Ces matériaux peuvent être liquides, solides ou intermédiaires entre les deux états ce sont les pâtes, les émulsions et les mousses (exemple : la pâte à crêpes, la pâte à choux, la mayonnaise, le concentré de tomate, les purées, les soupes, les crèmes...) (ROUDAUT et LEFRANCQ, 2005) ou des matériaux pulvérulents. La mesure des propriétés rhéologiques des produits alimentaires permet de prévoir leur comportement mécanique au cours des différentes étapes de l'élaboration de l'aliment (SCHER, 2006).

V.1. Les fluides Newtoniens

Appelés aussi liquides parfaits ou liquides linéaires. Quand ces derniers sont soumis à une force de cisaillement, ils s'écoulent et se déforment à une vitesse qui croît en même temps que la force de cisaillement, donc leur viscosité est indépendante de la contrainte appliquée (COUARRAZE et GROSSIROS 1991). Leur courbe d'écoulement (figure 05) donnée par la contrainte de cisaillement (τ) en fonction de la vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$) est une droite passant par l'origine, de pente η , qui représente la viscosité absolue. Cette dernière est constante pour ce type de fluides (COUARRAZE et GROSSIROS, 1991).

L'équation rhéologique d'état des liquides newtoniens est :

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

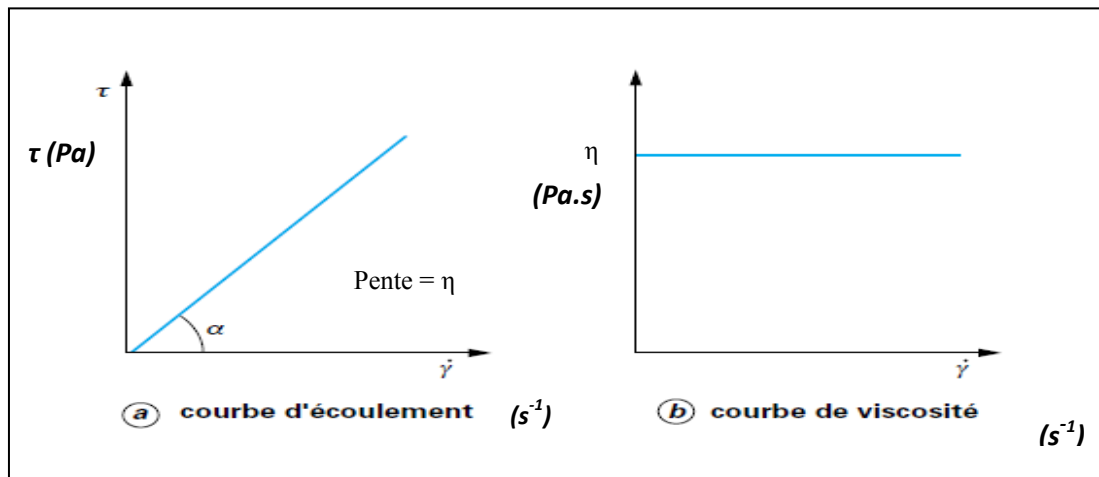


Figure 05. Courbes d'écoulement et de viscosité d'un liquide Newtonien (SCHER, 2006)
 (τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, η : viscosité absolue)

Toutefois, rares sont les matériaux alimentaires et les produits qui se comportent comme des liquides ou matériau newtoniens (WATZKE, 2010).

V.2. Les fluides non Newtoniens

Pour ces liquides, on ne parle plus de viscosité absolue η , mais de viscosité apparente μ (LAUNAY, 1981). On peut les classer ces liquides en plusieurs catégories liées à des comportements rhéologiques différents.

V.2.1. Liquides fluidifiants

Corps fluidifiant, rhéofluidifiant ou pseudoplastique, leur viscosité diminue lorsque le taux de cisaillement augmente (figure 06). Ce type de comportement est le plus fréquent en industries Agro-Alimentaires. Il concerne les dispersions des particules asymétriques (jus de fruits, légumes, etc...), les polymères liquides à longue chaîne (gel d'amidon) (SCHER, 2006)

L'équation la plus utilisée pour modéliser ces liquides est celle donnée par Ostwald-de-Waële (WATZKE, 2010) :

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

Où :

k : indice de consistance

n : indice de comportement de l'écoulement < 1

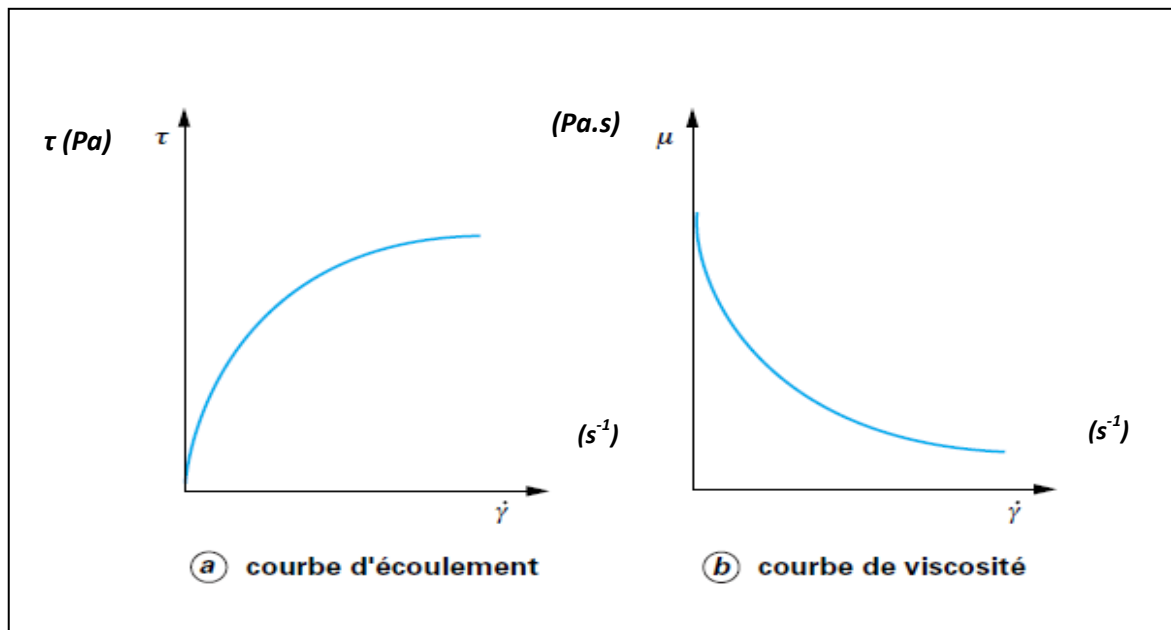


Figure 06. Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide rhéofluidifiant (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, μ : viscosité absolue)

V.2.2. Liquides épaississants

Pour les fluides épaississants, dits également rhéoépaississants, leur viscosité augmente en même temps que le taux de cisaillement (figure 07). Les fluides s'épaississent et se dilatent au cours de leur déformation (COUARRAZE et GROSSIROS 1991). Les fluides ayant un tel comportement sont très rares, on peut citer les gels de certains types d'amidon.

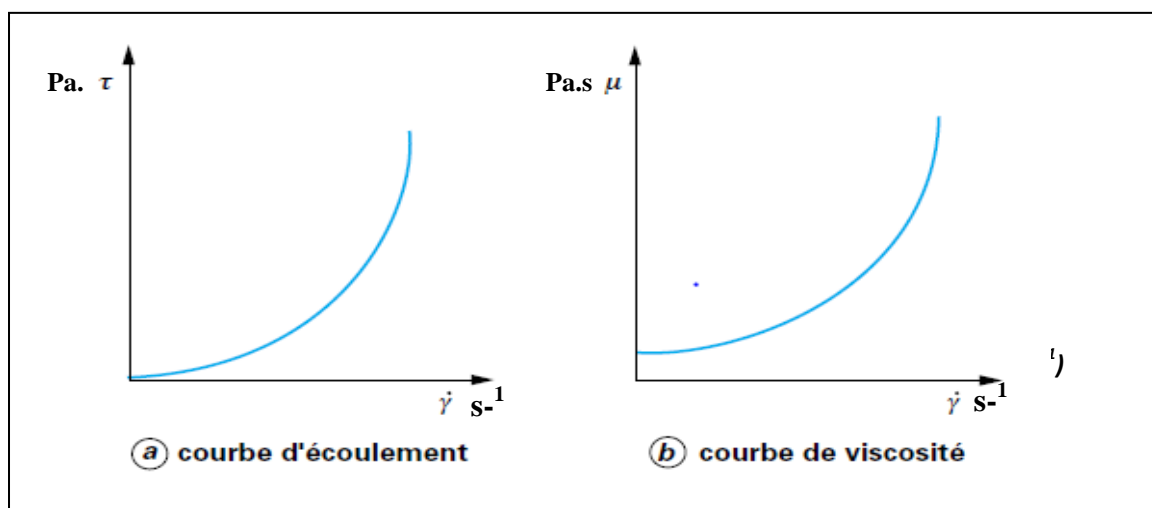


Figure 07. Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide rhéoépaississant (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, μ : viscosité absolue)

V.2.3. Liquides plastiques

Les fluides plastiques sont des fluides qui présentent un seuil d'écoulement une fois soumis aux forces de déformation. D'après SCHER (2006), ce phénomène est souvent appelé « *effet ketchup* ».

Si la force appliquée est inférieure à la force correspondant au seuil d'écoulement, la matière stocke l'énergie de déformation. Autrement dit, elle présente des propriétés *élastiques* et, se comporte comme un solide. Dès que le seuil de plasticité τ_c est dépassé, le liquide peut s'écouler comme un liquide Newtonien (figure 08). On dit alors que c'est un liquide *plastique de Bingham*. Ou bien, il peut s'écouler comme un fluide rhéofluidifiant; dans ce cas, il s'agit d'un liquide *viscoplastique de Casson*. Parmi les fluides plastiques (pseudoplastique), citons la purée de tomates, la pâte à dentifrice, la crème pour les mains, certains ketchups et certaines graisses.

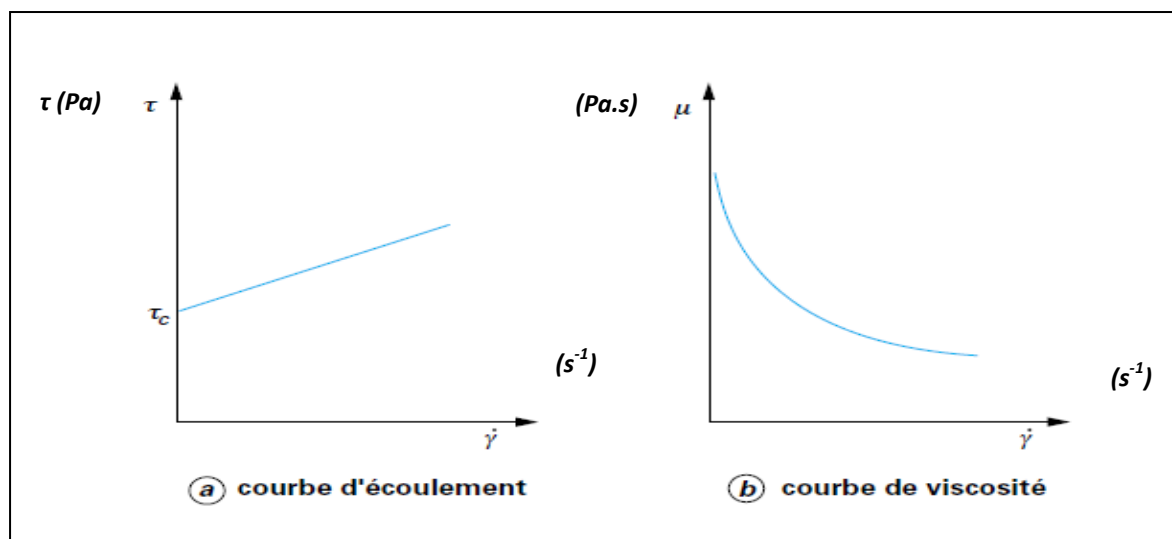


Figure 08. Courbes d'écoulement et de viscosité d'un fluide plastique (fluide de Bingham) (SCHER, 2006) (τ : contrainte de cisaillement, τ_c : seuil de cisaillement $\dot{\gamma}$: vitesse de cisaillement, μ : viscosité absolue)

Matériel et Méthodes

I. MATIERES PREMIERES

I.1. Semoule de blé dur

La semoule de blé dur (*Triticum durum*) est la matière première utilisée pour la fabrication des crêpes traditionnelles algériennes. Elle est considérée comme le témoin auquel sont comparées les autres matières premières.

La semoule utilisée pour la fabrication des crêpes est une semoule moyenne de qualité « Extra supérieure » issue de blé de mélanges. Elle est fabriquée par les Moulins Gerbior –Benhammaddi Lachbour Bordj Bou Arreridj, conditionnée dans un sac en plastique de 25 kg. L'ensemble des essais pour la préparation des crêpes ont été réalisés avec le même sac. Ce dernier était conditionnée dans un endroit sec et à température ambiante durant les essais.

I.2. Ingrédients exempts de gluten

I.2.1. Riz

Du riz long blanchi (*Oriza sativa*), d'origine Indienne de variété *Basmati*, récolté en 2012 a été utilisé. Celui-ci a été acheté du commerce, sous forme de grains dans des sacs de 1 kg.

I.2.2. Fèverole

La fèverole a été achetée du commerce décortiquée, dégermée et conditionnée dans des sachets de 800 g. Elle a été récoltée en 2012 dans la wilaya de Skikda.

I.2.3. Autres ingrédients

La préparation des crêpes traditionnelle dans le cadre de cette étude a nécessité l'emploi des ingrédients suivants :

- **L'eau d'hydratation** : L'eau utilisée dans les essais de fabrication des crêpes est une eau distillée obtenue à partir d'un distillateur de marque SCOTSMAN du laboratoire de Nutrition et Technologie Alimentaire (L.N.T.A.), ayant un pH $6,06 \pm 0,4$
- **Le sel** : Le sel utilisé dans ce travail est un sel fin ordinaire de cuisine iodé du commerce, produit par l'Entreprise Nationale Algérienne du Sel (E.N.A.Sel).

- **La levure boulangère** : Il s'agit de la levure *Saccharomyces cerevisiae* de marque "S. I. Lesaffre France". Elle se présente sous forme lyophilisée en paquet de 250 g.
- **Les œufs** : Les œufs utilisés dans cette investigation sont des ovules non fécondés de poules pondeuses achetés du commerce. Elles appartiennent au calibre large ou gros « L » où leur poids varie entre 63 et 72g (LOPES, 2010). Le blanc est séparé du jaune puis conservé dans un bac en plastique à une température de 4°C.

I.3. Préparation des graines

- **La mouture** : Le riz et la féverole, préalablement triés des impuretés et des débris de cuticules, sont réduits en semoules à l'aide d'un broyeur à meules de marque UMA Rouiba-Algérie de type MG E3.
- **Tamisage** : Cette opération a pour but le fractionnement de broyats de semoule de blé, de riz, et de féverole. Le tamisage est réalisé à l'aide d'une tamiseuse de marque la Retsch GmbH AS200. Les tamis utilisés présentent des ouvertures de mailles de 200 µm et 500 µm. La fraction de la semoule intermédiaire [200 - 500]µm est utilisée dans la fabrication des crêpes traditionnelles (BENBELAKCEM *et al.*, 1995). Les fractions obtenues sont mises dans des sacs en plastiques à température ambiante, dans un endroit frais et sec pour être utilisés.

II. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES MATIERES PREMIERES

II.1. Teneurs en eau

II.1.1. Produits de mouture

- **Principe**

La teneur en eau des semoules étudiées est déterminée selon la norme AFNOR NFV 03-707 de juin 1989 (AFNOR, 1991) par un séchage à 130 et 133 °C d'une prise d'essai de 5 g de la fraction entre 200 et 500µm de la semoule de blé, de riz et de féverole jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

III.1.2. Blanc d'œuf

- **Principe**

La teneur en eau des œufs est déterminée selon AOAC (2002) par une dessiccation de 5g de blanc d'œuf à 100-105 °C jusqu'à poids constant. Cette teneur est mesurée dans le but de connaître la masse d'eau à ajouter au cours de la préparation des pâtes liquides.

- **Mode opératoire**

Le mode opératoire suivant concerne les teneurs en eau des produits de mouture et le blanc d'œufs.

Avec une balance électronique de marque (Kern ABS 220-4N) ayant une précision de 10^{-4} g nous avons pesé $5 \pm 0,0001$ g de matière, bien étalée sur une boîte de Pétri, entreposée sans couvercle dans une étuve de marque MEMMERT avec circulation d'air pendant 2 heures. A la sortie de l'étuve, la boîte de Pétri est mise dans un dessiccateur, qui contient un agent desséchant pour éviter l'absorption de l'humidité de l'air au cours de son refroidissement en vue de réaliser la pesée. L'opération de dessiccation est répétée toutes les 30 minutes jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

- **Expression des résultats**

La teneur en humidité **H** pour 100 g de produit humide est calculée selon la formule suivante :

$$\mathbf{H} = 100 \times \frac{(m_0 - m_s)}{m_0}$$

Où m_0 est la masse de la prise d'essai et m_s est la masse du résidu après dessiccation.

II.2. Cendres totales

Les cendres correspondent au résidu restant après l'incinération de la matière organique dans les aliments (HARBERS, 1998). Elles sont obtenues par différence de pesée de l'échantillon avant et après incinération.

- **Principes**

Pour les semoules de blé et de riz, nous avons adopté la norme AFNOR NFV03-720 de décembre 1981 avec une incinération à 900°C. Quand à la semoule de féverole, nous avons

utilisé la norme AFNOR NFV03-760 de décembre 1981 où l'incinération se fait à 550 °C (AFNOR, 1991).

- **Mode opératoire**

La méthode consiste à réaliser une incinération d'une prise d'essai de $3 \pm 0,001$ g des semoules pendant 3 heures dans un four à moufle de marque Heraeus M110, jusqu'à la combustion totale de la matière organique et l'obtention d'un résidu minéral ayant un poids constant.

- **Expression des résultats**

La teneur en cendres **C** pour 100 g de produit humide est calculée selon la formule suivante:

$$C = 100 \times \frac{(mc)}{m_0}$$

Où : m_0 : Masse de la prise d'essai avant incinération ; mc : Masse du résidu

II.3. Protéines totales

- **Principe**

La teneur en azote total d'une semoule est déterminée selon la norme AFNOR N.F. V03-050 de septembre 1970 (AFNOR, 1991) par la méthode de KJELDAHL. Cette teneur est convertie par la suite en protéines totales en appliquant un facteur de conversion qui est de 6,25 pour la semoule de blé dur (AFNOR, 1991) et de 5,70 pour le riz et la fève (BAR, 1995 ; AFNOR, 1991).

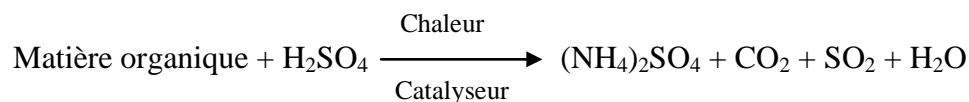
- **Mode opératoire**

Le principe de la méthode consiste en une minéralisation à chaud de 1g de la semoule par l'acide sulfurique concentré. L'azote minéralisé se trouve alors sous forme de sulfate d'ammonium qui sera déplacé par la lessive de soude. L'ammoniac produit est titré par de l'acide sulfurique 0,1 N. Les trois étapes sont les suivantes ;

a. Minéralisation

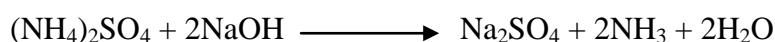
La minéralisation est effectuée pendant 2 heures dans un minéralisateur de marque Gerhardt bonn à l'aide d'un excès d'acide sulfurique H_2SO_4 (96%, $d=1,84$) concentré et chaud ($t^\circ=420^\circ C$), en présence d'un mélange de catalyseurs (sulfate de potassium (K_2SO_4) et sulfate de cuivre ($CuSO_4$)). Elle se poursuit jusqu'à la décoloration complète du contenu des matras. Au cours de cette étape, l'acide sulfurique est partiellement décomposé et réduit en

SO₂ et SO₃ qui forment des fumées blanches irritantes et toxiques. L'azote total est donc obtenu sous la forme minérale NH₄ (ammonium):



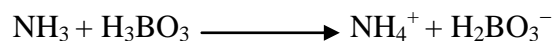
b. Distillation

Pour transformer les ions ammonium (NH₄⁺) du minéralisât en ammoniac (NH₃), on doit l'alcaliniser. Pour cela, on utilise un large excès de base forte, la lessive de soude NaOH à 30%, afin de changer le pH acide en un pH basique. Cette opération est réalisée dans un distillateur de marque Gerhardt Ainsi, le minéralisât est tout d'abord neutralisé puis alcalinisé. On a alors :



Au cours de la distillation, l'ammoniac libéré (NH₃) est entraîné par les vapeurs d'eau, condensé, puis récupéré dans l'acide borique H₃BO₃ (4%) en présence d'un indicateur coloré (rouge de méthyle) (LECOQ, 1965).

L'acide borique va retenir l'ammoniac (NH₃) sous sa forme acide (NH₄⁺), comme suit :



c. Titration

Elle est effectuée aussi rapidement que possible, une fois la distillation terminée en s'assurant que la température du distillat ne dépasse pas 25°C pour éviter les pertes d'ammoniac. L'ammoniac récupéré est titré avec une solution de d'acide sulfurique à 0,1N, jusqu'au virage de la couleur jaune au rose-violet. Cette opération est réalisée manuellement à l'aide d'une burette de titration.

- **Expression des résultats**

La teneur en azote total (**A**) exprimée en g pour 100 g de masse fraîche est égale :

$$\mathbf{A = [N \cdot 14 \cdot D \cdot V / P_0 \cdot 1000] \times 100}$$

Avec :

N : Normalité de l'acide sulfurique titrant ;

14 : Masse d'un atome gramme d'azote ;

D : Coefficient de dilution de l'échantillon ;

V : Volume de l'acide sulfurique utilisé pour la titration (ml) ;

P₀ : Masse de la prise d'essai (g) ;

La teneur en protéines (**P**) est approchée en multipliant la teneur en azote total (**A**) par un facteur de conversion approprié (**K**), qui est qui est de 6,25 pour la semoule de blé dur (AFNOR, 1991) et de 5,70 pour le riz et les légumes secs (BAR, 1995 ; AFNOR, 1991). Le résultat exprimé en g pour 100 g de matière humide est donné par la formule suivante :

$$P = A \times K$$

II.4. Lipides libres

La teneur en lipides libres est déterminée selon la norme AFNOR N.F. V03-713 de février 1984 (AFNOR, 1991), avec l'appareil SOXTEC HT. Il comprend deux compartiments principaux : l'unité d'extraction 1043 et le module thermostat 1044 (bain d'huile).

- **Principe**

Le principe de cette méthode consiste à réaliser une extraction de la matière grasse par un solvant organique "hexane" dans l'unité d'extraction en deux phases. Premièrement, l'échantillon est immergé dans le solvant en ébullition et la plupart des matières solubles sont extraites. En deuxième étape, cet échantillon placé au-dessus du solvant est rincé par ses vapeurs. Après l'extraction, on procède à l'évaporation du solvant puis, sa récupération en balayant le système avec de l'air provenant de module thermostat.

- **Mode opératoire**

Après le remplissage de module thermostat en l'huile appropriée, et le réglage de la température correspondante à celle de l'évaporation de l'hexane (140°C), une prise d'essai de $3 \pm 0,001$ g de l'échantillon est placée dans des cartouches tarées. Ces dernières sont mises dans des nacelles métalliques contenant 50 ml solvant et qui sont préalablement pesées vide. L'ensemble des cartouches et des nacelles sont installées dans l'unité d'extraction. Laisser l'opération d'extraction se dérouler pendant 1 heure du temps, puis, lancer l'étape d'évaporation pendant 30 min. Après rinçage des semoules, et lorsque la presque totalité du solvant est récupérée, libérer les nacelles contenant le résidu lipidique et encore une fois faire leurs pesées.

- **Expression des résultats.**

La teneur en lipides libres (Li) est exprimée en g pour 100g de la masse d'échantillon initiale humide :

$$\text{Li} = (P_1/P_0) \times 100$$

Où : P_0 : Masse de la prise d'essai ; P_1 : Masse du résidu lipidique.

II.5. Glucides totaux

La teneur en glucides totaux (GT) exprimée en gramme pour 100 g de matière sèche est déterminée par soustraction de la somme des teneurs des précédents composants majeurs (cendres, protéines, matières grasses) à partir de 100 g de matière fraîche :

$$\text{GT} = 100 - (\text{C} + \text{P} + \text{Li})$$

Avec :

C : Taux de cendres totales (% de mf) ;

P : Teneur en protéines totales (% de mf) ;

Li : Teneur en lipides libres (% de mf).

Cette quantité comprend essentiellement l'amidon, éventuellement d'autres sucres métabolisables et les glucides assimilables comme les celluloses, les hémicelluloses et autres fibres.

Les résultats finaux (Rf) sont exprimés sur base matière sèche selon la formule suivante:

$$\text{Rf} = K \times [100 / (100 - H)]$$

Où: K est la teneur du produit en (protéines, lipides, cendres, ou glucides) sur base humide; H est la teneur en humidité du produit.

II.6. Distribution Granulométrique des matières premières

D'après FEILLET (2000), la granulométrie est l'étude de la distribution de la taille des particules d'une semoule, cela permet d'apprécier son comportement lors de l'hydratation car la quantité d'eau absorbée ainsi que sa vitesse d'absorption d'eau augmente avec la finesse des particules (COLAS et THARRAULT, 1997).

Cet essai permet la caractérisation des semoules en exprimant selon leur grosseur la répartition des particules qui les composent dans des proportions déterminées. La

granulométrie d'une semoule permet de prévoir son comportement lors de l'hydratation. Les semoules destinées à la préparation des crêpes en se référant au diagramme de fabrication (BENBELAKCEM *et al.*, 1995) sont des semoules à granulométrie moyenne appartenant à l'intervalle [200-500] μm .

- **Principe**

Le tamisage de la semoule du riz et de la féverole a été réalisé à l'aide d'une tamiseuse de laboratoire de marque Retsch AS 200. Son principe consiste à faire passer une quantité donnée d'échantillon au travers d'une batterie de tamis calibrés et normalisés, dont les caractéristiques sont connues, de récupérer et de peser séparément les fractions retenues sur chaque tamis.

- **Mode opératoire**

Un échantillon de 100 g de semoule moyenne est déposé et réparti d'une manière uniforme au sommet d'un empilement de sept tamis d'ouverture de mailles décroissante (500, 225, 200, 150, 125, 100 et 75 μm). Cette tamiseuse est animée d'un mouvement vibratoire oscillatoire automatique, où on va régler l'amplitude de rotation (100 mm) et le temps de tamisage (5 minutes), selon des essais préliminaires donnant un tamisage maximum. Les particules dont les dimensions inférieures aux dimensions des ouvertures traversent facilement les tamis (le passant), alors que les plus grosses sont retenues (le refus). Les refus de chaque tamis et le passant du dernier tamis sont pesés avec une balance analytique *Sartorius* (0,1g).

- **Expression des résultats**

Le refus retenu sur chacun des tamis et le dernier passant sont rapportés à la quantité d'échantillon totale pour déterminer la distribution granulométrique (**DG**) exprimée en (%) ; selon la formule suivante :

$$\text{DG} = 100 \cdot P_1 / P_0$$

Avec :

P₀ : Masse de la prise d'essai (g) ; **P₁** : Masse de la fraction retenue sur chacun des tamis (g).

III. CHOIX DE LA FORMULE RIZ FEVEROLE

La formulation des crêpes est celle envisagée par l'équipe T.E.P.A. (Transformation et Elaboration de Produits Agroalimentaires) du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologies Alimentaires (L.N.T.A.). Il s'agit d'une complémentation céréales-légumineuses secs avec un rapport massique de 2/1 (FAO, 1990), à partir de laquelle nous voulons tester une formule à base du Riz et Fèveole. Le choix de ces matières premières repose sur le fait que le riz est le produit hypoallergénique sans goût utilisé pour les malades cœliaque (ROSELL et MARCO, 2008), et que la fèveole est le légume sec qui d'après BENATALLAH (2009), BOUCHEHAM (2009), GHERAÏRIA (2011), BENKADRI (2010) et BOULEMKAHEL (2014), ont donné les meilleurs résultats.

IV. CHOIX ET ETABLISSEMENT DU DIAGRAMME DE FABRICATION DE CREPES ALGERIENNES

IV.1. Témoin blé dur

Notre témoin crêpe de blé dur est choisi sur la base d'essais préliminaires réalisés dans le laboratoire de recherche L.N.T.A. en collaboration avec des étudiants BENDJAMA et HELAL (2014), Le meilleur témoin obtenu après optimisation est : (Hyd, BO) = (250-50).

IV.2. Délimitation des intervalles

IV.2.1. Le taux d'hydratation

Les crêpes se caractérisent par une pâte liquide (BIMBENET *et al.*, 2002). En effet, une pâte trop ferme ou trop liquide, se comportera différemment au cours de la cuisson n'aboutissant pas à des produits spongieux troués type « crêpes ».

La délimitation des intervalles : a été faite sur la base d'essais préliminaires. Nous sommes partis d'un volume d'eau qui donne une pâte difficile à étaler sur la plaque de cuisson et nous avons augmenté l'incorporation d'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte extrêmement liquide qui ne donnera pas un produit fini réussi. Celles-ci sont les limites que nous avons fixées pour notre intervalle d'hydratation : de 133 à 367 g pour 100g de FRF.

IV.2.2. Teneur en blanc d'œuf

Le blanc d'œuf a été choisi comme améliorant naturel dans la préparation des crêpes sans gluten pour essayer de remplacer le gluten absent dans la FRF. Il a été choisi pour ces propriétés techno fonctionnelles en tant qu'agent moussant emprisonnant l'air (présence des

lysozymes), agent émulsifiant (présence des ovomucines) et viscosifiant (ALAIS *et al.*, 2008). En partant du principe de diversifier l'alimentation des malades cœliaques algériens, nous avons choisi cet ingrédient comme améliorant pour nos crêpes sans gluten car c'est un produit naturel et à la portée de toutes les ménagères.

Les teneurs en blanc d'œuf ont été choisies sur la base d'essais préliminaires en se fixant comme critère pour la limite supérieure l'absence de formation d'alvéole. L'intervalle choisi est [0 – 50]g pour 100 g de FRF.

IV.3. Diagramme de fabrication

Plusieurs diagrammes existent pour la préparation des crêpes traditionnelles (BENGUICEM, 2002 ; BENSEDDIK, 2000 ; HAMZA, 2003 et NAMOUNE *et al.*, 2003) et qui utilisent tous de la semoule de blé dur, du sel, et de la levure boulangère. Par ailleurs nous avons adopté celui cité par BENSEDDIK (2000) et HAMZA (2003), c'est le diagramme le plus simple où il ya utilisation de la mécanisation dans les étapes de préparation des crêpes et ce, dans le but de standardiser notre diagramme avec nos ingrédients de base que nous utilisons (figure 09).

Dans le diagramme que nous avons mis au point, la préparation des crêpes sans gluten consiste à mixer la semoule (100g) avec le sel (2g), la levure (1,6g) et le blanc d'œuf avec l'eau tiède à $40,33 \pm 1,53$ °C est ajoutée, tout en mixant pendant $10,33 \pm 0,58$ °C min. La pâte ainsi formée subit une fermentation pendant 60 min à $40,33 \pm 2,5$ °C cette température est située dans la gamme de tolérance décrite par BOURGEOIS (1989) et VIERLING (2003), puis la cuisson est faite par étalement d'une quantité de la pâte liquide d'une façon homogène sur une surface plane chaude à une température entre (230-250) °C (HAMZA, 2003). La cuisson dure 2 à 2,5 min sur une seule face.

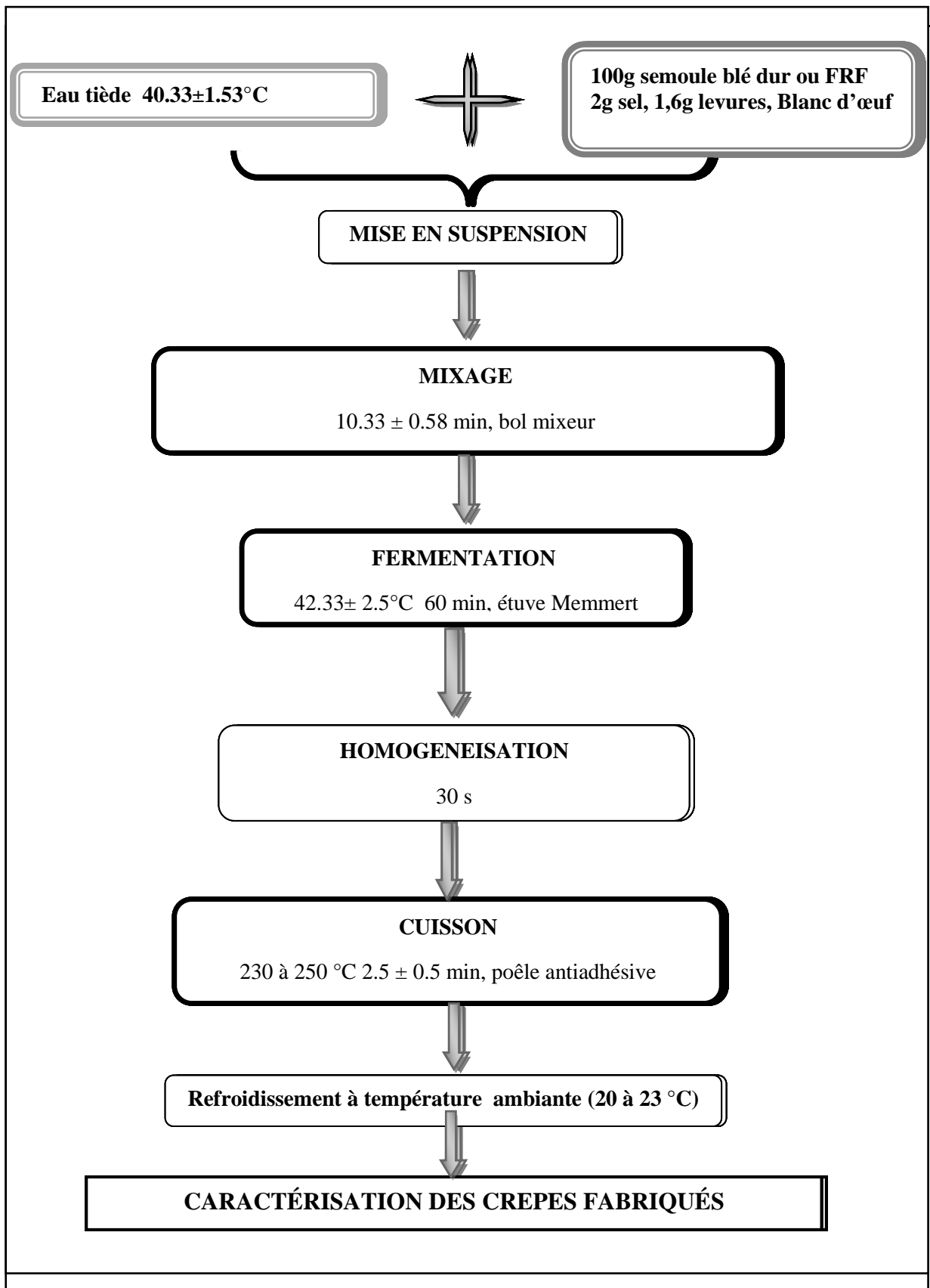


Figure 09. Diagramme de fabrication des crêpes sans gluten à base du Riz-Fèverole mis au point

IV.3.1. Mise en suspension

IV.3.1. Mise en suspension

Les ingrédients sont pesés par une la balance analytique de marque KERN et SOHN. A l'aide d'une éprouvette on mesure le volume d'eau nécessaire pour la préparation de la pâte liquide, après soustraction de la quantité d'eau qui se trouve dans le blanc d'œuf ; cette dernière est chauffée à une température de 40°C. Tous les ingrédients sont versés simultanément dans le bol mixeur du robot. Cette étape a pour but d'assurer que toute la quantité de semoule soit hydratée.



Figure 10. Mise en suspension des ingrédients sans gluten

IV.3.2. Mixage

Le mixage a été effectué dans un robot de marque *Moulinex* multi fonction model N°383. La contenance du était de bol 800 ml. Nous avons utilisé un pied à couteau hachoir, et ce en vue d'homogénéiser la pâte et de couper le réseau de gluten qui n'est pas recherché dans la préparation de la pâte à crêpe. D'après des essais préliminaires sur la semoule de blé dur, nous avons fixé le temps de mixage à 10 min pour assurer un bon mélange de tous les constituants de la pâte, pour une bonne absorption de l'eau par les constituants de la pâte et aussi jusqu'à apparitions de bulles d'air dans la pâte liquide et changement de sa consistance (début de la fermentation) (figure 11).



Figure 11. Mixage de la suspension dans un robot Moulinex

IV.3.3. Fermentation

La pâte liquide formée mise dans des récipients en plastique subit une fermentation dans une étuve (Memmert) avec circulation d'air à 40°C pendant 1heure. Le temps et la température sont fixés sur la base d'essais préliminaires par estimation de la consistance de pâte liquide et apparition de bulles d'air à la surface de celle-ci (figure 12).



Figure 12. Fermentation de la pâte liquide dans l'étuve.

IV.3.4. Homogénéisation

A la fin de la fermentation la pâte est homogénéisée à l'aide d'une cuillère. Elle est ensuite partagée dans des gobelets à un volume égal de 80 ml.



Figure 13. Homogénéisation et répartition de la pâte liquide.

IV.3.5. Cuisson

La cuisson se fait sur une poêle antiadhésive de marque **Migros cucina & travola**. Celle-ci en aluminium forgé revêtu en titane de diamètre 16 cm, est préalablement chauffée. La cuisson se fait sur un réchaud à gaz Nous avons fixé la température sur toute la surface de la poêle par mesure avec un thermocouple (DOSTMANN) la sonde spéciale surface dans différents point de la surface de la poêle donne une température variant entre 230 et 250 °C, on verse en une seul fois le contenu du gobelet au centre de la poêle et on fait tourner la poêle avec un mouvement rapide du poignet afin de répartir uniformément la pâte et ainsi

l'obtention d'une même épaisseur de la crêpe. La cuisson dure environ 2-2.5min sur une seule face (figure14).



Figure14. Cuisson de la pâte liquide sur une poêle antiadhésive.

IV.3.6. Refroidissement

Les crêpes retirées du feu à des températures élevées sont refroidies à l'air libre ($28 \pm 3^\circ\text{C}$). Il faut les laisser refroidir séparément sans les mettre tout de suite l'une sur l'autre et ce, afin d'éviter le risque qu'elles collent. Ce mode de refroidissement est jugé meilleur qu'un refroidissement accéléré puisqu'il permet au produit de se refroidir progressivement à l'abri de tout choc thermique provoquant les fissurations à la surface des produits céréaliers (SELSELET-ATTOU, 1991) (figure15).



Figure 15. Refroidissement des crêpes cuites à l'air ambiant.

V. PLAN D'EXPERIENCES

D'après GOUPY et CREIGNTON (2006), la méthode des plans d'expérience est une technique d'organisation optimale des expériences de manière à obtenir un maximum d'informations en un minimum d'essais avec la meilleure précision possible.

Pour la formulation de crêpes sans gluten à base de riz et de fèverole, nous avons utilisé la méthodologie des surfaces de réponses. Cette approche a été faite par la réalisation d'un plan d'expériences central composite à deux variables : taux d'hydratation (X_1) et teneur en blanc

d'œuf (X_2). Les sorties des plans d'expériences choisis sont le volume spécifique, le nombre d'alvéoles/cm²

A travers cette étude les réponses donnant le volume spécifique, le nombre d'alvéoles/cm² des pâtes issues de la FRF qui se rapprocheraient le plus de celles des pâtes témoins étaient recherchées.

Le modèle étudié étant un modèle à deux facteurs, il permet d'estimer les valeurs des coefficients de modèles du second degré traduisant la relation de cause à effet entre les facteurs retenus (X_1 et X_2) et la réponse étudiée (Y : volume spécifique, nombre d'alvéoles/cm²). Ce plan nécessite la réalisation de huit expériences représentant des combinaisons de cinq niveaux attribués à chacun des deux facteurs tout en prenant les réponses correspondantes. Cinq points centraux (0,0) ont été ajoutés pour appuyer ce plan d'expériences donnant au total 13 essais.

V.1. Modèle mathématique

Le modèle mathématique que nous avons utilisé est un modèle du second degré avec des interactions d'ordre 2, traduisant la dépendance de la réponse étudiée Y en fonction des deux variables codées (X_1 et X_2). Il s'écrit comme suit :

Avec : $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11} X_1X_1 + b_{22} X_2X_2 + b_{12} X_1X_2$

Y : la réponse étudiée ;

X_1, X_2 : les formes codées des variables explicatives ;

b_0 : la constante du modèle ;

b_1, b_2 : les coefficients linéaires (l'effet principal de chaque variable) ;

b_{11}, b_{22} : les coefficients quadratiques (si l'une des deux variables donne un maximum ou un minimum dans le domaine expérimental) ;

b_{12} : le coefficient d'interaction (l'interaction entre les deux variables).

V.2. Niveaux des variables

Nous avons attribué pour chaque variable codée (X_i) les niveaux suivants :

$$-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$$

Pour que le plan soit orthogonal, la valeur de α a été fixée à 1,414 permettra le calcul des régresseurs ($b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$) du modèle mathématique indépendamment les uns des autres.

La matrice d'expériences du plan composite orthogonal centré à deux variables est donnée dans le tableau 06.

Tableau 06. Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables

ESSAIS	Matrice	
	X ₁ (hydratation)	X ₂ (blanc d'œuf)
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	-1.414	0
6	+1.414	0
7	0	-1.414
8	0	+1.414
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0

V.3. Détermination des variables réelles

V.3.1. Hydratation

Le choix des taux d'hydratation des pâtes de la formule Riz-Fèverole a été déterminé sur la base des essais préliminaires : 133 à 367g pour 100g de FRF.

V.3.2. Blanc d'œuf

Les bornes de l'intervalle concernant cette variable ont été déterminées selon les essais préliminaires : 0 à 50 g pour 100 g de semoule avec et sans gluten.

Il est à noter, qu'une incorporation au-delà de 50g de blanc d'œuf à 100g de semoule ne donne plus de crêpes mais une sorte d'omelette. Le tableau 7 résume les valeurs réelles correspondant aux niveaux des variables étudiées.

Tableau 07. Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués

Facteurs	Niveaux codés				
	-1,414	-1	0	+1	+1,414
X₁ : Hydratation (g pour 100 g FRF)	133	167,26	250	332,74	367
X₂ : Blanc d'œuf (g pour 100 g de FRF)	0	7,32	25	42,68	50

La matrice d'expériences du plan composite orthogonal centré à 2 variables est donnée par le tableau suivant:

Tableau 08. Matrice d'expérience du plan Central Composite à 2 variables et cinq niveaux utilisé

Essais	(Hyd ,BO)
1	(167,26 ,7,32)
2	(332,74 , 7,32)
3	(167,26, 42,68)
4	(332,74 , 42,68)
5	(133 , 25)
6	(367 , 25)
7	(250 , 0)
8	(250 , 50)
9- 13	(250 , 25)

Hyd : eau d'hydratation (g/100g de FRF). **BO** : Blanc d'œuf (g/100g de FRF).

V.4. Aptitudes technologiques des pâtes liquides formulées

V.4.1. Volume spécifique

- **Principe**

Le volume spécifique des crêpes (cm^3/g) est mesuré indirectement par déplacement de petites particules solides sphériques de volume spécifique connu dans un récipient où la crêpe est placée.

- **Mode opératoire**

Prendre un récipient de volume plus grand que celui des crêpes et le remplir à ras avec des grains solides sphériques (semsem) de volume spécifique connu ($0,67 \text{ cm}^3/\text{g}$). Pour la mesure en elle même, vider à moitié le récipient de son contenu en grains sphériques, et placer la crêpe (coupée en quatre morceaux, superposés les unes sur les autres est couvertes d'un film alimentaire afin d'éviter que les graines sphériques n'adhèrent pas aux trous de crêpe) (figure 16) puis couvrir l'échantillon avec le reste des grains. Après arasement de la surface du récipient de mesure, les grains sphériques en excès sont récupérés et pesés.

- **Expression des résultats**

Le volume spécifique de crêpes (**Vsp**) exprimé en cm^3/g est le rapport de son volume (**V**) et de sa masse (**M**) :

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

V : Volume des crêpes (cm^3) = V_{semsem} en excès

Les V_{sp} moyens sont calculés pour 3 crêpes et donnés sous forme moyenne \pm Ecart Type.

NB : Le poids des crêpes est mesuré avec une balance de précision (RADWAG® WLC 0.6/B1).



Figure 16. Mesure du volume spécifique des crêpes formulées.

V.4.2. Nombre d'alvéoles

- **Principe**

Le nombre d'alvéoles ouvertes par cm^2 est compté à l'aide d'un emporte pièces de surface connue sur cinq zones représentatives de chaque crêpes.

- **Mode opératoire**

Nous avons utilisé un emporte pièce de forme carrée à une surface de 16 cm^2 pour délimiter la surface de comptage des alvéoles ouvertes des crêpes. Cinq zones représentatives sont désignées (figure 17), pour l'opération de comptage, nous avons utilisé un marqueur pour chaque trou.

- **Expression des résultats**

$$\text{Alv/cm}^2 = \frac{\sum_{z=1}^5 \text{alvz1} + \text{alvez2} + \text{alvz3} + \text{alvz4} + \text{alvz5}}{16 \times 5}$$

$z1, z2, z3, z4, z5$: les cinq zones délimitées

En vue d'obtenir la moyenne du nombre d'alvéoles ouvertes par cm^2

Les résultats sont exprimés sous forme du nombre moyen d'alvéoles / cm^2 de 3 crêpes \pm Ecart Type.

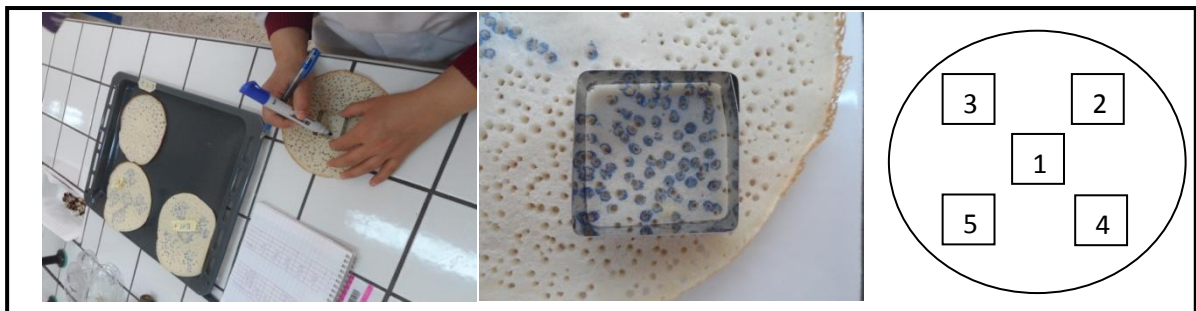


Figure 17. Comptage des alvéoles ouvertes sur cinq zones représentatives de la crêpe

VI. OPTIMISATION DES SURFACES DE REPONSES

L'optimisation est faite par la superposition des deux surfaces de réponse du volume spécifique et de nombre d'alvéoles/ cm^2 pour faire ressortir le domaine optimum qui donne des crêpes avec des caractéristiques plus proches du témoin de blé dur.

VII. VERIFICATION ET APPRECIATION DE LA QUALITE DES CREPES OBTENUES APRES OPTIMISATION

La vérification des optima s'est faite par l'étude de leur comportement rhéologique, la, le volume spécifique et le nombre d'alvéoles/cm².

VII.1. Aptitudes technologiques des optima

Les aptitudes culinaires de nos optima « crêpes sans gluten » s'articule autour de deux points : Mesure de leurs volumes spécifiques et mesure de leur nombre d'alvéole par cm².

Les deux premiers points sont détaillés dans le § V.4

VII.2. Comportement rhéologique des optima

Les pâtes de semoule de blé dur sont considérées comme liquides viscoélastiques. La mise en évidence de leur comportement rhéologique nécessite des caractérisations spécifiques telles que le traçage des courbes d'écoulements (LAUNAY, 1979).

- **Principe**

La vérification de la qualité des crêpes sans gluten s'est basée sur l'étude de leur comportement rhéologique à l'écoulement, pour cela, les courbes d'écoulements données par la contrainte de cisaillement τ (Pa) en fonction des vitesses de cisaillement sont tracées $\dot{\gamma}$ (s⁻¹).

- **Mode opératoire**

La viscosité apparente des pâtes liquides est mesurée à l'aide d'un rhéo-viscosimètre rotatif "HAAKE Viscotester "VT 550, équipé d'un dispositif de mesure SV-DIN. La température de mesure est maintenue à 40 °C, le chauffage est assuré par la circulation d'eau en circuit fermé entre le rhéo-viscosimètre et une enceinte thermostatée (bain marie) DC3. Nous avons tracé les courbes d'écoulement des 13 points du plan d'expérience, donnée par la contrainte de cisaillement (τ) en fonction de la vitesse de cisaillement ($\dot{\gamma}$). Nous avons travaillé avec le système coupe et rotor SV DIN 53 019, le rotor présente un angle $\alpha = 120^\circ \pm 1^\circ$. Ce système est conçu pour les liquides à viscosité moyenne. Pour la préparation des pâtes nous avons suivi les mêmes étapes de fabrication données dans le diagramme (figure 9) mais sans ajout de levure boulangère.

- **Expression des résultats**

Les indices de consistances (k) et de fluidité (n) sont tirés des courbes des 13 essais et les surfaces de réponses correspondantes sont tracées.

VIII. ANALYSE SENSORIEL

Une caractérisation sensorielle des crêpes fabriqués est faite par un test de classement par rang "*test de FRIEDMAN*" tels que décrit par WATTS *et al.* 1991). Ce test s'est déroulé au niveau du laboratoire L.N.T.A. par un jury composé d'un panel de 10 dégustateurs de sexe masculin et féminin, enseignants et étudiants en post- graduation à l'Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaire (I.N.A.T.A-A.), Université Constantine 1. Des explications et des instructions ont été données aux dégustateurs avant le début du test.

Ce test est applicable pour l'appréciation d'un ensemble de propriétés organoleptiques des crêpes (aspect, texture, odeur et saveur).

Pour chaque descripteur, la comparaison globale des échantillons testés est réalisée avec le calcul de la statistique "*F*" de Friedman.

$$F = 12 / (JP (P+1) (+ + \dots) - 3J(P+1))$$

Où : J : nombre de testeurs; P : nombre d'échantillons ; (+ + ...) : somme des rangs attribués aux P échantillons et aux J testeurs.

➤ *Mode de présentation des échantillons*

Selon les attributs sensoriels choisis, deux séries de crêpes chaudes ont été présentées au panel de dégustation simultanément de façon anonyme, dans des assiettes codées accompagnées chacune d'un verre d'eau pour se rincer la bouche entre les dégustations. La première série est constituée de trois crêpes sans sauce (crêpe témoin de blé dur (BENDJAMA et HELAL 2014), crêpe sans gluten de la FRF optimal et hors zone optimal), et la deuxième série se compose des mêmes échantillons mais ajouté de la sauce, la sauce est préparée à base de margarine et du sucre cristallisé. Les échantillons ont été présentés simultanément à chaque dégustateur. Ceux-ci peuvent les goûter autant de fois qu'ils le souhaitent. Le classement se fait individuellement sans communication entre les sujets, pour ne pas biaiser les résultats.

Tableau 09. Crêpes choisis pour le test de classification par rang de Friedman

		Blanc d'œuf (g pour 100 g de formule)	Hydratation (g pour 100 g de formule)
Témoin blé dur (BENDJAMA et HELAL 2014)		50	250
FRF	Zone optimale	50	288,88
	Hors la zone optimale	7,32	167,26

➤ Questionnaire

Dans un bulletin de réponse, Nous avons demandés aux dégustateurs de noter l'intensité du descripteur sensoriel des échantillons codés, selon une échelle de notation de 1 à 9 (tableau 10). Egalement, ils doivent classer les échantillons en fonction de la préférence (Annexe 2).

Tableau 10. Descripteurs sensoriels décrivant la texture et l'aspect général des crêpes

Attributs sensoriels	Définition
Couleur jaune	Du jaune clair au jaune foncé
Taille des alvéoles ouvertes la plus prépondérantes	Des plus petites au plus grandes
Homogénéité de la répartition des alvéoles	Hétérogène à fortement homogène
Aspect spongieux	Compact à très alvéolé
Elasticité	pas de retour à l'état initial ou retour total à l'état initial après étirement entre les doigts
Collant sous la dent	Pas collant à extrêmement collant
Goût prononcé	Faiblement prononcé à fortement prononcé
Croustillant sous la dent	Pas croustillant à extrêmement croustillant
Intensité de l'odeur	Moins intense à très intense

IX. ANALYSE STATISTIQUES

De manière générale, les résultats obtenus dans ce travail correspondent à la moyenne de trois répétitions.

Le traitement statistique des plans d'expériences utilisés dans ce travail a été réalisé avec le logiciel de "Minitab 15". Le seuil de signification est fixé à $\alpha = 0.05$.

La valeur p permet de déterminer si un facteur est significatif ; en règle générale, cette composante est comparée à la valeur alpha de 0,05. Si la valeur de p est inférieure à 0.05, le facteur est significatif.

La validité du modèle est vérifiée en déterminant les coefficients de détermination calculé " R " et " R " ajusté. L'analyse de variance (ANOVA) donne la statistique F de Fisher. En général, pour que les prédictions soient significatives, la valeur F observée doit être plus élevée que la valeur tabulée. Si elle est élevée, les variations des réponses mesurées sont bien dues aux variations des facteurs (GOUPY et CREIGNTON, 2006).

Le traitement des données pour le test de classement par rang est réalisé en se servant du test de Friedman et de tables statistiques pour un niveau de signification de 5%. Alors que pour le test descriptif nous avons réalisés une analyse de variance (ANOVA) afin de déterminer s'il y a une différence significative entre les échantillons, puis, des tests à posteriori ont été réalisés pour la détermination de la différence par paire.

Résultats et discussion

I. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES MATIERES PREMIERES

I.1. Produits de mouture

Les mesures au laboratoire ont permis la mise en évidence de la composition physicochimique des matières premières ayant servi à la fabrication des crêpes traditionnelles sans gluten. Par ailleurs, l'estimation de la composition des formules est obtenue par calcul à partir des résultats d'analyses des ingrédients de base (tableau 11).

Tableau 11. Principaux constituants des matières premières en g pour 100g de la matière sèche.

	Humidité	cendres	Protéines	Lipides	Glucides totaux	total
Blé dur	13,08±0,07	1,06 ± 0,32	14,21±0,02	0,51 ± 0,18	84,22	100
Riz	11,64±0,03	2,17 ± 0,8	6,37±0,34	0,46±0,06	79,36	100
Fèverole	14,38±0,22	2,81 ± 0,10	25±0,32	1,20±0,12	56,61	100
FRF*	12,56 ±0,09	1,43 ± 0,49	12,71±0,34	0,81± 0,08	72,49	100

* chiffre obtenu par calcul

I.1.1. Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau des produits alimentaires est l'une des plus importantes analyses. C'est un facteur de qualité dans leur préservation. Sa connaissance, est utile pour le calcul de leurs valeurs nutritionnelles. Également, elle permet l'expression des autres déterminations analytiques (protéines, cendres, lipides...etc.) sur une base uniforme, base de matière sèche (BRADLY, 1998). D'autre part, L'association américaine des chimistes de céréales (A.A.C.C., 2000), montre que l'humidité est un indicateur de l'aptitude du stockage.

La semoule de blé dur utilisée pour la fabrication des crêpes représente une humidité de 13,08 ± 0,07%. Cette dernière se situe dans l'intervalle rapporté par de nombreux auteurs

variant entre 10 % (FEINBERG *et al.*, 1991) et $13,10 \pm 0,07\%$ (SOUCI *et al.*, 1994). Cette valeur est légèrement inférieure à 14,5 décrite par CALVEL (1984) et GODON (1991) et par la norme du Codex Alimentarius (FAO, 2007).

Pour les ingrédients sans gluten les valeurs de l'humidité enregistrées sont de $1,64 \pm 0,03\%$ pour le riz et $14,38 \pm 0,22\%$ pour la fève. Ces résultats sont conformes aux normes du Codex Alimentarius (FAO, 1996) qui donne une limite maximale de 15 %. Nos résultats permettent de conclure à la bonne conservation de nos matières (céréales et légumes secs).

I.1.2. Cendres totales

La détermination du taux des cendres reste le moyen officiel utilisé pour caractériser la pureté de la semoule. Il correspond à sa teneur en minéraux. Notre semoule se caractérise par un taux de cendres calculé sur une base sèche de $1,06 \pm 0,32\%$. Cela se range bien dans l'intervalle des semoules supérieures ($< 1,1\%$) donné par BAR (1995).

La teneur en cendres rapportée pour le riz est de $2,17 \pm 0,8\%$ contre 0,3 à 0,8 % cité par LAIGNELET (1991). Cette teneur élevée en cendres serait probablement due à la présence d'enveloppes connues pour leur richesse en minéraux après broyage.

Pour la fève le taux de cendres estimé est de $2,81 \pm 0,10\%$ comparé au riz, il en est supérieur $2,17 \pm 0,8\%$.

I.1.3. Protéines totales

La teneur en protéines de la semoule exerce une influence considérable sur les propriétés viscoélastiques des pâtes et sur la qualité culinaire des produits finis (FEILLET, 2000). La semoule utilisée dans la fabrication des crêpes traditionnelles contiennent $14,21 \pm 0,02\%$ de protéines, ce qui est supérieur à celle trouvée par SOUCI (1994) et FAVIER *et al.* (1995) qui est entre 9,56 – 12,6 %.

Pour le riz, la teneur en protéines qui est de $6,37 \pm 0,34\%$ concorde avec la valeur habituellement trouvée pour du riz : [6,3 à 7,1]% ((FAO, 1990 ; FAO, 1994, VIERLING, 2003).

La valeur la plus élevée en protéines est observée pour la fève avec une teneur de $25 \pm 0,32\%$.

Le calcul basé sur le rapport 2/3 riz et 1/3 féverole utilisé dans ce travail montre une amélioration dans le niveau en protéines de la formule (FRF) en rapport avec la présence de la féverole dans celle-ci. Notre FRF présente une majoration de la teneur en protéines environ 2 fois plus à celle du riz de base, pour passer de 6,37 % à 12,71 %.

I.1.4. Lipides libres

La teneur en lipides libres des semoules est $0,51 \pm 0,18$ % ce qui est nettement inférieure aux chiffres données par YESLI (2001) qui a donné une moyenne de 1,96 % (ms) pour les semoules de 8 variétés de blé dur. La teneur en lipides renseigne sur le taux d'extraction de la semoule, plus ce dernier sera élevé et plus le pourcentage de ces matières est faible, puisque ces substances se localisent principalement dans le germe et les enveloppes (JEANGUYOT et AHMEDI, 2002 ; FREDOT, 2005).

La teneur en lipides libres du riz est de $0,46 \pm 0,06$ %. Cette valeur est comprise dans l'intervalle [0,3 à 0,5] % indiqué par VIERLING (2008).

La teneur en lipides libres de la féverole est $1,20\% \pm 0,12$ cette valeur est inférieure à celles trouvées par BOUTIN et DRONNE (2008) qui varient entre [1,5 et 2]%. Ces faibles valeurs lipidiques de la semoule, du riz et de la féverole favorisent leur stockage sans qu'il y ait un risque de rancissement.

I.1.5 Glucides totaux

La teneur en glucides est déterminée par soustraction de la somme des teneurs en composants majeurs (cendres, protéines et lipides) pour 100g de la matière sèche.

La teneur en glucides totaux pour la semoule de blé dur est de 84,22%, pour le riz est de 79,36%, pour la féverole est de 56,61%, et pour la FRF est de 72,49 %.

I.1.6. Distribution granulométrique des matières premières

La détermination de la distribution granulométrique de la semoule et des produits de mouture du riz et de la féverole, permet de caractériser la répartition en taille des particules dont elles sont composées. Le comportement de ces matières premières au cours de leur transformation, notamment la quantité d'eau absorbée ainsi que la vitesse d'hydratation en dépend fortement (COLAS et THARRAULT, 1997 ; FEILLET, 2000).

Les résultats de la distribution granulométrique de la semoule et des produits de mouture étudiées dans ce travail sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12. Distribution granulométrique des semoules destinées à la fabrication des crêpes.

Classes des fractions (μm)	Semoule de blé dur %	Riz %	Féverole %
>500	$1,43 \pm 0,34$	$2,68 \pm 1,02$	0
[250-500[	$88,68 \pm 0,69$	$92,16 \pm 0,99$	$51,67 \pm 0,90$
[200 -250[	$6,58 \pm 0,44$	$3,88 \pm 0,190$	$24,68 \pm 0,01$
[150 -200[	$2,79 \pm 0,30$	$0,78 \pm 0,04$	$19,9 \pm 0,62$
[125-150[	0	0	$1,50 \pm 0,21$
[100 -125[	0	0	$0,85 \pm 0,05$
[75 -100[	0	0	$0,25 \pm 0,14$
< 75	0	0	0
Total	99,48	99,50	98,85

La majeure partie de la semoule employée dans l'étude (88,68%) présente des particules de dimension comprise dans l'intervalle [250-500[μm .

Selon les résultats obtenus de la classification, la semoule étudiée est constituée principalement par des particules de diamètre inférieur à 500 μm et supérieur à 200 μm , car celle-ci était préalablement tamisée en vue de travailler avec les fraction citées par BENBELAKCEM *et al.*, (1995), qui précise que la semoule destinée à la préparation des crêpes selon leur diagramme, doit être de granulométrie moyenne appartenant à l'intervalle [200-500[μm .

Pour le riz la majorité de la répartition est (92,16%) portée sur la classe [250-500[μm avec un pourcentage de blé. Quant à la féverole, sa transformation durant l'opération de la mouture se distingue par une distribution majeure sur la classe [150-500[μm avec un pourcentage de 96,25%. Ceci serait probablement dû au caractère friable de son amande.

I.2. Blanc d'œuf

La teneur en eau du blanc d'œuf est $87,41 \pm 0,07\%$. Celle-ci est légèrement supérieure à celle rapportée par NATHIER-DUFOUR (2005) 87,3%, mais reste comprise entre 84% et 89% tel que cité par NAU *et al.* (2010).

II. Formulation et fabrication des crêpes sans gluten

Dans le cadre de notre travail, les essais de fabrication de crêpes sans gluten ont été réalisés selon un plan d'expérience central composite. Les résultats ont été comparés avec les caractéristiques des crêpes témoin à base de la semoule de blé dur.

Pour atteindre l'objectif principal de notre étude, qui est la fabrication des crêpes sans gluten à base de la formule riz- féverole (FRF) améliorée par le blanc d'œuf, dont les caractéristiques finales se rapprocheraient le plus de celles de crêpes témoin à base de blé dur, nous avons adopté la Méthodologie des Surfaces de Réponses (MSR), qui a largement été utilisée pour l'optimisation de produits sans gluten comme le pain (SANCHEZ, OSELLA et DE LA TORRE, 2002 ; KOBYLAŃSKI, PÉREZ et PILOSOV, 2004 ; MCCARTHY *et al.*, 2005 ; BENATALLAH, 2009 ; GUERAIRIA, 2011 ; HAGER et ARENDT, 2013, NAMOUS , 2013).

Cette approche a été faite par la réalisation d'un plan d'expérience central composite à deux variables : la teneur en eau (X_1) et la teneur en blanc d'œuf (X_2) et à cinq niveaux. Les réponses étudiées (Y) sont le volume spécifique des crêpes et le nombre d'alvéoles/ cm^2 (tableau 13). Les surfaces de réponses correspondantes sont tracées.

Tableau 13. Résultats du plan central composite à trois facteurs.

Essais	X1 hydratation g	X2 Blanc œuf g	Volume spécifique (cm³/g)	Nombre d'alvéoles /cm²
1	167,26	7,32	1,32	0,19
2	332,74	7,32	0,84	0,85
3	167,26	42,68	2,2	0,05
4	332,74	42,68	1,68	4,27
5	133	25	1,88	0,02
6	367	25	1,36	0,43
7	250	0	2,15	1,44
8	250	50	2,15	4,81
9	250	25	1,64	2,28
10	250	25	2	3,10
11	250	25	2,12	2,98
12	250	25	1,84	4,32
13	250	25	1,84	2,65

II.1. Surface de réponse des volumes spécifiques

Le suivi de l'évolution des volumes spécifiques (V_{sp}) de nos crêpes sans gluten de la FRF en fonction des taux d'hydratation et la teneur en blanc d'œuf est reporté dans la figure 18.

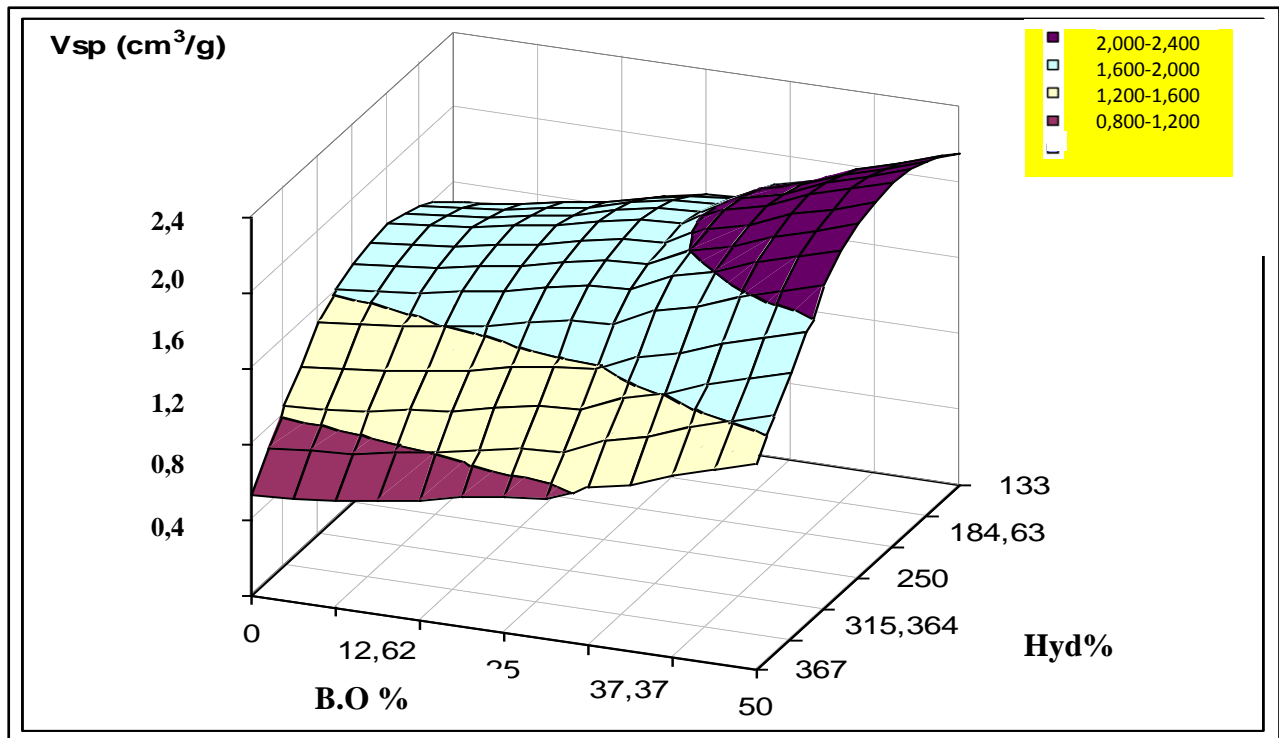


Figure 18. Surface de réponse du volume spécifique (V_{sp}) des crêpes sans gluten de la FRF en fonction des taux *hydratation-blanc d'œuf*

La figure montre une évolution du volume spécifique des crêpes (V_{sp}) de 0,8 à 2,4 cm^3/g . Pour un taux fixe de blanc d'œuf, les V_{sp} les plus élevées sont notés vers les taux élevés d'hydratation. Par ailleurs, pour un taux d'hydratation fixe, le V_{sp} semble proportionnel aux taux du blanc d'œuf incorporé. On note également que les V_{sp} les plus faibles sont ceux des pâtes les plus fluides, probablement en raison de la diminution du nombre d'alvéoles formées.

La courbe de niveau du volume spécifique de crêpes sans gluten (figure 19), fait ressortir une zone maximale de V_{sp} de crêpes de 2 à 2,4 cm^3/g avec les intervalles correspondant :

- Blanc d'œuf : [31,18 – 50] g pour 100g de FRF.
- Hydratation : [133 – 309,91] g pour 100g de FRF.

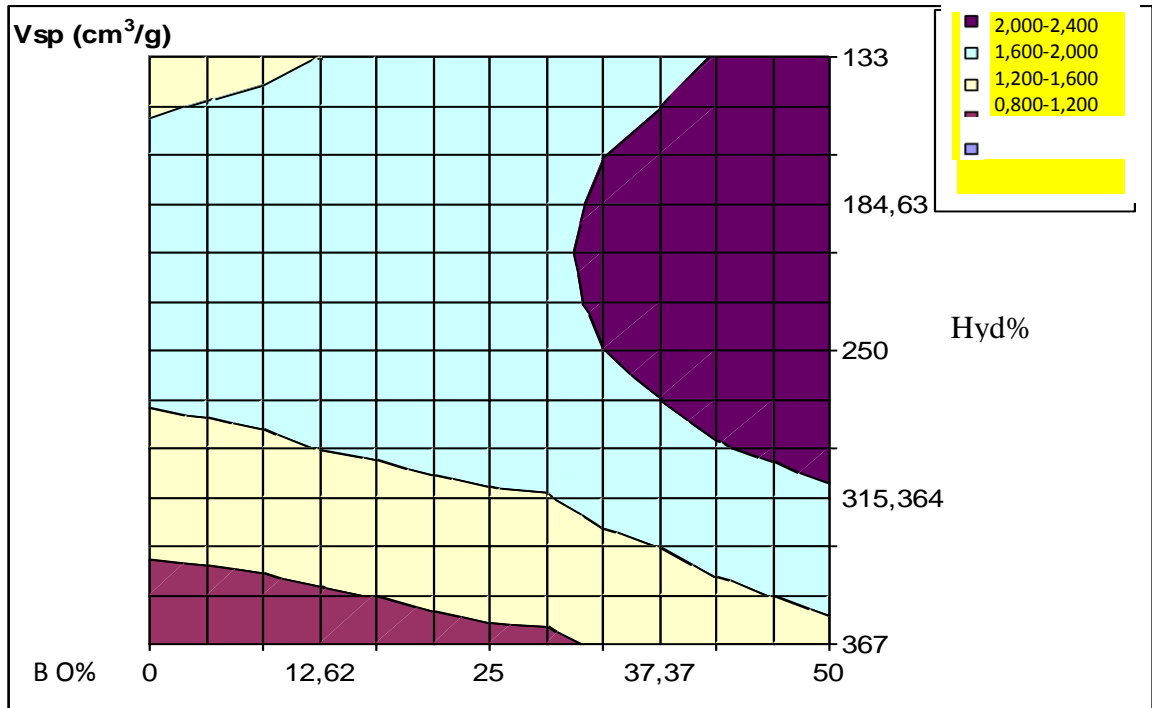


Figure 19. Courbe de niveau du volume spécifique des crêpes de la FRF en fonction des taux *hydratation-blanc d'œuf*

II .2. Surface de réponse du nombre d'alvéoles/cm²

La surface de réponse montrant l'évolution du nombre d'alvéoles par cm² est donnée par la figure 20.

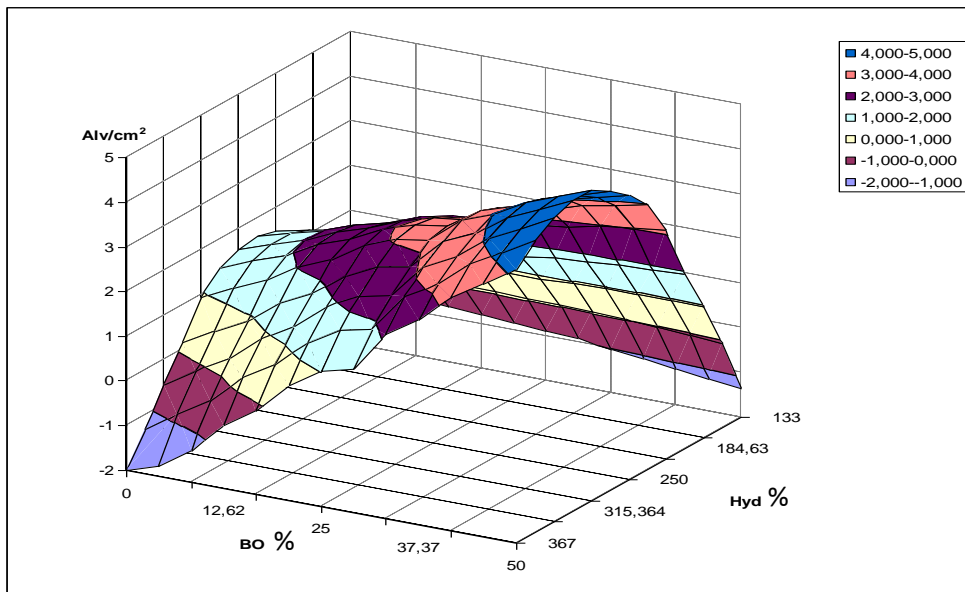


Figure 20. Surface de réponse du nombre d'alvéoles/cm² des crêpes de la FRF en fonction des *taux hydratation-blanc d'œuf*

Le nombre d'alvéoles varie de -2 jusqu'à 5 alvéoles/cm². Les chiffres négatifs et nuls signifieraient probablement l'absence d'alvéoles dans les crêpes. Par ailleurs, il semblerait qu'il y ait un seuil d'hydratation (145,90 %), nécessaire pour le début d'obtention d'alvéoles et ce, à 0% d'incorporation de blanc d'œuf.

La courbe de niveau donnée dans la figure 21 du nombre d'alvéoles/cm² fait ressortir une zone maximale de 4 à 5 alvéoles pour des taux d'hydratation entre 228,21 et 367 ml pour 100g de FRF et des teneurs en blanc d'œuf de 37,37 à 50g pour 100 g de FRF.

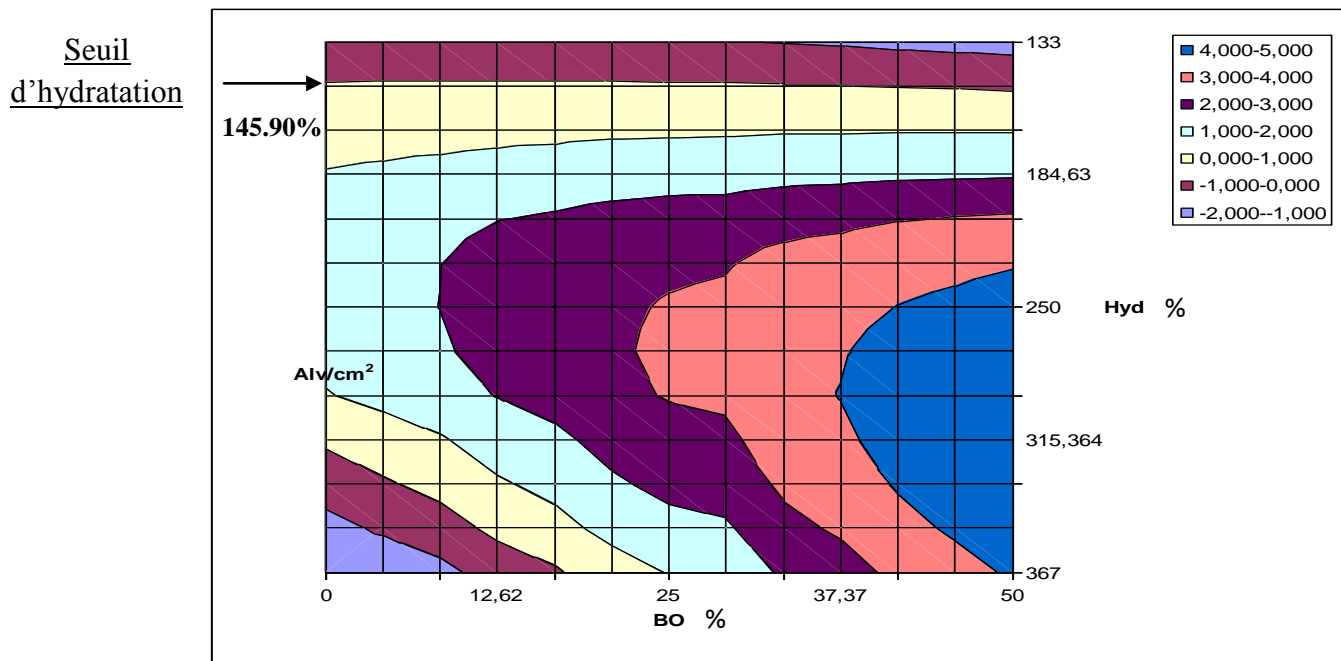


Figure 21. Courbe de niveaux du nombre d'alvéoles/cm² dans les crêpes de la FRF en fonction des taux *hydratation-blanc d'œuf*

III. OPTIMISATION DES SURFACES DE REPONSES

L'optimisation consiste à faire ressortir les domaines d'hydratation et de blanc d'œuf incorporés permettant l'obtention du nombre d'alvéoles/cm² et volumes spécifiques les plus élevés. Ceci, se fait par la superposition des courbes de niveaux obtenues en figure 19 et 21. La figure 22 d'optimisation qui en résulte est donnée ci-dessous.

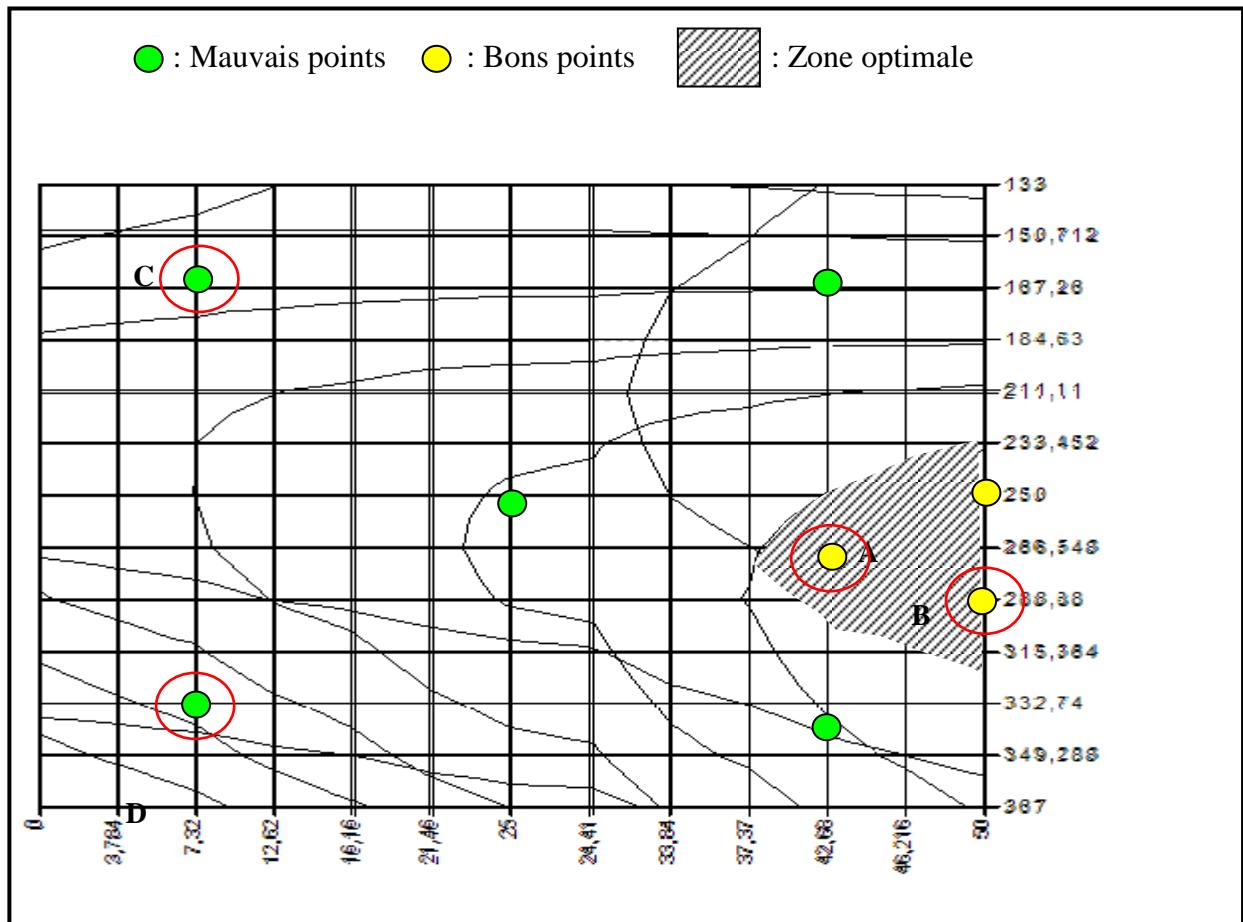


Figure 22. Courbe de niveau de l'optimisation des volumes spécifiques et du nombre d'alvéoles/cm² des crêpes SG de la FRF en fonction des taux *hydratation-blanc d'œuf*

Le domaine optimal permettant l'obtention des meilleurs volumes spécifiques (2 à 2,4 cm³/g) et nombre d'alvéoles/cm² (4 à 5) est :

- ✓ Blanc d'œuf : [36,04-50]% g pour 100g de FRF.
- ✓ Hydratation : [233,45-293,60]% g pour 100g de FRF.

IV. VALIDATION DES RESULTATS DE L'OPTIMISEES

Les résultats de l'optimisation sont vérifiés par la sélection de 04 points représentatifs, 02 à l'intérieur de la zone optimale (A et B) et 02 hors zone optimale (C, D) tableau 14. Après, nous avons vérifié leurs volumes spécifiques et nombre d'alvéoles/cm². En complément à ceci, les crêpes obtenus ont été caractérisés par l'étude de leurs caractéristiques rhéologiques et sensorielles.

Tableau 14. Couples (*Hydratation, BO*) de vérification après optimisation par MSR de crêpes sans gluten de la FRF

	Couples (<i>Hydratation, BO</i>)%
Zone optimale	A (266,548, 42,68)%
	B (288,88 ,50)%
Hors Zone optimale	C (167,26, 7,32)%
	D (332,74, 7,32)%

Ces points sont représentés sur la figure 22.

IV.1. Evaluation de l'aptitude technologique

Les résultats de la vérification des paramètres technologiques sont donnés dans le tableau 15.

Tableau 15. Résultats de la vérification après optimisation

	Couples (<i>Hydratation, BO</i>)%	Vsp cm³/g	Alv/cm²
Dans la zone optimale	A (266,548, 42,68)%	1,32± 0,05	4,875 ±0,68
	B (288,88 50)%	1,36± 0,025	5,05±0,43
Hors de la zone optimale	C (167,26, 7,32)%	1,32±0,14	0,19±0,12
	D (332,74 , 7,32)%	0,91 ± 0,08	0,85±0,56

Les volumes spécifiques des points optima A et B avec respectivement $1,32 \pm 0,05$ et $1,36 \pm 0,025$ cm³/g sont inférieurs à ceux attendus dans la surface de réponse de ce paramètre. Par ailleurs, le nombre d'alvéoles des points A ($4,875 \pm 0,68$ alv/cm²) et B ($5,05 \pm 0,43$ alv/cm²) correspondant à ceux attendus dans la surface (4 à 5 alv/cm²) de la figure 23. Pour la zone hors domaine optimum nous avons trouvé les résultats du volume spécifique et le nombre d'alvéoles ne se situ pas dans la zone hors domaine optimum, ils en étaient également inférieurs.

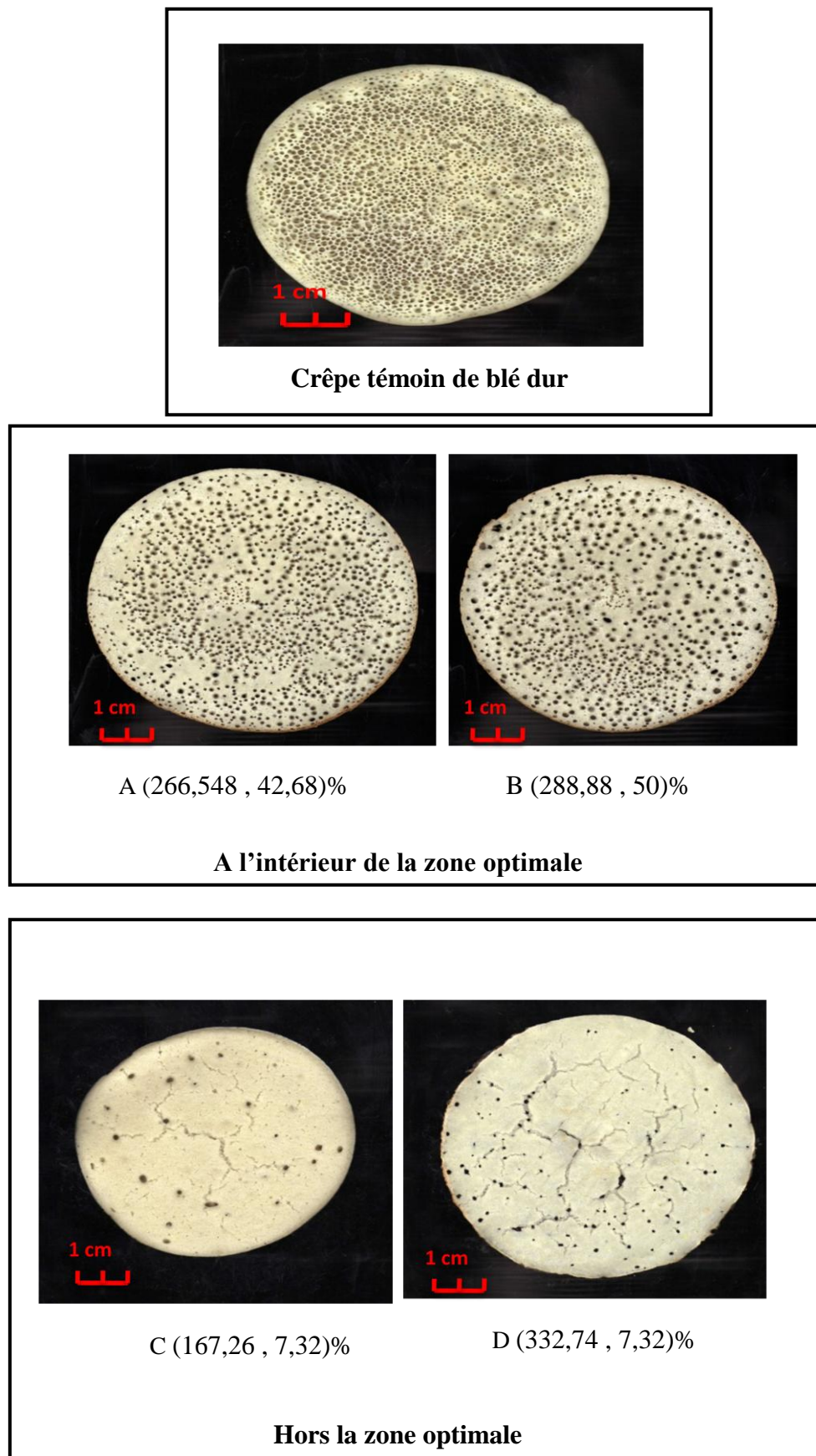


Figure 23. Photos des crêpes sans gluten des couples (*Hydratation, BO*) à l'intérieur et en dehors de la zone optimale délimitée et le témoin blé

IV.2. Comportement rhéologique des pâtes liquides formulées et validation des résultats de l'optimisation

Afin de confirmer nos résultats, nous avons caractérisé d'un point de vue rhéologique nos optima. D'abord, nous avons tracé les courbes d'écoulement données par la contrainte de cisaillement (τ) en fonction de la vitesse cisaillement ($\dot{\gamma}$). Toutes les pâtes présentaient un comportement de type rhéofluidifiant dont la viscosité est inversement proportionnelle avec la vitesse de cisaillement. C'est alors une viscosité apparente qui est liée aux conditions de mesure (MOUQUET, 1998). Les courbes de niveaux des indices de consistance (k) et d'écoulement (n) sont alors tracées (figure 24 et 25).

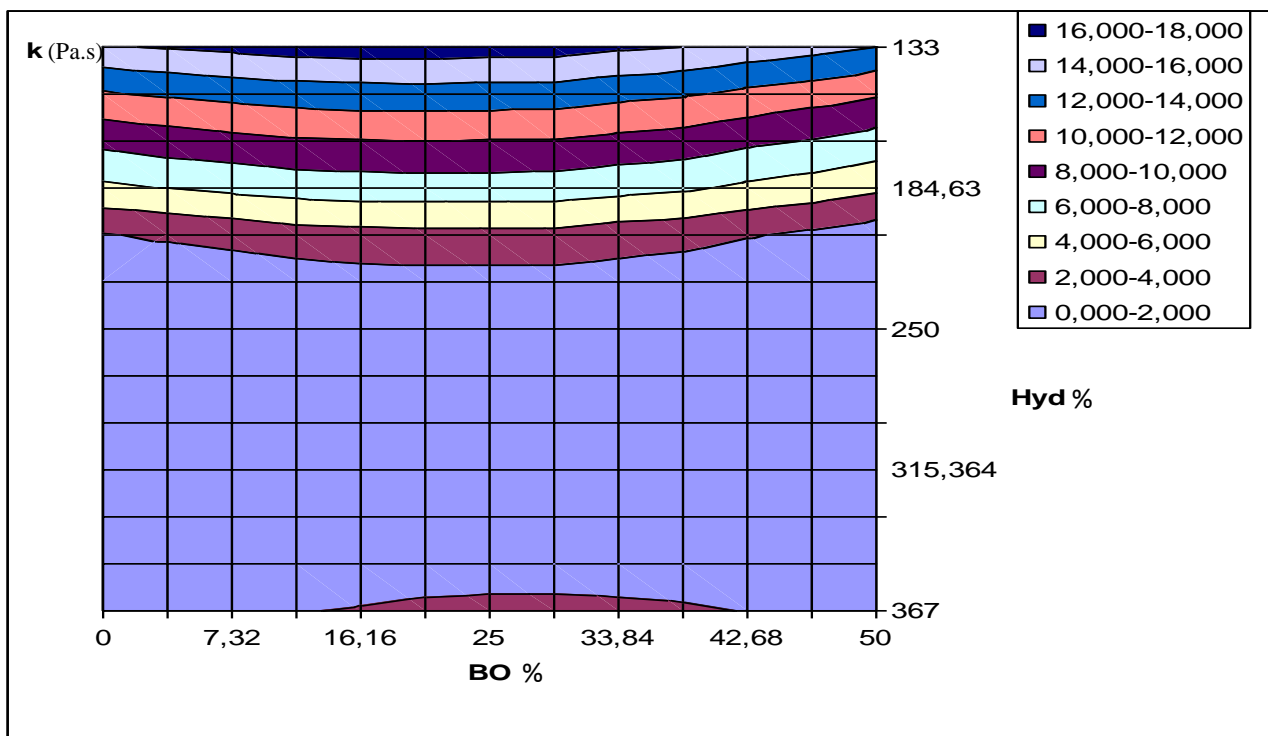


Figure 24. Courbe de niveau de l'indice de consistance de crêpes de la FRF en fonction des taux hydratation-blanc d'œuf

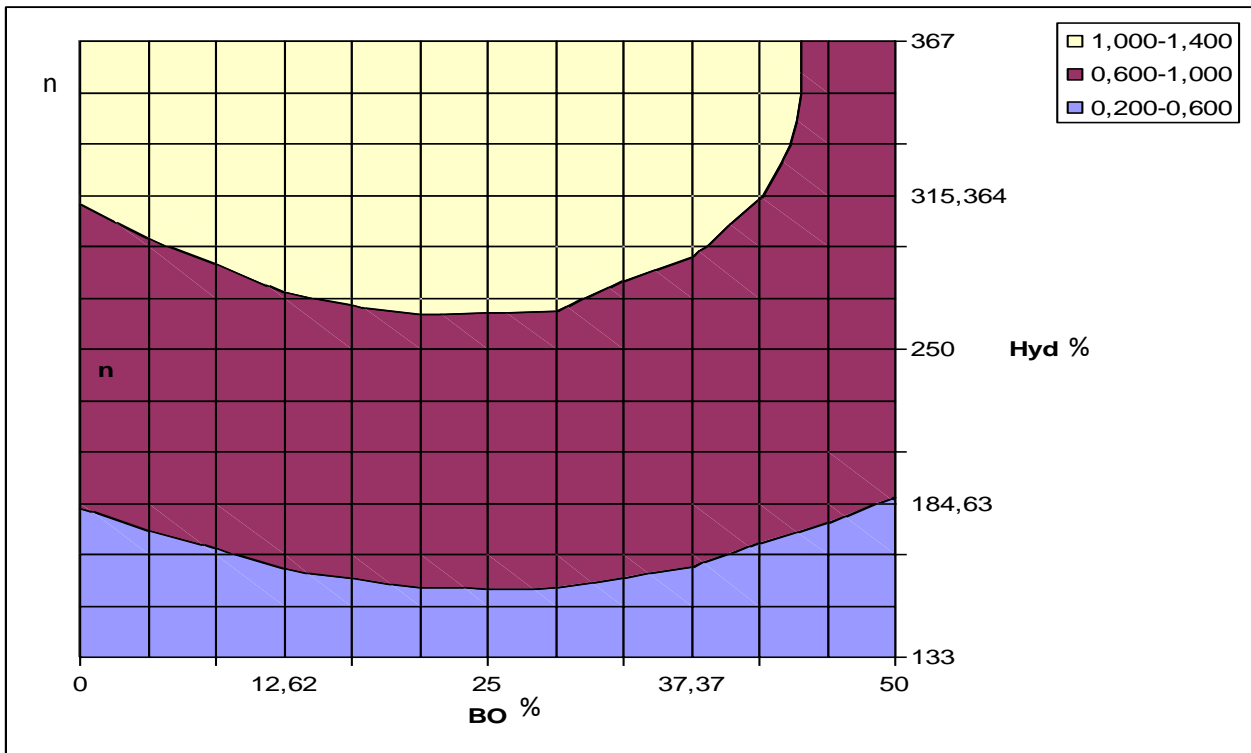


Figure 25. Courbe de niveau de l'indice d'écoulement de crêpes de la FRF en fonction des taux *hydratation-blanc d'œuf*

D'une manière générale, le comportement rhéologique des pâtes liquides formulées suit l'équation d'OSTWALD de WAELE (loi de puissance) : $\mu = k \times \dot{\gamma}^n$:

μ : Viscosité apparente (Pa.s);

K : indice de consistance (Pa.s);

γ : vitesse de cisaillement (1/s);

n : indice d'écoulement ;

Les indices de consistance (k) et d'écoulement (n) de nos optima sont mesurés et résumés dans le tableau 16.

Tableau 16. Les indices de consistance (k) et d'écoulement (n) de nos optima de crêpes de la FRF en fonction des taux *hydratation-blanc d'œuf*

Optimum	(Hyd- B.O)	k ± ET	n ± ET
1	A (266,548 , 42,68)%	0,031±0,002	0,96 ±0,007
2	B (288.88 , 50)%	0,12 ±0,03	0,96± 0,0001

Les résultats de vérification montrent que notre pâte optimale correspondent aux zones de consistances (k) et de fluidité (n) des teneurs en eau et en blanc d'œuf, avec respectivement [0 - 2] et [0,6 - 1]. Ceci montre le bon ajustement entre le modèle théorique et les valeurs mesurées au laboratoire.

V. EVALUATION SENSORIELLE DES CREPES SANS GLUTEN FORMULES

La caractérisation sensorielle a concerné le témoin de blé dur, le meilleur optimum sans gluten : (288,88 50)% et un point hors domaine optimum sans gluten : (167,26, 7,32) %. Le test descriptif donné par le test de classification par rang a permis de tracer le profil sensoriel des crêpes avec et sans sauce (figure 26 et 27). Pour cela, 9 descripteurs ont été désignés : couleur jaune, taille des alvéoles, homogénéité de la répartition des alvéoles, Aspect spongieux, élasticité, goût prononcé, croustillant sous la dent et l'intensité de l'odeur.

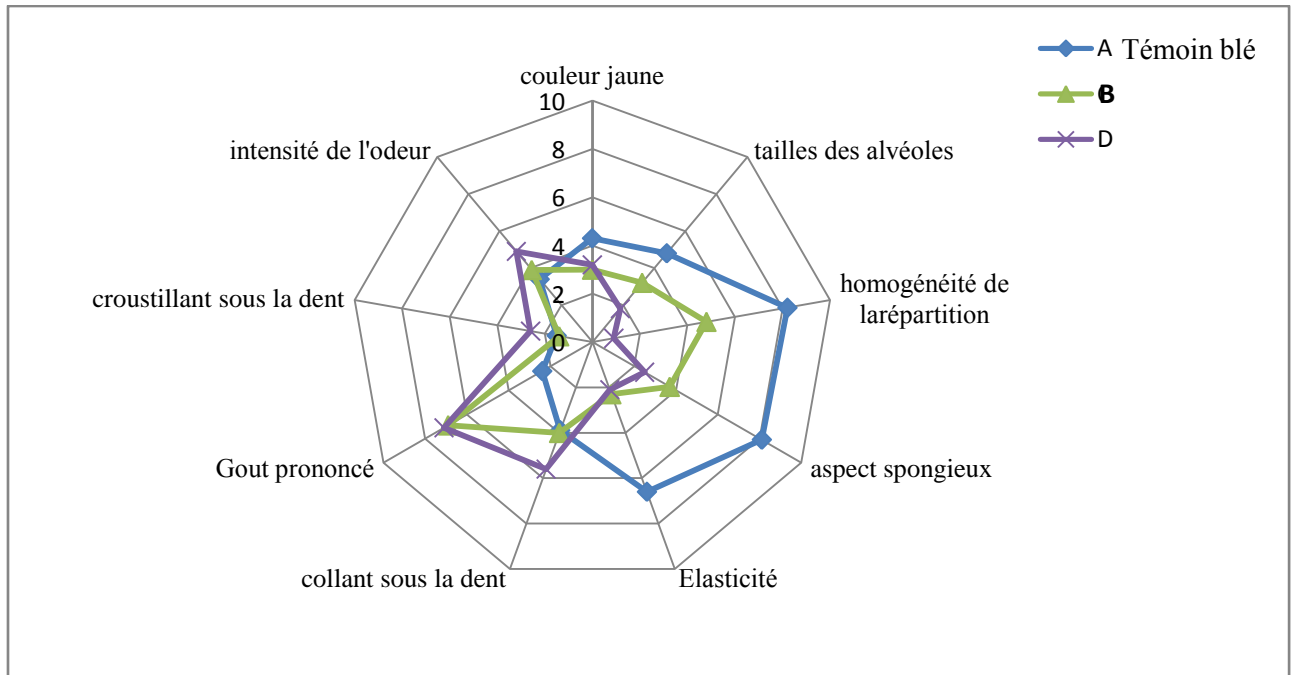


Figure 26. Profil sensoriel de crêpes sans gluten sans sauce, B : crêpe optimale sans gluten (288,88, 50), C : crêpes sans gluten hors domaine optimum (167,26, 7,32)%

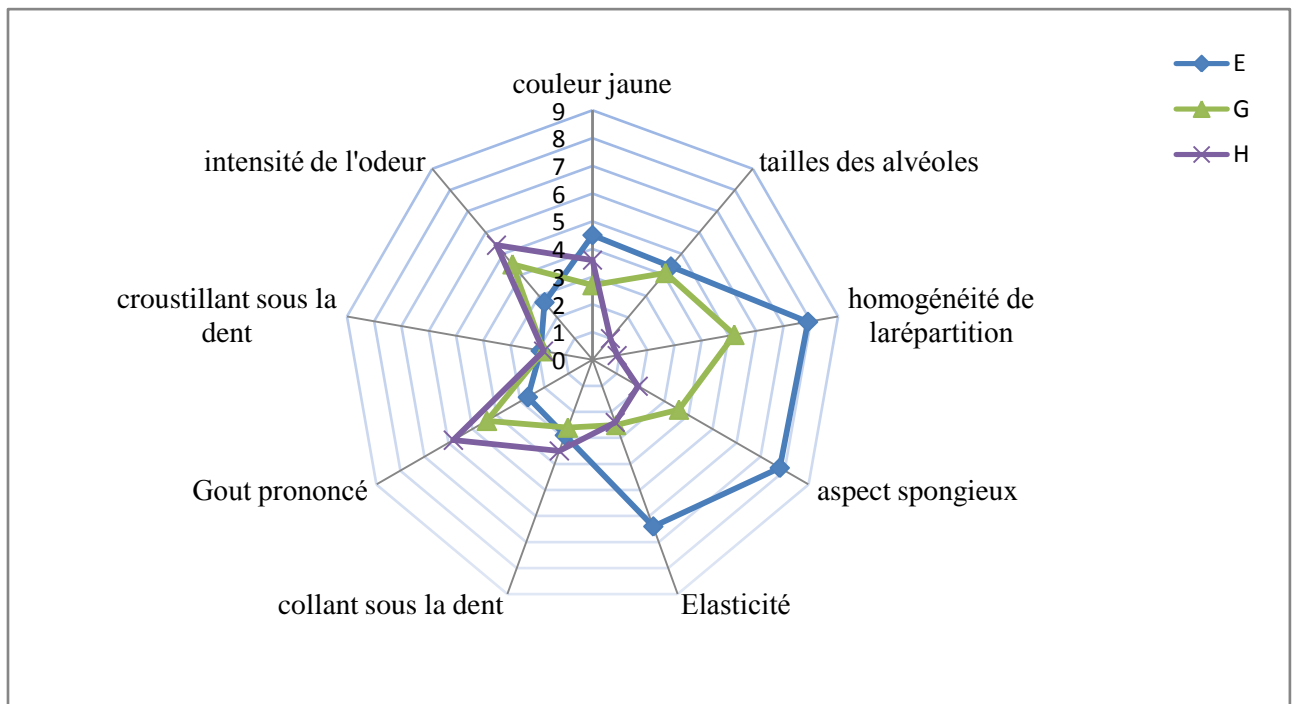


Figure 27. Profil sensoriel de crêpes sans gluten avec sauce, G : crêpe optimale sans gluten (288,88, 50), H : crêpes sans gluten hors domaine optimum (167,26, 7,32)%

La couleur jaune

Les crêpes de blé dur sont significativement plus jaunes que celles sans gluten (figure 26) cependant l'ajout de sauce ne change pas nos observations précédentes pour les crêpes sans gluten (figure 27). Pas de différences significatives entre les crêpes dans et hors zone optimale.

Taille des alvéoles prépondérantes

Une différence significative est observée entre la taille des alvéoles des crêpes sans sauce étudiées (figure 26). Les plus grandes sont celles de crêpes à base de blé suivies par celles de l'optimum sans gluten puis du mauvais point sans gluten. L'ajout de sauce (figure 27) semble masquer cet aspect en laissant apparaître les tailles des alvéoles des crêpes optimales sans gluten (B) et le témoin blé dur de même taille, tout en restant supérieur au mauvais point (C)

Homogénéité de la répartition des alvéoles

Les crêpes étudiées montrent une répartition significativement différente par rapport à la répartition des alvéoles. Le témoin blé représente la répartition la plus homogène suivie du point B puis du point C.

Aspect spongieux

Les crêpes de blé dur sont les plus spongieuses suivies des crêpes sans gluten optimales puis celles hors domaine optimum. L'ajout de sauce n'influe pas cette classification.

Elasticité

Les crêpes de blé dur sont significativement plus élastiques que celles sans gluten. L'ajout de sauce semble ne pas influencer cette classification.

Collant sous la dent

Les crêpes sans gluten hors domaine optimum sont significativement plus collantes que celles sans gluten optimales et à base de blé où on note la même intensité du collant. Par ailleurs l'ajout de sauce semble masquer cet aspect pour les crêpes sans gluten du mauvais point.

Goût prononcé

Les crêpes sans gluten (B et C) présentent le goût le plus prononcé par rapport au témoin de blé dur. L'ajout de sauce semble ne pas affecter cette observation.

Croustillant sous la dent

Le panel de dégustation a révélé l'absence de l'aspect croustillant à toutes les crêpes étudiées avec ou sans gluten.

Intensité de l'odeur

Aucune différence significative n'est notée quand à l'intensité de l'odeur des crêpes étudiées avec ou sans gluten. Par contre, cet aspect semble s'accroître après ajout de sauce pour donner en première position les crêpes hors domaine optimum suivies par les crêpes optimal puis celles du témoin blé dur.

La classification par rang des crêpes étudiées révèle les préférences du panel de dégustation des crêpes à base de blé puis l'optimum sans gluten, soit B (288.88, 50),

Conclusion et perspectives

Le principal objectif de ce travail est la formulation et la fabrication de pâtes liquides sans gluten types crêpes traditionnelles algériennes à base de la Formule Riz-Fèverole (FRF), améliorées par du blanc d'œuf et destinées à la diversification de l'alimentation des malades cœliaques algériens.

Les caractéristiques physico-chimiques des semoules employées dans cette étude montrent qu'elles sont constituées majoritairement de particules appartenant à l'intervalle [250 -500]µm. La fèverole présente les valeurs les plus élevées en protéines avec $25\% \pm 0,32\%$. Sa présence dans la FRF semble apporter une majoration de l'apport protéique. Celle-ci semble offrir $12,71\%$. La teneur en eau moyenne du blanc d'œuf avec lequel nous avons travaillé est de $87,41 \pm 0,07\%$.

La Méthodologie des Surfaces de Réponse (MSR) a permis avec succès l'optimisation des crêpes sans gluten améliorées par le blanc d'œuf de la formule Riz-Fèverole en donnant les résultats les plus proches au témoin de blé dur. Cette approche s'est faite sur la base de paramètres technologiques : volume spécifique (Vsp) et nombres d'alvéoles/cm². La surface de réponse du volume spécifique des crêpes sans gluten montre une évolution du Vsp des crêpes de 0,8 à 2.4 cm³/g, d'autre part, le nombre d'alvéoles/cm² varie de 2 jusqu'à 5.

L'optimisation a permis de délimiter la zone optimale suivante :

- Hydratation : [233,45-293,60] % ;
- Blanc d'œuf : [36,04-50] %.

Quatre points de vérification (Hydratation, Blanc d'œuf) ont été choisis :

- Dans la zone optimale : A (266,548,42,68) % et B (288,88, 50) % ;
- Hors zone optimale : C (167,26,7,32) % et D (332,74, 7,32) %

Les crêpes sans gluten du point "B" sont celles qui présentent les caractéristiques technologiques les plus proches du témoin blé avec respectivement pour le Vsp : 1.36 ± 0.025 cm³/g contre $2,32 \pm 0,02$ cm³/g et pour le nombre d'alvéoles/cm²: $5,05 \pm 0,43$ contre $09,46 \pm 0,46$. Toutefois, ces valeurs restent significativement inférieures à celles du témoin à base de blé. Tandis que celle du point "D" hors domaines optimum ce caractérise par un Vsp (cm³/g) et un nombre d'alvéoles nettement inférieur à ceux de la zone optimal avec respectivement, $0,91 \pm 0.08$ (cm³/g), $0,85 \pm 0.56$ Alvéoles/cm².

Les pâtes liquides des crêpes sans gluten et du témoin de blé dur présentent un écoulement rhéofluidifiant selon le modèle rhéologique d'Ostwald de Waël. Les plus consistantes sont celles qui appartiennent au domaine hors zone optimale ($k= 2,86 \pm 1,16$ Pa.s) suivies par celles issues du domaine optimal ($k= 0,12 \pm 0,03$ Pa.s) puis par celles du témoin blé ($k= 0,099 \pm 0,01$ Pa.s).

L'analyse sensorielle a permis de classer nos crêpes sans gluten de la Formule Riz- Féverole issue du domaine optimum en deuxième position après le témoin de blé dur avec et sans sauce. Le profil sensoriel montre que nos crêpes optimales sont significativement moins élastiques et moins jaunes que celles du témoin blé. Les mêmes intensités d'odeur, de croustillant et de collant sous la dent sont notées. Par ailleurs Les crêpes sans gluten (B et C) présentent le goût le plus prononcé par rapport au témoin de blé dur.

En terme de perspective, ce travail mériterait d'être complété par :

- La mise au point d'autres techniques d'évaluation des propriétés technologiques des crêpes pouvant prédire leur qualité (Analyse d'image) ;
- La vérification d'autres formules sans gluten ;
- L'investigation d'autres améliorants naturels.

Références bibliographiques

A

ABECASSIS J., 1991. La mouture de blé dur. In GODON B. Biotransformation des produits céréaliers. APRIA/INRA. *Edit. Lavoisier Tec et Doc. Paris.* 221p.

ABECASSIS J., 1995. La mouture du blé dur In : Les industries de première transformation. GODON B. et FRANGNE R. *Edit. Tech & Doc. Paris.* pp:362-396.

ABOU ARAB E. A., HELMY M. F. et BAREH G. F., 2010. Nutritional Evaluation and Functional Properties of Chickpea (*Cicer arietinum L.*) Flour and the Improvement of Spaghetti Produced from its. *Journal of American Science.* 6 (10) : 1055 – 1072.

ADRIAN J., 1994. Composition et valeur nutritionnelle du pain In : GUINET R. et GODON B. Panification française. *Lavoisier Tech Doc. Paris.* pp : 480-89.

A.F.NOR., 1991. Contrôle de la qualité des produits alimentaires, céréales et produits céréaliers. A.F.NOR 3^{ème} ed. 359 p.

ALAIS C. et LINDEN G., 1997. Biochimie alimentaire. ABREGES. 2^{ème} édition, Masson, 254 p.

ALAIS C., LINDE G. et MICLO L., 2008. Biochimie alimentaire : 6^{ème} édition de l'abrégé, Dunod, Paris : 260p.

ANKLAM E., BURKE A. et ISENGARD H.D., 2001. Water determination in food – a challenge for the analysts. A selection of papers from the 1st international workshop, Ispra, Italy, 6–7 April 2000. *Food Control.* 12(7): 393–498.

AOAC. 2002. Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition current through 1st revision. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.

B

BAR C., 1995. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux- guide pratique. *Edition ITCF, Paris* : 253p.

BENATALLAH L., 2009. Couscous et pain sans gluten pour malades cœliaques : aptitude technologique de formules à base de riz et de légumes secs. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences, spécialité : Sciences alimentaires. INATAA, Université Mentouri Constantine, Algérie. 423p.

BENBELKACEM A., SADLI F. et BRINIS L., 1995. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie *In* : La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne. DIPONZO N. et KAANF NACHIT M. *Edit CIHEAM. Espagne.* pp : 61-65.

BENDJAMA R.F.N. et HELAL L., 2014. Optimisation des crêpes à base de blé dur améliorés par du blanc d'œufs. Mémoire d'ingénieur en Nutrition et Technologie Alimentaire. 66p.

BENGOUCEM C., 2002. Influence de la concentration en semoule, de la granulométrie et de l'addition de certains composants sur la qualité de crêpes traditionnelles dans le constantinois. Mémoire d'ingénieur, DNATAA, Faculté des sciences, Université Mentouri. Constantine, Algérie.74p.

BENSEDDIK L., 2000. Crêpes algériennes : fabrication, recherche et définition de quelques critères de qualité. Mémoire d'ingénieur, DNATAA, Faculté des sciences, Université Mentouri. Constantine, Algérie.84p.

BIMBENET J.J., DUGUENOY A. et TRYSTRAM G., 2002. Génie des procédés alimentaires. Edition RIA, Paris : 547p.

BLOKSMA, A. H. 1990. Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World.* **35**: 237-244.

BORNET F., CLOAREC D., GOUILLOUD S., CHAMP M., COLONNA P., BARRY J. L. et GALMICHE J. P., 1991. Amidons indigestibles : Digestibilité *in vitro* et aspects nutritionnels chez l'homme sain. *Gastroentérol. Clin. Biol.* **14** : 90 – 103.

BOUCHEHAM N., 2009. Aptitude technologique de trois formules à base de riz pour la fabrication de couscous sans gluten. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences alimentaires, spécialité : Biochimie et Technologies Alimentaires. INATAA, Université Mentouri Constantine, Algérie : 75p.

BOURGEOIS C., 1989. Microbiologie alimentaire, les fermentations alimentaires 2. *Edit TEC et DOC, Lavoisier.* pp 62-63.

BOUSQUET R., LAURENT A., 2004. Travaux pratiques de techniques culinaires, Biosciences et techniques collection : série dirigée par GUY Lyrat. *Edit. DOIN, Wolters Kluwer France, Aquitaine* : 241p.

BOUTIN J.P., ET DRONNE Y., 2008. La filière protéagineuse : quels défis ? *Edition Quae*, 147p.

BOYDELDIEU J., 1991. Produire des grains oléagineux et protéagineux. Lavoisier, technique et Documentation, Paris, 1991 : 234 p.

BRADLEY J.R., 1998. Moisture and Total Solids Analysis. In *Food Analysis. Edit. NIELSEN S.S. 2nd Edition. Aspen Publishers*, pp. 119-140.



CALVEL R., 1984. La boulangerie moderne. *Editions EYROLLES, 10^{ème} Édition, Paris.* 460 p.

CARIP C., 2009. Mise en œuvre des techniques culinaires. *Edit Tec et Doc, Lavoisier, Paris.* 256p.

CHARGELEGUE A., GUINET R., NEYRENEUF O., ONNO B. et POITRENAUD B., 1994. La fermentation, In: *La panification française*, Vol. 528. GUINET, R. et GODON, B. edit. Lavoisier-Apria, Tec et Doc, Paris. pp: 283-325.

CHEGRANI-CONAN C. 2007. Manger équilibré, c'est facile ! Edit Eyrolles, 114p.

CHUNG O. K. et TSEN C. C. 1975. Distribution of lipids in acid soluble protein components as affected by dough-mixing and surfactants. *Cereal. Chem.* **52** : 823-832.

COLAS A., THARRAULT J.F., GODON B., LOISEL W. LAVOISIER, 1997. Granulométrie des particules. In Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. *Edit. Tec et Doc. Paris.* pp42-49.

COLONNA P., BULEON A., LELOUP V., THIBAUT J. F., RENARD C., LAHAYE M. et VIROBIEN G., 1995. Constituants des céréales, des graines, des fruits et de leurs sous produits In : Nutrition des ruminants domestiques : Ingestion et digestion. *INRA Editions*, Paris. pp 83-116.

COUARRAZE G. et GROSSIROD J.L., 1991. Initiation à la rhéologie .2^{ème} édition, Lavoisier, Tec et doc , France , 272 p.

CUQ J.L. ET LEYNAUD-ROUAUD C. 1992. Les graines de légumineuses. *In* : DIPIN H., CUQ J.L., MALEWIAK M.L., LEYNAUD-ROUAUD C. ET BERTHIER A.M. Alimentation et nutrition humaine. *Esf* éditeur, Paris, pp 941-961.



DELACHARLERIES., DE BIORGE S., CHENE C., SINDIC M. et DEROANNE C., 2008. HACCP, organoleptiques. Guide pratique. *Edit LES PRESSES AGRONOMIQUES. Belgique*, 155p.

DENERY-PAPINI S., POPINEAU Y. et GUEGUEN, J. 2001. Implication des protéines de céréales dans la maladie coeliaque. *Cah. Nut. Diét.*, **36**, 1, 2001 : 43-51.

Dib A., 2013. Aptitudes technologiques et culinaires de pâtes alimentaires enrichies au germe de blé. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister. I.N.T.A.T.A.A. Université constantine1- Algérie. 148P.

DONALD A.M., WAIGH T.A., JENKINS P.J., GIDLEY M.J., DEBET M., SMITH A., 1997. Internal structure of starch granules revealed by scattering studies. *In* Frazier P.J., DONALD A.M., RICHMOND P. (EDS), Starch: structure and function. Cambridge: Royal Society of Chemistry. pp172-179.

DURANTI M., 2006. Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*. 77 (2), 67-82.



ELIASSON A. C., et GUDMUNDSSON M. 1996. Starch : Physicochemical and functional aspects *In* : Carbohydrates in food. **ELIASSON, A. C. New York**. Pp : 431-503.



F.A.O. 1982. Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine. Etude FAO : Alimentation et nutrition. 2ème édition, Rome, 152 p.

FAO. (1990). Utilisation des aliments tropicaux- Céréales. *FAO*, Rome, 120 p.

FAO. 1996. *Codex Alimentarius* : Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. FAO. Vol 7. 2ème édition. Rome. 164 p.

F.A.O. 1995b. Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, *CODEX STAN 178-1991*, -Rév. 1-1995 : 4 p.

F.A.O. 2007. *Codex Alimentarius* : Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. CODEX STAN 178-1991 (Rév. 1-1995). 1^{ère} édition. Rome. 65p.

FAVIER J. C., IRELAND RIPERT J., TOQUE C., et FEINBERG M. 1995. Répertoire général des aliments : table de composition. CNEVA/CIQUAL/INRA/Lavoisier, Technique et Documentation, 2^{ème} édition, paris : 897p.

FEILLET P., DEXTER J.E., 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. *In: KRUGER J.E., MASTUO R.R., DICK J.W. Pasta and Noodle Technology*, ED: AACC, St Paul, Minnesota, pp. 95-131.

FEILLET P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. *Institut national de la recherche agronomique*, INRA, Paris. 308 p.

FREDOT E. 2005. Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. *Edit TEC et DOC, Lavoisier*. pp 157 - 177.

FEINBERG M., FAVIER J.C., IRLAND-RIPERT J., 1991. Répertoire général des aliments. INRA/ Cuiqual-Régal/Lavoisier. *Tec et Doc. Paris*. 281 p.

FRENCH D., 1984. Organization of starch granules *In : Starch chemistry and technology*.

Whistler, R. L., BEMILLER, J. N. and Paschall, E. F. eds, Academic press, New York. Pp: 83 - 247.



HAGER A.S. ET ARENDT., 2013. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumg grain characteristics of gluten-free breads based on rice maize, teff and buckwheat. *Foods hydrocolloids*. 32: 195-203.

GHERAIRIA N., 2011. Pain sans gluten pour les maladies cœliaques: aptitude technologique d'une formule riz-fèverole. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister. I.N.T.A.T.A.A. Université constantine1- Algérie. 102P.

GOCMEN D., INKAYA A. N. et AYDIN E., 2009. Flat breads. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 15(4): 298-306 .

GODON B. et WILLM C. 1991. Les industries de première transformation des céréales. *Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.* 679 p.

GOUPY J. et CREIGNTON L., 2006. Introduction aux plans d'expériences. Edition: Donud. 336 P.



HAMZA N., 2002. Crêpes: consommation, fabrication traditionnelle et qualité. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences alimentaires, spécialité : Nutrition Humaine. INATAA, Université Mentouri Constantine, Algérie. 305p.

HARBERS., 1998. Ash analysis. In *Food analysis*. Ed. NIELSEN S.S. 2nd Edition. Aspen publishers, pp: 141-150.

HERMANSSON A. M. et SVEGMARK K., 1996. Development in the understanding of starch functionality. *Food Science and Technology*, **11**: 345-384.

HO T. F. et YIP W.C., 2001. Oral rehydration solution. Rice water is cheap and effective. *BMJ* November 3. 323 (7320) : 1068 p.



IRRI., 1991. *Program report for 1990*. Manille, IRRI : 320 p.



JANE J. L., KASEMSUWAN T., CHEN J. F. et JULIANO B. O., 1996. Phosphorus in rice and other starches. *Cereal Food World*. **41** : 827-838.

JEANGUYOT M., et AHMEDI N., 2002. Grain de riz, grain de vie. Edit Quae. Pp :89-95.

JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUCK P., BRULE G., 2007. Science des aliments biochimie, microbiologie, procédés et produits. Volume 02. *Technologie des produits alimentaires. Edition Tec et Doc. Lavoisier.* pp143- 456.

JULIANO B.O. 1985. Rice: chemistry and technology. 2nd ed. St Paul, MN, USA, A.A.C.C. 774 p.

JULIANO B O., 1994. Le riz dans la nutrition humaine. collection FAO : alimentation et nutrition, 26 , IRRI- FAO, Rome, 180 p.



KASEMSUWAN T. et JANE J., 1996. Quantitative method for the survey of starch phosphate derivatives and starch phospholipids by 31p Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Cereal Chem.* **73** : 702 – 707.

KAYSI Y et MELCION J. P., 1992. Traitements technologiques des protéagineux pour le monogastrique : exemples d'application à la graine de fève. *INRA Prod. Anim.* **1**: 3-17.

KIGER J. L. et KIGER J. G., 1967. Techniques modernes de la pâtisserie –boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Tome 1. *Edition DUNOD*, Paris, France. 676 p.

KOBYLANSKI J.R., PEREZ O.E. et PILOSOFF A.M.R., 2004. Thermal transitions of gluten-free dough's as affected by water egg with and hydroxyl propyl methyl cellulose. *Therochimica Acta.* 411: 81-89.

KUMAR P., YADAVA R.K., GOLLEN B., KUMAR S., VERMA R.K., YADAV S., 2011. Nutritional Contents and Medicinal Properties of Wheat. *Life Sciences and Medicine Research*, LSMR-22.



LAIGNELET B., 1991. Le riz. In **GODON B., WILLM C.** Les industries de première transformation des céréales. *Lavoisier. Tec et Doc/Apria. Paris.* 679 p.

LAUNAY B. 1979. Propriétés rhéologiques de pâte de farine : quelques progrès récents. *Ind. Aliments. Agric.* 96 (6) : 617- 623 P.

LAUNAY B., 1981. Techniques rhéologiques in : techniques d'analyses et de contrôle dans les industries Agro-Alimentaire. Tome2, *Apria, Tec et Doc, Paris.* Pp :156-184.

LAUNAY B., 1991.Techniques rhéologiques *In* : techniques d'analyses et de contrôle dans les industries Agro-Alimentaire.Tome 2. Principe des techniques d'analyse.2 ème édition, Lavoisier .Apria, *Tec et Doc, Paris*. Pp :183-215 .

LECOQ R., 1965. Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. tome 1. *Edit*

DOIN. DEREN et CIE, Paris. 938 P.

LEVAVASSEUR L., 2007. Suivi simultané de la consommation d'oxygène et de la consistance des pâtes de farine de blé à l'aide d'un pétrin instrumenté (le sitoxygraphe) : tentative d'explication biochimique et rhéologique. Application à l'ajout de laccases. Thèse de doctorat en sciences alimentaires. Ecole doctorale ABIÉS, université paris VII, 414P.

LIM S. et SEIB P. A., 1993. Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphate. *Cereal. Chem.* **2** : 137-144.

LIN P. Y. et CZUCHAJOWSKA Z., 1998. Role of phosphorus in viscosity, gelatinization and retrogradation of starch. *Cereal. Chem.* **75** : 705-709.

LE GOFF L., 1997. Connaître ce que l'on mange. *In* : Encyclopédie de l'alimentation biologique et de l'équilibre nutritionnel. *ROGER JOLLIOS, Paris* : 675p.

LEHNINGER A. L., 1977. Biochimie. Bases moléculaires de la structure et des fonctions cellulaires. *Flammarion Médecine Sciences, Seconde édition, France*. 1088 p.

LOPES T.N., 2010. Plus cher et qualité moindre: plus de bien-être. *INRA prod.anim.* **23(2)**: 155-66p.

M

MAC RITCHIE. F. et GRAS P.W., 1973. The role of flour lipids in baking. *CerealChemistry.* **50** : 292-302.

MASSAUX C., BODSON B., LENARTZ J., SINDIC M., SINNAEVE G., DARDENNE P., FALISSE A. et DEROANNE C., 2006. L'amidon natif du grain de blé : Un composé naturel à valoriser par la connaissance de ses propriétés techno-fonctionnelles ? Livre Blanc « Céréales », Ed. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux et CRA-W, GEMBOUX : 1-9 p.

MOLINIER A., 2007. Molinier pathologie médicale et pratique infirmière : Tome 2. *Edit Wolter, France*, 138p.

MONTEL M.C., BERANGER C. et BONNEMAIRE J., 2005. Les fermentations au service des produits de terroir. *Edit INRA*. Pp : 151 - 154.

MOUQUET C., 1998. Consistency of gruels for infants: a comparison of measurement procedures and the main influencing factors. *International Conference of Ibadan*. Pp: 16-21.



NAMOUNE H., BENSEDIK L. et KEZIH R., 2001. Effect of durum wheat semolina concentration of an Algerian traditional pan-cake quality. Fourth agricultural conference scientific research for safe agricultural production, Jerash Private University Of Agriculture and science, 10p.

NAMOUN H., KEZIH R., HAMZA N., DEROUICHE M., et BOUKEZZOULA F., 2003. Effect of semolina concentration, starch, eggs and cystéines on some characteristics of algérian traditional pancake .first symp. Egypto-syrian. agriculture and alimentation in the arab world: constraints and future perspectives, sharajah, united arab E mirates . 195p.in DurumWeat : chemistry and technology 2 end edition ,

NAMOUS H., 2013. Formulation d'une farine-biscuit de sevrage sans gluten à base de Riz, Maïs et Pois Chiche. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Magister en sciences alimentaires, spécialité : Biochimie et Technologies Alimentaires. INATAA, Université Mentouri Constantine, Algérie : 97p.

NATHIER-DUFOUR N., 2005. Les œufs et les ovo produits. France, édition educagri : 80p.

NAU F., GUERIN-DUBIARD C., BARON F. et THAPON G.L., 2010a. Science et technologie de l'œuf. Volume 1 : production et qualité. *Lavoisier, Tec et doc, Paris*. 370p.

NESTEL P., CEHUN M., CHRONOPOULOS A. 2004. Effects of long-term consumption and single meals of chickpeas on plasma glucose, insulin, and triacylglycerol concentrations. *Am J Clin Nutr.* 79 (3): 390-5.

NIELSEN S.S., 1998. Food analysis. 2nd edition. Gaithersburg, MD, USA, Aspen Publishers.



OUNANE G., CUQ B., ABECASSIS J., YESLI A. et OUNANE S. M., 2006. Effect of physicochemical Characteristics and Lipid Distribution in Algerian Durum Wheat Semolinas on the Technological Quality of Couscous. *Cereal Chem.* **83** : 377-384.



PETITOT M., BROSSARD C., BARRONA C., LARRE C., MOREL M.H., MICARD V., 2009c. Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, *116*(2), 401-412.

PROLEA., 2007a. La fève, de la plante à ses utilisations. Filière Française des huiles et protéines végétales. BR Fev 06/07, Paris : 6p.



QA International Collectif, 1996. L'encyclopédie visuelle des aliments. Québec Amérique, 340p.



RIBEIRO R.J.M.C. et MELO P.I.M., 1990. Composition and nutritive value of chickpea. CIHEAM – Options Méditerranéennes, Série Séminaire n°9: 107-111.

ROSELL M.C. et MARCO C., 2008. Rice. In *Gluten Free Cereal Products and Beverages*. Edited by: ARENDT E.K. et DAL BELLO F. *Elsevier Academic Press*. Pp: 81-100.

ROUDAUT H., LEFRANCQ H., 2005. Alimentation théorique, Biosciences et techniques collection : série dirigée par GUY Lyril, *edit. DOIN , Wolters Kluwer France, Aquitaine* : 305p.

ROUSSEL P. et CHIRON H., 2002, Les pains français : Evolution, qualité production .Collection science et technologie des métiers de bouche, MAE/ERTI, 1 ère édition, France, 200 p.



SABLANI S.S., MARCOTTE M., BAIK O.D. et CASTAIGNE F., 1998. Modeling of simultaneous heat and water transport in the baking process. *Lebensmittel-wissenschaft and technology*. 31: pp 201-209.

SÁNCHEZ H.D., OSELLA C.A. et DE LA TORRE M.A., 2002. Optimisation du pain sans gluten préparé à partir de fécule de maïs, farine de riz et l'amidon de manioc. *Journal of Food Science*. **67 (1)** : 416-419.

SELSELET-ATTOU G. 1991. Technologie des céréales et produits dérivés. Institut de Technologie Agricole-Mostaganem. Document à l'usage des étudiants, option : Technologie Agro-Alimentaire. 147 p.

SISSONS M.J., SOH H.N., TURNER M.A., 2007. Role of gluten and its components in influencing durum wheat dough properties and spaghetti cooking quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 1874-1885.

SISSONS M., 2008. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food Global Science Books*.2 (2): 75- 90.

SISSON M., ABECASSIS J., MARCHYLO B., CARCEA M. 2012, AACC International, USA.

SOUCI S.W., FACHMANN W., KRAUT H., 1994. La composition des aliments : Tableaux des valeurs nutritives. *Medpharm Scientific Publishers*, 5ème édition. Stuttgart. Germany 1091p.

ŠRAMKOVA Z., GREGOVA E., STURDIK E., 2009. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta chimica slovacica*. 2 (1): 115-138.

SCHER J., 2006. Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires, technique de l'ingénieur, traité Génies des procédés doc F33000 1-10 p.

SRIVASTAVA A.K., SUDHA M.L., BASKRAN V.K., LEELAVATHI K., 2007. Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *Eur Food Res Technol. Springer-Verlag Edition*. 224 : 365–372.

STEINKRAUS K.H.1996. acid fermented leavend bread and pancakes.page194-211 in: handbook of Indigenoustermented foods, 2 nd .K.H. STEINKRAUS, EdMarcel Dekker, New York.

SURGET A. et BARRON C., 2005. Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales* n°145, pp42.



TAVAREZ L. A., GOMEZ M. et MENDOZA H. R. 1991. Management of acute diarrhoeal disease with rice water. *Arch Domin Pediatr.* **27** : 20-4.

TURNBULL K., 2001. Quality assurance in a dry pasta factory. In: KILL R.C, TURNBULL K. (Ed) *Pasta and Semolina Technology*, Blackwell Scientific, Oxtord. Pp: 181-221.



VENN B.J. et MANN J.I., 2004. Cereal grains, legumes and diabetes. *Eur J Clin Nutr*, **58**, : 1443-61.

VIERLING E., 2003. Aliments et boissons : filières et produits. Série dirigée par GUY Leyral, 2^{ème} édition, France. 270p.

VIERLING E., 2008. Aliments et boissons : filières et produits. Série dirigée par GUY Leyral, 3^{ème} édition, doin éditeurs, France : 268p.



WATTS B.M., YLIMAK G.L., JEFFERY L.E. et ELIAS L.G., 1991. Méthode de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Centre de recherche pour le développement, Canada. 159 p.

WATZKE H.J., 2010. Microstructures alimentaires, 367-397 in Science et technologie des aliments principes de chimie des constituants et de technologie des procédés, Bauer W., Badoud R., Loliger j., Etournaud A., Presses polytechniques universitaires Romandes, Lausanne, 719 p.

WRIGLEY C., BRKES F., BUSHUK W., 2006. Gliadin and Gluein: The unique balance of wheat quality (1st Edn), *AACC International, MN*, pp 3-32.



YESLI A. (2001). Etude de l'influence des lipides sur la qualité technologique de quelques variétés de blé algérien. Thèse de Magister. INA. EL-HARRACH, Alger, 98 p.

Annexes

Annex1 : Les 13 crêpes fabriquées du plan d'expérience étudié (hydratation, Blanc d'œuf)%.



Essai 1. (167,26 , 7,32)



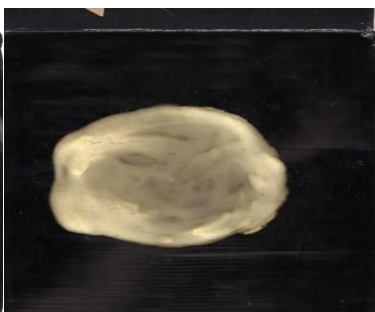
Essai 2. (332 , 07,32)



Essai 3. (167,26 , 42,68)



Essai 4. (332,74 , 42,68)



Essai 5. (133 , 25,00)



Essai 6. (367 , 25,00)



Essai 7. (250,00 , 00,00)



Essai 8. (250 , 50,00)



Essai 9-13. (250 , 25,00)

Annexe 2 : le bulletin d'analyses sensorielles des crêpes

Veillez renseigner après dégustation des échantillons de crêpes la fiche d'évaluation suivante :

NB : Veillez rincer la bouche avec de l'eau après chaque dégustation

Attribut sensoriel	Définition
Couleur jaune	Du jaune clair au jaune foncé
Taille des alvéoles la plus prépondérantes	Du petites aux grandes alvéoles
Homogénéité de la répartition des alvéoles	Faiblement homogène à fortement homogène
Aspect spongieux	Moins aéré (moins alvéolé) à extrêmement aéré (très alvéolé)
Elasticité	pas de retour à l'état initial au retour total à l'état initial après étirement entre les doigts
Collant sous la dent	Moins collant à extrêmement collant
Goût prononcé	Faiblement prononcé à fortement prononcé
Croustillant sous la dent	Moins croustillant à extrêmement croustillant
Intensité de l'odeur	Moins intense à très intense

Merci pour votre collaboration

Fiche du test d'évaluation sensoriel des crêpes

Nom :

Prénom :

Date :

Examinez et gouttez chaque un des quatre échantillons, puis donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité de chaque caractère. le numéro **1** correspond à l'intensité la plus faible et 9 l'intensité la plus forte.

Si le caractère mentionné dans la fiche n'est pas détecté dans le produit, vous mettez 0.

	A	B	C
Couleur jaune			
Taille des alvéoles la plus prépondérantes			
Homogénéité de la répartition des alvéoles			
Aspect spongieux			
Elasticité			
Collant sous la dent			
Goût prononcé			
Croustillant sous la dent			
Intensité de l'odeur			

Veillez classez les crêpes de la plus préférés à la moins préférée

1-.....

2-.....

3-.....

Examinez et goutez chaque un des quatre échantillons, puis donnez une note de 1 à 9 selon l'intensité de chaque caractère. Le numéro **1** correspond à l'intensité la plus faible et 9 l'intensité la plus forte.

Si le caractère mentionné dans la fiche n'est pas détecté dans le produit, vous mettez 0.

	E	F	G
Couleur jaune			
Taille des alvéoles la plus prépondérantes			
Homogénéité de la répartition des alvéoles			
Aspect spongieux			
Elasticité			
Collant sous la dent			
Goût prononcé			
Croustillant sous la dent			
Intensité de l'odeur			

Veillez classez les crêpes de la plus préférés à la moins préférée

1-.....

2-.....

3-.....

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو صياغة وتصنيع فطائر جزائرية خالية من الغلوتين باستعمال الأرز والفلول بإضافة محسن وهو بياض البيض موجه إلى تغذية المرضى الذين يعانون من لحساسية اتجاه الغلوتين.

صيغة الأرز و الفول المحسنة من بياض البيض مقارنة مع القمح الصلب ، باستعمال منهجية الاستجابة السطحية لتصنيع فطائر خالية من الغلوتين. دراسة الخصائص الفيزيو كيميائية عنت مقاس الحبيبات، الرطوبة والرماد الكلي، ومجموع البروتين، والكربوهيدرات ومجموع الدهون الحرة. بعد طهي الفطائر، تم قياس الحجم النوعي (g/cm^3) عدد الخلايا / cm^2 و بعد التحسين، تم تعيين نقاط التفتيش، و دراسة خصائص التدفق، مع وضع تشخيص حسي للفطائر بدون غلوتين مع وبدون صلصة مقارنة بالشاهد المصنوع من القمح الصلب.

طحين الفول والأرز والقمح الصلب تنتمي معظمها إلى المجال [250-500] ميكرون. الفول هو المركب الأغنى بالبروتين مع $0.32 \pm 25\%$ وجودها في FRF حقق زيادة في كمية البروتين. بياض البيض المستعمل يحتوي على نسبة من الماء $87,0.07 \pm 41\%$. المنهجية الاستجابة السطحية كانت ناجحة لتحسين الفطائر الخالية من الغلوتين و المحسنة ببياض البيض إعطاء نتائج أقرب للشاهد القمح الصلب سمح بتحديد المنطقة المثلى-الاماهة [293.60-2.33.45]. بياض البيض [36.04-50]. الفطائر الخالية من الغلوتين الثنائي نسبة الماء، بياض البيض (50، 288.88) من المنطقة المثلى الأقرب للشاهد القمح في حين ان الميزات التكنولوجية تبقى أقل بكثي ر. العجينة السائلة الخالية من الغلوتين أكثر اتساقا هي خارج النطاق.

تم استخدام التحليل الحسي لتصنيف الفطائر الخالية من الغلوتين التي تنتمي الى المجال الأمثل الثانية بعد الشاهد المصنوع من القمح الصلب مع وبدون صلصة. يظهر التحليل الحسي أن أفضل الفطائر لدينا هي أقل بكثير من ناحية المرونة و نسبة الصفار من الشاهد القمح .

الكلمات المفتاحية: باستا السائل، MSR، الغلوتين الحرة، الاسفنجية الريولوجيا الجسم.

Abstract

The aim of this study is the formulation of a gluten-free liquid - dough's traditional pancakes based on Rice and Field Bean, improved by the white of eggs intended for the food of the Algerian celiac patients.

The Rice- Field Bean formula improved by the White of eggs and in comparison with witness hard wheat, has been optimized by Surface Methodology Answers (MSR) to manufacture some pancakes without gluten. A physico-chemical of raw materials concerned the size of particuls, the humidity, the total ashes, the total proteins, the free lipids and the total glucides. At the end of the tests of cooking, the specific volume (g/cm^3) and the number of alvéoles/ cm^2 is measured. After optimization, points of verification are designated as well as the properties of out-flow are carried out. The sensory profile of the pancakes without gluten with and without sauce in comparison with witness wheat is established.

The broyats of Field Bean, rice and hard wheat belongs majority to the interval [250 -500] μm . The Field Bean is the ingredient richest in proteins with $25\% \pm 0,32\%$. Her presence in the FRF seems to bring an overcharge of the contribution on protein. The content in middle water of the used white is de $87,41 \pm 0,07\%$. The Methodology of the Answer Surfaces (MSR) permitted with success the optimization of the pancakes without gluten improved by the white of eggs of the Rice- Field bean formula while giving the nearest results to the hard wheat witness. Optimization permitted to delimit the following optimal zone: - Hydration: [233,45-293,60]%; - White of eggs: [36,04-50]%. The pancakes without gluten of the couple (hydration, White of eggs): (288,88, 50)% of the optimal zone are those that present the nearest technological features of the witness wheat as while remaining meaningfully lower. The indications of red, of yellow and clarity of the optimal pancakes without gluten are pronounced more that those of witness wheat. The most solid of the liquid doughs without gluten are those that belong at the domain out optimal zone ($k = 2,86 \pm 1,16 \text{ Pa.ses}$) consistent by those exits of the optimal domain ($k = 0,12 \pm 0,03 \text{ Pa.ses}$) then by those of witness wheat ($k = 0,099 \pm 0,01 \text{ Pa.ses}$).

The sensory analysis permitted to classify our pancakes without gluten of Formula Rice - Field Bean of the optimum domain in second position after the hard wheat witness with and without sauce. The sensory profile shows that our optimal pancakes are meaningfully less rubber bands and less yellow than those of witness wheat.

Key words: Liquid doughs, MSR, free-gluten pancake, out-flow, optimization, formula.

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à formuler et à fabriquer des pâtes liquides sans gluten type crêpes algériennes à base de Riz et de Féverole, améliorées par du blanc d'œuf.

La formule Riz-Fèverole améliorée par du Blanc d'œuf et en comparaison avec un témoin blé dur, a été optimisée par la méthodologie des surfaces de réponses en vue de fabriquer des crêpes sans gluten. La caractérisation physico-chimique des semoules étudiées a concerné la granulométrie, l'humidité, les cendres totales, les protéines totales, les lipides libres et les glucides totaux. A l'issue des tests de cuisson, le volume spécifique (g/cm^3) et le nombre d'alvéoles/ cm^2 sont mesurés. Après optimisation, des points de vérification sont désignés et des mesures complémentaires sur les propriétés d'écoulement sont effectuées. Le profil sensoriel des crêpes sans gluten avec et sans sauce en comparaison avec le témoin blé est établi.

Les broyats de fèverole, de riz et de blé dur appartiennent majoritairement à l'intervalle [250 -500] μm . La fèverole est l'ingrédient le plus riche en protéines avec $25 \pm 0,32\%$. Sa présence dans la FRF semble apporter une majoration de l'apport protéique. La teneur en eau moyenne du blanc utilisé est de $87,41 \pm 0,07\%$. La Méthodologie des Surfaces de Réponse (MSR) a permis avec succès l'optimisation des crêpes sans gluten améliorées par le blanc d'œuf de la formule Riz-Fèverole en donnant les résultats les plus proches au témoin de blé dur. L'optimisation a permis de délimiter la zone optimale suivante : -Hydratation : [233,45-293,60]% ; - Blanc d'œuf : [36,04-50]%. Les crêpes sans gluten du couple (hydratation, Blanc d'œuf) : (288,88, 50)% de la zone optimale sont celles qui présentent les caractéristiques technologiques les plus proches du témoin blé tout en en restant significativement inférieures. Les plus consistantes des pâtes liquides sans gluten sont celles qui appartiennent au domaine hors zone optimale ($k= 2,86 \pm 1,16 \text{ Pa.s}$) suivies par celles issues du domaine optimal ($k= 0,12 \pm 0,03 \text{ Pa.s}$) puis par celles du témoin blé ($k= 0,099 \pm 0,01 \text{ Pa.s}$).

L'analyse sensorielle a permis de classer nos crêpes sans gluten de la Formule Riz-Fèverole issue du domaine optimum en deuxième position après le témoin de blé dur avec et sans sauce. Le profil sensoriel montre que nos crêpes optimales sont significativement moins élastiques et moins jaunes que celles du témoin blé.

Mots Clés : Pâtes liquides, MSR, crêpes sans gluten, Ecoulement, Optimisation, Formule.